ГОДИШНИК

НА

МИННО-ГЕОЛОЖКИЯ УНИВЕРСИТЕТ

“СВ. ИВАН РИЛСКИ” - СОФИЯ

Том 55

СВИТЪК III: МЕХАНИЗАЦИЯ, ЕЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ НА МИНИТЕ

ANNUAL

OF

UNIVERSITY OF MINING AND GEOLOGY

“ST. IVAN RILSKI” – SOFIA

Volume 55

PART III: MECHANIZATION, ELECTRIFICATION AND AUTOMATIZATION IN MINE

Издателска къща “Св. Иван Рилски”

Publishing House “St. Ivan Rilski”

София, 2012

Sofia, 2012

ISSN 1312-1820

РЕДАКЦИОННА КОЛЕГИЯ

доц. д-р Павел Павлов – главен редактор
доц. д-р Страшимир Страшимиров – зам. главен редактор
доц. дгн Руслан И. Костов – председател на редакционен съвет
проф. д-р Кръстю Дерменджиев – председател на редакционен съвет
доц. д-р Вяра Пожидаева – председател на редакционен съвет
доц. д-р Десислава Костова – председател на редакционен съвет
Кристина Гочева – секретар

РЕДАКЦИОНЕН СЪВЕТ
на Свитък III – Механизация, електрификация и автоматизация на мините

доц. д-р Вяра Пожидаева – председател
проф. д-р Васил Ангелов
доц. д-р Ангел Зъбчев
доц. д-р Здравко Илиев
проф. д-р Евтим Кърцелин
гл.ас. д-р Николай Янев

С Ъ Д Ъ Р Ж А Н И Е

Антони Николае Боркози Илие Козма Василе	СИСТЕМА ЗА МОНИТОРИНГ НА ТЕМПЕРАТУРАТА И КОНТРОЛ В ШЕСТ ИЗМЕРВАТЕЛНИ ПУНКТА, ОСЪЩЕСТВЕНА С МИКРОКОНТРОЛЕР PIC16F877A	**7**
Антони Николае Козма Василе Боркози Илие	УПРАВЛЕНИЕ И МОНИТОРИНГ НА ПАРАМЕТРИТЕ U, I, n НА ДВИГАТЕЛ С ПОСТОЯНЕН ТОК ЧРЕЗ ИЗПОЛЗВАНЕТО НА PIC МИКРОКОНТРОЛЕР	**11**
Красимир Велинов Владимир Василев	ПОВИШАВАНЕ НА ЕФЕКТИВНОСТТА НА УЛИЧНОТО ОСВЕТЛЕНИЕ	**15**
Красимир Велинов Ради Пипев	ИКОНОМИЧЕСКА ОЦЕНКА НА ЕФЕКТА ОТ УПРАВЛЕНИЕ НА УЛИЧНОТО ОСВЕТЛЕНИЕ	**19**
Красимир Велинов Венко Войводов	МОДЕРНИЗАЦИЯ НА КЪЛБОВ ФОТОМЕТЪР С ЦИФРОВИ ФОТОСЕНЗОРИ	**22**
Евтим Кърцелин Александър Владимиров Георги Велев Ангел Зъбчев	МЕТРОЛОГИЧНИ ИЗИСКВАНИЯ КЪМ СИСТЕМИТЕ ЗА МОНИТОРИНГ И ДИАГНОСТИКА НА СИЛОВИ ТРАНСФОРМАТОРИ	**26**
Георги Велев	ВЕРИФИКАЦИЯ НА ДВУСЛОЙНИ МОДЕЛИ НА ПОЧВАТА ПРИ ПРОЕКТИРАНЕ НА ЗАЗЕМИТЕЛНИ УРЕДБИ С ПОМОЩТА НА МЕТОДА НА КРАЙНИТЕ ЕЛЕМЕНТИ	**32**
Георги Велев	НЯКОИ АКЦЕНТИ ПРИ ИЗБОРА, МОНТАЖА И ЕКСПЛОАТАЦИЯТА НА ДЕФЕКТНОТОКОВИТЕ ЗАЩИТИ. ДЕМОНСТРАЦИОНЕН ФИЗИЧЕСКИ МОДЕЛ ЗА СИМУЛИРАНЕ НА ФУНКЦИОНАЛНОСТТА ИМ	**37**
Евтим Кърцелин, Динко Господинов Георги Велев Ангел Зъбчев Георги Костов	АЛГОРИТЪМ ЗА ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА ТОКА НА НЕСИМЕТРИЧНО КЪСО СЪЕДИНЕНИЕ ПРИ ЕДНОКРАТНА НАПРЕЧНА НЕСИМЕТРИЯ	**45**
Динко Господинов	ИЗМЕРВАНЕ ТЕМПЕРАТУРАТА НА РОТОРА НА АСИНХРОНЕН ДВИГАТЕЛ ПО ИЗМЕНЕНИЕТО НА ХЛЪЗГАНЕТО НА РОТОРА	**48**
Евтим Кърцелин Йоана Маринова Ангел Зъбчев Георги Велев Николай Илиев Николай Минеков	ОСНОВНИ МЕТОДИ ЗА ОСИГУРЯВАНЕ НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНА СЪВМЕСТИМОСТ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКАТА	**52**
Румен Исталиянов Петко Кюмурков Юли Желев Таньо Минчев	ОТВОДНЯВАНЕ НА ПОДЗЕМЕН РУДНИК „ВЪРБА-БАТАНЦИ”	**58**
Мила Илиева	ИЗИСКВАНИЯ КЪМ УПРАВЛЕНИЕТО НА НАНОТЕХНОЛОГИИ В ЕЛЕКТРОНИКАТА	**62**
Мила Илиева	МОЛЕКУЛЯРНИ ЕЛЕКТРОННИ КЛЮЧОВЕ – МОЛЕКУЛЯРЕН СВЕТОДИОД	**65**
Тодор Върбев Андрей Козаров	ВЪЗМОЖНОСТ ЗА ПОВИШАВАНЕ ЕФЕКТИВНОСТТА НА МАГНИТНИЯ ШУНТ	**67**
Кирил Джустров	АНАЛИЗ НА ПРИЧИНИТЕ ЗА ПРЕГРЯВАНЕ НА ГЛАВНИЯ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ДВИГАТЕЛ НА ЕДНОКОФОВ БАГЕР “HITACHI” В РУДНИК “ЕЛАЦИТЕ”	**70**
Йоана Маринова	ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА ЕКРАНИРАЩИЯ ЕФЕКТ НА ПЛОСКИ ЕКРАНИ	**74**
Николай Лаков	ЛОГИЧЕСКО – ВЕРОЯТНОСТНИ МЕТОДИ ЗА АНАЛИЗ НАДЕЖДНОСТТА НА СЛОЖНИ ЕЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИ СИСТЕМИ	**78**
Стефан Чобанов	ДОПУСТИМО ТОКОВО НАТОВАРВАНЕ В НЕИЗОЛИРАНИ ШИНИ, РАБОТЕЩИ В СРЕДА С ТЕМПЕРАТУРА РАЗЛИЧНА ОТ ОБЯВЕНАТА	**85**

Стефан Чобанов **Кирил Джустров** **Драголюб Костов** **Менто Ментешев**	ЗАЩИТИ ОТ ТОКОВИ УТЕЧКИ В РУДНИЧНИ IT МРЕЖИ НН С ПОВИШЕНА НАДЕЖДНОСТ	**88**
Стефан Чобанов **Кирил Джустров** **Менто Ментешев**	ОТНОСНО ЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ПЕЩИ РАБОТЕЩИ С НАМАЛЕН БРОЙ НАГРЕВАТЕЛИ	**93**
Владимир Перпелицев **Иван Стоилов**	РЕЖИМИ НА РАБОТА НА НЕУТРАЛАТА В ЕЛЕКТРИЧЕСКИТЕ МРЕЖИ СРЕДНО НАПРЕЖЕНИЕ	**98**
Владимир Христов	СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА МЕТОДИ ЗА ОЦЕНЯВАНЕ СКОРОСТТА НА ВЪРТЕНЕ НА ПОСТОЯННОТОКОВ ДВИГАТЕЛ	**103**
Слави Димитров **Здравко Илиев**	ГРАФИЧЕН ИНТЕРФЕЙС ЗА ARDUINO UNO	**109**
Здравко Илиев **Диана Дечева**	ИЗПОЛЗВАНЕ НА TCK SYSTEM ЗА АНАЛИЗ НА СЪСТОЯНИЕТО НА СТОМАНЕНИТЕ ВЪЖЕТА НА НАСИПООБРАЗУВАТЕЛ A_2RS-B5000.67	**114**
Веселин Христов **Кънчо Иванов**	АНАЛИЗ КОНТРОЛА НА ЗНАНИЯТА В АКАДЕМИИТЕ НА ФИРМАТА CISCO КАТО МОДЕЛ ЗА ЕЛЕКТРОННО ОЦЕНЯВАНЕ	**119**
Иван Казанджиев **Николай Янев** **Кънчо Иванов**	ГРАФИЧНО ПРЕДСТАВЯНЕ НА ДАННИ ЧРЕЗ ИНСТРУМЕНТИ С ОТВОРЕН КОД	**123**
Ромео Александров	ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНАТА СИСТЕМА НА СЕПАРАТОР, РАБОТЕЩ С ИМПУЛСНИ МАГНИТНИ ПОЛЕТА	**128**
Снежаната Стаматова **Ромео Александров**	ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА СЕПАРАЦИЯ С ПОМОЩТА НА ИНТЕНЗИВНИ ИМПУЛСНИ МАГНИТНИ ПОЛЕТА	**132**
Евтим Кърцелин **Живко Илиев** **Илия Йовчев** **Петър Петров** **Павел Давидов**	ИЗСЛЕДВАНЕ НА РОЛКОВИ НАПРАВЛЯВАЩИ УСТРОЙСТВА НА ПОДЕМНИ СЪДОВЕ НА ГЛАВНА КЛЕТКОВА ПОДЕМНА УРЕДБА В РУДНИК „БАБИНО“, МИНИ „БОБОВ ДОЛ”	**135**
Иван Минин	УПЛЪТНЯВАНЕ НА ХЛАБИНИТЕ И ОБЕМИТЕ МЕЖДУ ДЪНАТА, ГЪРЛОВИНИТЕ И ОБЛИЦОВКИТЕ НА БАРАБАННИТЕ МЕЛНИЦИ	**138**
Венелин Тасев **Любен Тасев**	ИЗНОСВАНЕ НА СТРАНИЧНИТЕ КАПАЦИ НА ЦЕНТРОБЕЖНИТЕ САЧМЕНИ СЪЕДИНИТЕЛИ	**142**
Кристиян Цветков **Юлиян Димитров**	ВЪРХУ ПРОИЗВОДИТЕЛНОСТТА НА ЧЕЛЮСТНИТЕ ТРОШАЧКИ С ПРОСТО ДВИЖЕНИЕ НА ПОДВИЖНАТА ЧЕЛЮСТ	**146**
Иван Минин	МЕТОДИКА ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА СИЛИТЕ И РЕАКЦИИТЕ В РАБОТНИЯ ОРГАН НА ХИДРАВЛИЧЕН ЕДНОКОФОВ БАГЕР ТОП O&K RH 200C	**150**
Венелин Тасев **Любен Тасев**	ИЗНОСВАНЕ НА РЕДУКТОРНА ГРУПА НА РУДНИЧЕН КОНТАКТЕН ЛОКОМОТИВ К10	**154**
Юлиян Димитров **Кристиян Цветков**	МОДЕЛИРАНЕ НА ПРОЦЕСА ПРОБИВАНЕ НА АНКЕРНАТА ДУПКА	**159**
Николай Иванов	МЕТОДИ ЗА ДИАГНОСТИКА НА МЕХАНИЧНАТА ЧАСТ ОТ РОТОРНИТЕ БАГЕРИ	**163**
Калин Радлов **Живко Илиев** **Евтим Кърцелин**	ИНЖЕНЕРНА ПРОВЕРКА ЗА БЕЗОПАСНАТА ЕКСПЛОАТАЦИЯ НА СТОМАНЕНИ ВЪЖЕТА ЗА ТОВАРОПОДЕМНИ КРАНОВЕ ПРИ ПОВИШЕНО НИВО НА РИСК	**166**
Александър Владимиров	ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ОСТАТЪЧНИЯТ РЕСУРС НА ИЗОЛАЦИЯТА НА СИЛОВИ ТРАНСФОРМАТОРИ В ЕКСПЛОАТАЦИЯТА	**170**
Симеон Савов **Иван Минин**	МЕТОДИКА ЗА ИЗБОР НА АВТОКРАН ЗА ПОВДИГАНЕ, ПРЕМЕСТВАНЕ, ТОВАРЕНЕ И РАЗТОВАРВАНЕ НА ТЕЖКИ ДЕТАЙЛИ В ОТКРИТИТЕ СКЛАДОВЕ НА МННИТЕ ПРЕДПРИЯТИЯ	**174**
Теодора Христова **Иван Минин**	ОПРЕДЕЛЯНЕ НА МОЩНОСТТА НА ДВИГАТЕЛИТЕ НА БАРАБАННИТЕ МЕЛНИЦИ ЧРЕЗ НЕВРОННА МРЕЖА С НЕЗАВИСИМИ ВХОДНИ ПАРАМЕТРИ	**178**
Веселин Христов **Иван Минин** **Теодора Христова**	ОПРЕДЕЛЯНЕ НА МОЩНОСТТА НА ДВИГАТЕЛИТЕ НА ЧЕЛЮСТНИ ТРОШАЧКИ С ПОМОЩТА НА НЕВРОННА МРЕЖА	**182**
Христо Шейретов	ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ДИАМЕТЪРА НА КРЪГОВАТА РЕЛСА ПРИ ОПОРНО-ВЪРТЯЩИ УСТРОЙСТВА С РОЛКИ	**186**

CONTENTS

Antonie Nicolae **Borcosi Illie** **Cozma Vasile**	ACQUISITION SYSTEM FOR TEMPERATURE MONITORING AND CONTROL IN SIX MEASUREMENT POINTS MADE USING PIC16F877A MICROCONTROLLER	**7**
Antonie Nicolae **Cozma Vasile** **Borcosi Illie**	THE COMMAND AND MONITORING OF THE PARAMETERS U, I, N OF A DC MOTOR USING PIC MICROCONTROLLER	**11**
Krassimir Velinov **Vladimir Vasilev**	IMPROVING THE EFFICIENCY OF STREET LIGHTING	**15**
Krassimir Velinov **Radi Pipev**	ECONOMIC ASSESSMENT OF THE EFFECT OF STREET LIGHTING CONTROL	**19**
Krassimir Velinov **Venko Voivodov**	MODERNIZATION OF ULBRICHT PHOTOMETER WITH DIGITAL PHOTO SENSOR	**22**
Evtim Kartzelin **Aleksandar Vladimirov** **Georgi Velev** **Angel Zabchev**	METROLOGICAL REQIREMENTS TO MONITORING AND DIAGNOSTIC SYSTEMS ON POWER TRANSFORMERS	**26**
Georgi Velev	VERIFICATION OF TWO LAYER SOIL MODELS IN THE DESIGN OF GROUNDING INSTALLATIONS BY MEANS OF FEM	**32**
Georgi Velev	SOME ASPECTS IN THE SELECTION, INSTALLATION AND OPERATION OF RCDs. DEMO PHISICAL MODEL FOR SIMULATION OF THEIR FUNCTIONALITY	**37**
Evtim Kartzelin **Dinko Gospodinov** **Georgi Velev** **Angel Zabchev** **Georgi Kostov**	ALGORITHM FOR CALCULATING THE CURRENT CIRCUIT OF ASYMMETRICAL SINGLE-TRANSVERSE ASYMMETRIC	**45**
Dinko Gospodinov	MEASURING THE TEMPERATURE OF ROTOR ON ASYNCHRONOUS MOTOR VARIANCEON.THE ROTOR SLIP	**48**
Evtim Kartzelin **Joana Marinova** **Angel Zabchev** **Georgi Velev** **Nikolai Iliev** **Nikolai Minekov**	BASIC METHODS TO ENSURE ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY IN THE ENERGY SYSTEM	**52**
Rumen Istalianov **Petko Kumourkov** **Juli Zhelev** **Tanyo Minchev**	DRAINAGE OF UNDERGROUND MINE “VARBA-BATANTSI”	**58**
Mila Ilieva	REQUIREMENTS TO ELECTRONICS NANOTECHNOLOGY MANAGEMENT	**62**
Mila Ilieva	MOLECULAR ELECTRONIC SWITCHES – MOLECULAR LED	**65**
Todor Varbev **Andrei Kozarov**	A POSSIBILITY TO INCREASE THE EFECTIVENESS OF A MAGNETIC SHUNT	**67**
Kiril Djustrov	ANALYSIS OF THE CAUSES OF OVERHEATING OF THE MAIN ELECTRICAL MOTOR OF SINGLE-BUCKET EXCAVATOR "HITACHI" IN "ELLATZITE" MINE	**70**
Joana Marinova	CALCULATION OF ELECTROMAGNETIC SCREENS	**74**
Nikolay Lakov	THE LOGICAL- PROBABILISTIC METHODS FOR ANALYSIS OF COMPLEX RELIABILITY	**78**
Stefan Chobanov	ACCEPTABLE CURRENT LOADING IN THE UN-INSOLATED BUSBARS, WORKING IN AN AREA WITH TEMPERATURE DIFFERENT THAN THE ANNOUNCED	**85**

Stefan Chobanov **Kiril Djustrov** **Dragoliub Kostov** **Mento Menteshev**	PROTECTION AGAINST LEAKAGE CURRENTS IN LV MINING IP NETWORKS WITH INCREASED RELIABILITY	**88**
Stefan Chobanov **Kiril Djustrov** **Mento Menteshev**	REGARDING ELECTRICAL EFECTIVITY OF ELECTRICAL FURNACES OPERATING WITH REDUCES NUMBER OF HEATERS.	**93**
Vladimir Perpelitsev **Ivan Stoilov**	SISTEM EARTHING IN THE MIDDLE VOLTAGE ELECTRICAL GRIDS	**98**
Vladimir Hristov	COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS FOR ESTIMATING THE SPEED OF DC MOTOR	**103**
Slavi Dimitrov **Zdravko Iliev**	ARDUINO UNO GRAPFICAL INTERFACE	**109**
Zdravko Iliev **Diana Detchev**	USING THE TCK SYSTEM FOR ANALYSIS OF STATE OF THE WIRE ROPES OF THE SPREADER TYPE A_2RS-B5000.67	**114**
Veselin Christov **Kancho Ivanov**	ANALYSIS OF KNOWLEDGE CONTROL IN THE COMPANY CISCO ACADEMIES AS A MODEL FOR E-ASSESSMENT	**119**
Ivan Kazandjiev **Nikolay Yanev** **Kancho Ivanov**	GRAPHICAL REPRESENTATION OF DATA WITH OPEN-SOURCE SOFTWARE	**123**
Romeo Alexandrov	EXPERIMENTAL RESEARCH OF ELECTROMAGNETIC SEPARATOR SYSTEM WORKING WITH IMPULSE MAGNETIC FIELDS	**128/**
Snezhana Stoyanova **Romeo Alexandrov**	POSSIBILIT FOR SEPARATION USING A INTENSIVE PULSE MAGNETIC FIELDS	**132**
Evtim Kartzelin **Jivko Iliev** **Ilia Iochev** **Petar Petrov** **Pavel Davidov**	TESTING OF GUIDE ROLLERS FOR LIFTING CAGES OF THE MAIN LIFT EQUIPMENT IN BABINO COAL MINE, MINE COMPLEX BOBOV DOL	**135**
Ivan Minin	CONGESTION OF SLACKS AND VOLUMES AMONG BOTTOMS, NECKS AND COATINGS OF CYLINDRICAL MILLS	**138**
Venelin Tasev **Lyuben Tasev**	WEAR AND TEAR OF THE SIDE PANELS OF A CENTRIFUGAL BALL JOINT	**142**
Kristian Tsvetkov **Julian Dimitrov**	ON THE CAPACITY OF JAW CRUSHER WITH SIMPLE MOVEMENT OF THE MOVABLE JAW	**146**
Ivan Minin	METHODS THAT DETERMINE POWERS AND REACTIONS IN THE WORKING ORGAN OF HYDRAULIC ONE BUCKET EXCAVATOR TYPE O&K RH 200 C.	**150**
Lyuben Tasev **Venelin Tasev**	WEAR AND TEAR OF THE GEAR OF MINE LOCOMOTIVE K10	**154**
Julian Dimitrov **Kristian Tsvetkov**	MODELING THE PROCESS OF MAKING ANCHOR HOLE	**159**
Nikolai Ivanov	METHODS FOR DIAGNOSING THE MECHANICAL PART OF THE BUCKET-WHEEL EXCAVATOR	**163**
Kalin Radlov **Jivko Iliev** **Evtim Kartzelin**	ENGINEERING TESTING OF THE SAFE OPERATION OF STEEL ROPES FOR HOISTING CRANES AT INCREASED LEVEL OF RISK	**166**
Aleksandar Vladimirov	DETERMINATION OF THE REMAINING LIFE OF THE INSULATION OF POWER TRANSFORMERS IN SERVICE	**170**
Simeon Savov **Ivan Minin**	METHODS FOR CHOICE OF CRANE FOR LIFTING, MOVING, LOADING AND UNLOADING OF HEAVY DETAILS, IN MINING ENTERPRISES' OPEN-AIR WAREHOUSES	**174**
Teodora Hristova **Ivan Minin**	DETERMINING THE POWER OF CYLINDRICAL MILL'S ENGINE VIA NEURAL NETWORK WITH INDEPENDENT INPUT PARAMETERS	**178**
Veselin Christov **Ivan Minin** **Teodora Hristova**	DETERMINATION OF THE ENGINE POWER OF JAW CRUSHERS USING A NEURAL NETWORK	**182**
Hristo Sheiretov	DETERMINATION OF YHE DIAMETER OF THE CURCULDR RAUL OF ROLLER SLEWUNG DEVICE	**186**

ACQUISITION SYSTEM FOR TEMPERATURE MONITORING AND CONTROL IN SIX MEASUREMENT POINTS MADE USING PIC16F877A MICROCONTROLLER

Antonie Nicolae [1], Borcosi Ilie [2],Cozma Vasile [3]

[1] *"Constantin Brâncuşi" University from Târgu Jiu*
[2] *"Constantin Brâncuşi" University from Târgu Jiu*
[3] *"Constantin Brâncuşi" University from Târgu Jiu*

ABSTRACT. In industrial applications and beyond, temperature measurement is one of the most common situations. In this paper we present the development of a data acquisition system for temperature monitoring and control in two chambers, a system built around a core type PIC16F877A microcontroller.

СИСТЕМА ЗА МОНИТОРИНГ НА ТЕМПЕРАТУРАТА И КОНТРОЛ В ШЕСТ ИЗМЕРВАТЕЛНИ ПУНКТА, ОСЪЩЕСТВЕНА С МИКРОКОНТРОЛЕР PIC16F877A

Антони Николае[1], Боркози Илие[2], Козма Василе[3]

[1] *"Университет „Константин Бранкузи" от Търгу Жиу*
[2] *"Университет „Константин Бранкузи" от Търгу Жиу*
[3] *"Университет „Константин Бранкузи" от Търгу Жиу*

РЕЗЮМЕ: In industrial applications and beyond, temperature measurement is one of the most common situations. In this paper we present the development of a data acquisition system for temperature monitoring and control in two chambers, a system built around a core type PIC16F877A microcontroller.

The description of development PIC16F877A

The PIC16F877A Microcontroller is part of the 8-bit PIC microcontrollers family, has a complex internal structure, is able to acquire analog signals having constituted an analog-digital 10-bit, can generate PWM signals, can communicate with external devices lends itself particularly well in industrial applications.

It presents five bidirectional ports configurable for use by installation and can be used in very complex applications.

In this paper we propose creation of a data acquisition system for temperature monitoring and control in six chambers.

The block diagram used for temperature monitoring is shown in the figure 1.

The LM35 temperature sensor is part of integrated sensors and measurement range is between -55 and 150 degrees Celsius.

The analog signals taken from the temperature sensors LM 35 type are applied to two of the microcontroller analog inputs which are converted via an analogue incorporeted digital converter.

All these signals are processed by the microcontroller through the program written in his memory.

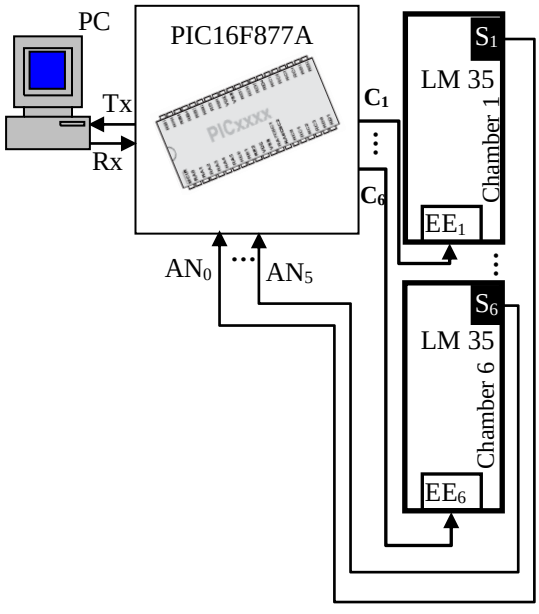


Fig. 1. The block diagram used for temperature monitoring

The processed data are submitted by the serial to a computer that running a software purchase which serves to display signals in graphical form and the human operator using an interface can view the processed data and can intervene by setting certain parameters for alarm, etc.

The proposed acquisition system can be extended to other applications by adapting the signals to the system requirements, by modifying the program written in program memory of the microcontroller to the new arrangement and operator interface running on the computer.

The serial module transmission of the data between the microcontroller and the computer circuit is provided with optocouplers for galvanic isolation so that a fault can occur in the purchasing system will not cause damage to computer systems and vice versa.

The electronic signal acquisition diagram used is shown in the figure 2.

The LM35 temperature sensor is part of integrated sensors and measurement range is between -55 and 150 degrees Celsius.

Integrated transducers for measuring temperature are first integrated transducers occurred. Although their measurement range is not too large (- 50, 1500 C), they are a number of applications from measuring ambient temperature, but also to measure other quantities through temperature variations from these quantities.

Are widespread two types of integrated sensors for temperature measurement:
- Output current transducer that varies in direct proportion to absolute temperature;
- Sensors that output voltage varies in direct proportion to absolute temperature.

For the first category is representative AD590 circuit (Analog Devices product - U.S.).

In the second category presents the integrated circuit LM 35 (National Semiconductor - USA).

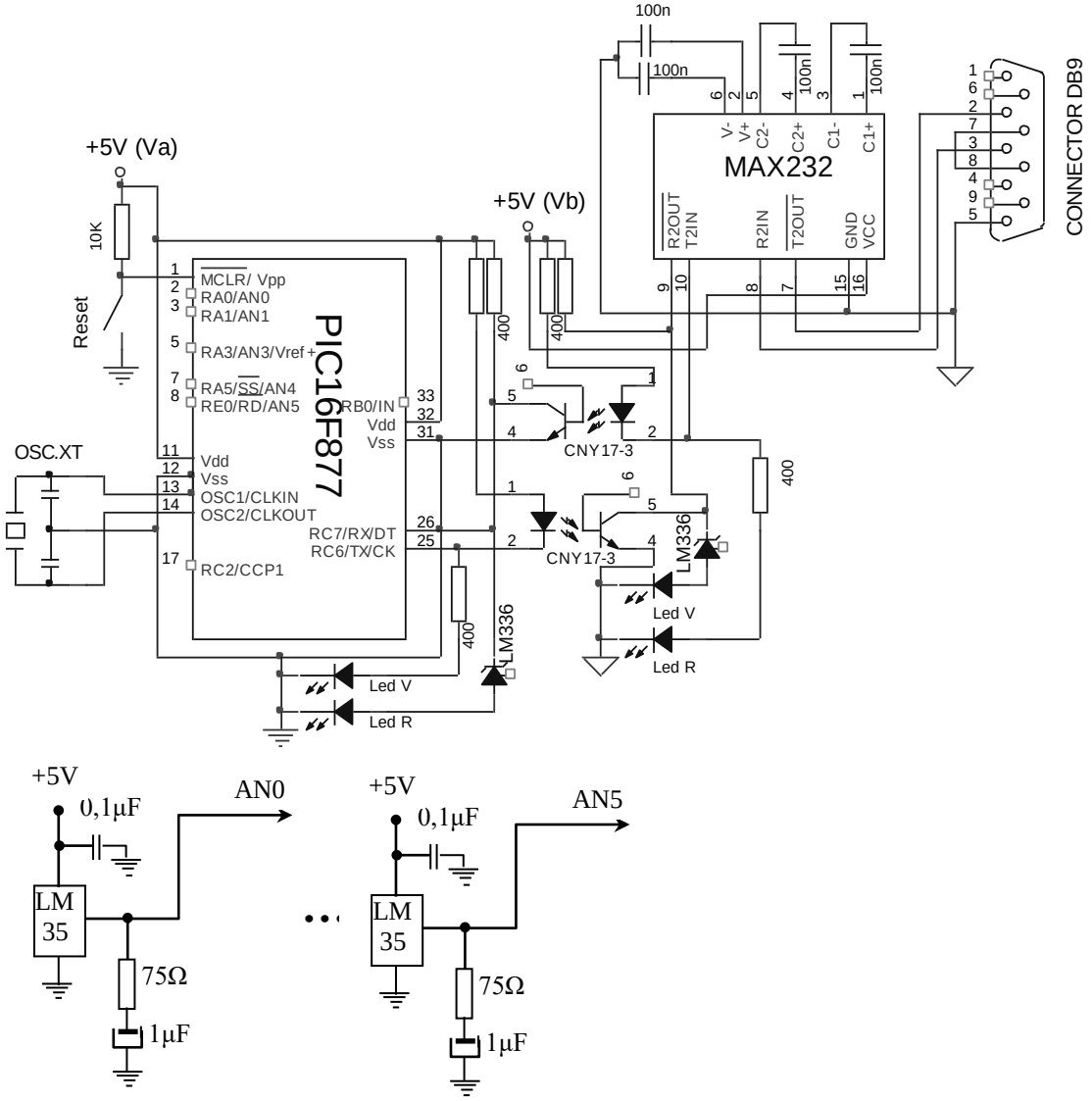


Fig. 2. The electronic signal acquisition diagram

The analog signals taken from the temperature sensors LM 35 type are applied to two of the microcontroller analog inputs which are converted via an analogue incorporeted digital converter.

All these signals are processed by the microcontroller through the program written in his memory.

The processed data are submitted by the serial to a computer that running a software purchase which serves to display signals in graphical form and the human operator using an interface can view the processed data and can intervene by setting certain parameters for alarm, etc.

The proposed acquisition system can be extended to other applications by adapting the signals to the system requirements, by modifying the program written in program memory of the microcontroller to the new arrangement and operator interface running on the computer.

The serial module transmission of the data between the microcontroller and the computer circuit is provided with optocouplers for galvanic isolation so that a fault can occur in the purchasing system will not cause damage to computer systems and vice versa.

Tacking changes in temperature in the six chambers was achieved by using a virtual instrument with the programming environment LabWindows / CVI.

In figure 3 is shown the front panel control and visualization and it represents the interface between the purchasing system and human operator.

Fig. 3. The front panel control interface

The human operator can set via the interface certain temperature ranges represent the limits within which it wishes to maintain the temperature in each chamber.

The temperature control can mean, for example, design a control system working on a follow-up. The control system aims the temperature at a chamber and trying to maintain constant temperature in the second chamber. This system can be used to control an installation that introduces fresh air ventilation in a room. The control is achieved by modifying the reference to compensation for summer and winter to maintain the temperature difference between inside and outside to a level as low as possible.

CONCLUSIONS

The complexity of developing such a system does not stop here, it may be extended depending on the requirements and complexity of technological devices that must be managed. By simply removal in the external using connector of the microcontroller port, we can expand the applications that can be achieved through the platform and the possibilities, and not only, of serial communication such microcontrollers with a process computer or other such devices to be increasingly used in complex industrial applications, etc.

An important advantage of the application submitted is the discounted price of made and flexibility.

References

[1]. Antonie, N., Borcoşi, I., Dincă, A., Ionescu, M., *FOC Control System of AC Machines*, Analele Universitatii „Constantin Brancusi" din Tg. Jiu, Seria Inginerie, no.2/2008,ISSN 1844 – 4856, pag. 307-312.

[2]. Antonie, N., Borcoşi, I., Ionescu, M., Acquisition and development system with PIC16F84 and PIC16F877 microcontrolers, Analele Universitatii „Constantin Brancusi" din Tg. Jiu, Seria Inginerie, no.3/2010, ISSN 1842 – 4856, pag. 293-301.

[3]. Borcosi I., Onisifor O., Popescu M.C., Antonie N., "A Method to Protect from no Pulse for a Three-Phase Rectifier Bridge Connected with the Resistive-Inductive Load", Proceedings of the 10th WSEAS International Conference on Mathematical and Computational Methods in Science and Engineering, Bucharest, November 2008, pp.146-152.

[4]. Borcosi I, Olaru O, Popescu M.C., Antonie N., "Method to Protect from no Pulse for a Three-Phase Rectifier Bridge", International Journal of Mathematical Models and Methods in Applied Sciences, January 2009, pp.473-482.

[5]. Borcoşi Ilie, Olaru Onisifor, Popescu Marius-Constantin, Dincă Alina, Device with Analogical Circuits for Protection to the Lack of the Pulse for the Three-Phase Rectifiers in Bridge, Proceedings of the 10th WSEAS International Conference on MATHEMATICAL and COMPUTATIONAL METHODS in SCIENCE and ENGINEERING (MACMESE '08), Bucharest, Romania, Nov. 7-9, 2008, Part I, ISSN: 1790-2769, ISBN:978-960-474-019-2, pp. 152-157.

[6]. Borcoşi Ilie, Olaru Onisifor, Popescu Marius-Constantin, Dinca Alina, Antonie Nicolae, Ionescu Marian, Device with Analogical Circuits for Protection to the Lack of the Pulse for the Three-Phase Rectifiers in Electrical Drive, INTERNATIONAL JOURNAL OF MATHEMATICAL MODELS AND METHODS IN APPLIED SCIENCES, Issue 4, Volume 2, December 2008, ISSN: 1998-0140, pp. 483-492.

[7]. Ilie Borcoşi, Onisifor Olaru, Nicolae Antonie, Device for Protection to the Lack of the Pulse for the Tri-Phase Rectifiers in Bridge, International Journal of Coputers, Communications& Control, ISSN 1841-9836, E-ISSN 1841-9844, Vol. III, 2008, pp. 196-200.

[8]. Marius-Constantin Popescu , Ilie Borcoşi, Onisifor Olaru, Luminiţa Popescu, Florin Grofu, Simulation Hybrid Fuzzz Control of SCARA Robot, 2007, Proceedings of the 3rd WSEAS International Conference on Applied and THEORETICAL MECHANICS (Mechanics '07), Tenerife, Spain, December 14-16, 2007, pag. 175-180 Published by WSEAS Press, ISBN: 978-960-6766-19-0, ISSN: 1790-2769;

[9]. Marius-Constantin Popescu , Ilie Borcoşi, Onisifor Olaru, Luminiţa Popescu, Florin Grofu,The Simulation Hybrid Fuzzy Control of Scara Robot, WSEAS TRANSACTIONS on SYSTEMS AND CONTROL, Issue 2, Volume 3, February 2008, ISSN: 1991-8763.

[10]. Popescu M.C., Mastorakis N., Borcosi I., Popescu L., Asynchronous Motors Drive Systems Command with Digital Signal Processor, International Journal of Systems Applications, Engineering & Development, Issue 2, Vol.3, pp.64-73, 2009.

[11]. Paturca, S., V., Covrig, M., Cepisca, C., Serita, G., Proposed Schemes for Improving the Steady State Behaviour of Direct Torque Controlled Induction Motor, Proceedings of the 7th WSEAS International Conference on Power Systems, Beijing, China, September 15-17, 2007, pp. 53-58.

[12]. Borcoşi, I., Dincă, A., Nebunu, D.L., Antonie N., A., High performance digital control system of AC Machines, Annual of University of Mining and Geology ,,St. Ivan Rilski" – Sofia, vol. 51, Part III, Mechanization, electrification and automation in mines, 2008, ISSN 1312-1820, pp. 23-26.

[13]. PIC 16F877 Datasheet 28/40-Pin CMOS FLASH Microcontrollers.

[14]. LM35/LM35A Datasheet, Precision Centigrade Temperature Sensors.

[15]. Nenova Z. P., Velev G. Ts., Measurements and control in the occupational safety engineering, "Gabrovo Print"-EOOD, 2008, ISBN: 978-954-436-024-5

THE COMMAND AND MONITORING OF THE PARAMETERS U, I, n OF A DC MOTOR USING PIC MICROCONTROLLER

Antonie Nicolae [1], Cozma Vasile [2], Borcosi Ilie [3]

[1] *"Constantin Brâncuşi" University from Târgu Jiu*
[2] *"Constantin Brâncuşi" University from Târgu Jiu*
[3] *"Constantin Brâncuşi" University from Târgu Jiu*

ABSTRACT. In industrial applications (and not only), a very important role is played by microcontrollers which, more performant each day, gather a part of calculus technique necessary for control and acquisition, simplifying in this way the control devices for the technological processes they serve.

УПРАВЛЕНИЕ И МОНИТОРИНГ НА ПАРАМЕТРИТЕ U, I, n НА ДВИГАТЕЛ С ПОСТОЯНЕН ТОК ЧРЕЗ ИЗПОЛЗВАНЕТО НА PIC МИКРОКОНТРОЛЕР

Антони Николае[1], Козма Василе[2], Боркози Илие[3]

[1] *"Университет „Константин Бранкузи" от Търгу Жиу*
[2] *"Университет „Константин Бранкузи" от Търгу Жиу*
[3] *"Университет „Константин Бранкузи" от Търгу Жиу*

РЕЗЮМЕ: Микроконтролерите играят важна роля в индустрията, а и не само. Всеки ден те събират данни, които са необходими за контрол и обработка, като по този начин опростяват контролните уреди за технологичните процеси, за които са предназначени.

The description of development PIC16F877A

The PIC16F877A Microcontroller is part of the 8-bit PIC microcontrollers family, has a complex internal structure, is able to acquire analog signals having constituted an analog-digital 10-bit, can generate PWM signals, can communicate with external devices lends itself particularly well in industrial applications.

It presents five bidirectional ports configurable for use by installation and can be used in very complex applications.

In this paper we propose creation of a data acquisition system for monitoring parameters U, I and n for DC motor.

The voltage is token directly from the motor terminals between 0V and 220V d.c. and applied adaptor modules and the current is taken through a resistor.
The block diagram used is shown in the figure 1.

For monitoring the D.C. motor turation we used the following scheme for coupling electronic proximity sensor to the microcontroller circuit.

The signals token from adaptation modules are applied to two analog inputs pin of microcontroller and are converted by the internal analogic to digital converter.

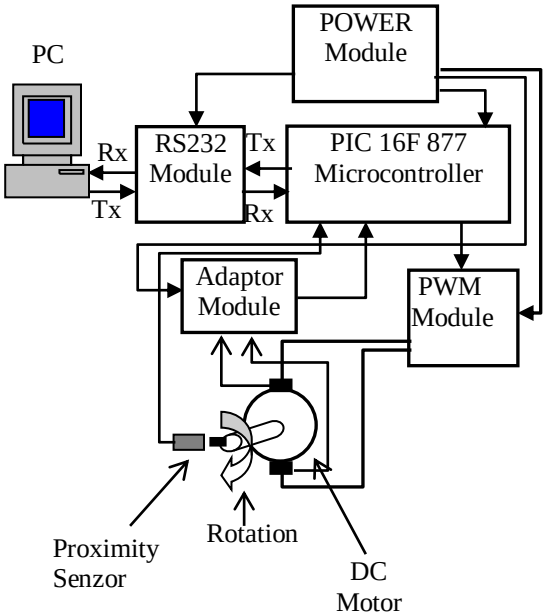


Fig. 1. Block diagram of data acquisition system

On the other hand, the signal as digital pulses over the proximity sensor is applied to a digital input pin of the microcontroller.

In figure 2 is present the electronic diagram connecting of the proximity sensor to a PIC 16 F877 microcontroller.

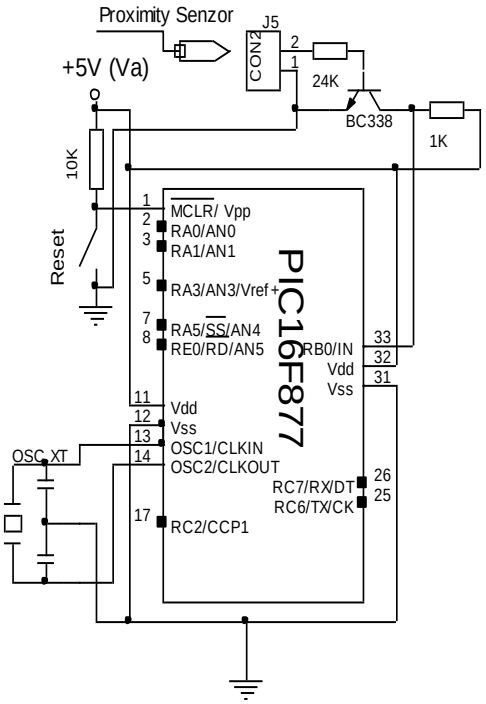


Fig. 2. Proximity sensor connection to the microcontroller

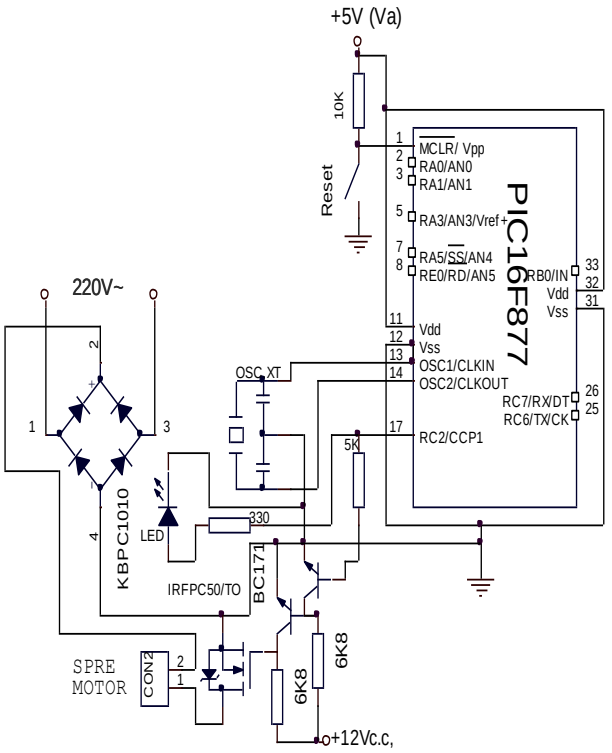


Fig. 3. The single-phase bridge rectifier

Taking the signals (voltage 0-5V) of process is made through a digital channel of the microcontroller, so to retrieve the signal from the motor shaft will use a capacitive proximity sensor type or a combination transmitter and receiver placed near a flange provided with a slot that is driven by motor shaft.

I used a capacitive proximity sensor that information provided by it is not influenced by external factors.

Capacitive proximity sensors are similar to inductive proximity sensors. The main difference between the two types is that capacitive proximity sensors produce an electrostatic field instead of an electromagnetic field.

Capacitive proximity switches will sense metal as well as nonmetallic materials such as paper, glass, liquids, and cloth. Standard targets are specified for each capacitive sensor. The

Dielectric Constant standard target is usually defined as metal and/or water.

Capacitive sensors depend on the dielectric constant of the target. The larger the dielectric number of a material the easier it is to detect.

These sensors will detect conductive material such as copper, aluminum, or conductive fluids, and nonconductive material such as glass, plastic, cloth, and paper. Shielded sensors can be flush mounted without adversely affecting their sensing characteristics. Care must be taken to ensure that this type of sensor is used in a dry environment. Liquid on the sensing surface could cause the sensor to operate.

For **single-phase bridge** (figure 3) rectifier requires a single control signal having frequency equal to frequency sinusoidal signal from the input rectifier. Reference signal (triangle) is much higher frequency than the sinusoidal.

Depending on the conduction times produced by the microcontroller, can vary the voltage rectified by a bridge rectifier power from zero to maximum, ranging Thus the induced voltage on the control of a DC motor can be control with very good accuracy, its speed.

All these signals are processed by the microcontroller through the program entered in the memory program of the microcontroller.

Data processed are serial transmission to a computer that running data acquisition software serves to graphical display signals and the human operator through the user interface can give commands to the D.C. motor changing its speed as a needed.

On the other hand, the signal as digital pulses over the proximity sensor is applied to a digital input pin of the microcontroller.

All these signals are processed by the microcontroller through the program entered in the memory program of the microcontroller.

Data processed are serial transmission to a computer that running a data acquisition software serves to graphical display signals and the human operator through the user interface can give commands to the D.C. motor changing its speed as a needed.

The human operator commands are processed by software purchase as is transmits digital microcontroller wich is able to generate PWM signals by wich the D.C. motor speed is maintained at the desired value.

The proposed acquisition system can be extended to other applications by adapting the signals to the system requirements, by modifying the program written in memory of

the microcontroller program to the new arrangement and operator interface running on the computer.

Serial data transmission module between the circuit microcontroller and the computer is provided with optocuplers for galvanic isolation so that a fault can occur purchasing system does not cause damage to computer system or data acquisition board.

In figure 4 is presented an electronic scheme of the data acquisition system formed around a core type PIC16tF877 microcontroller.

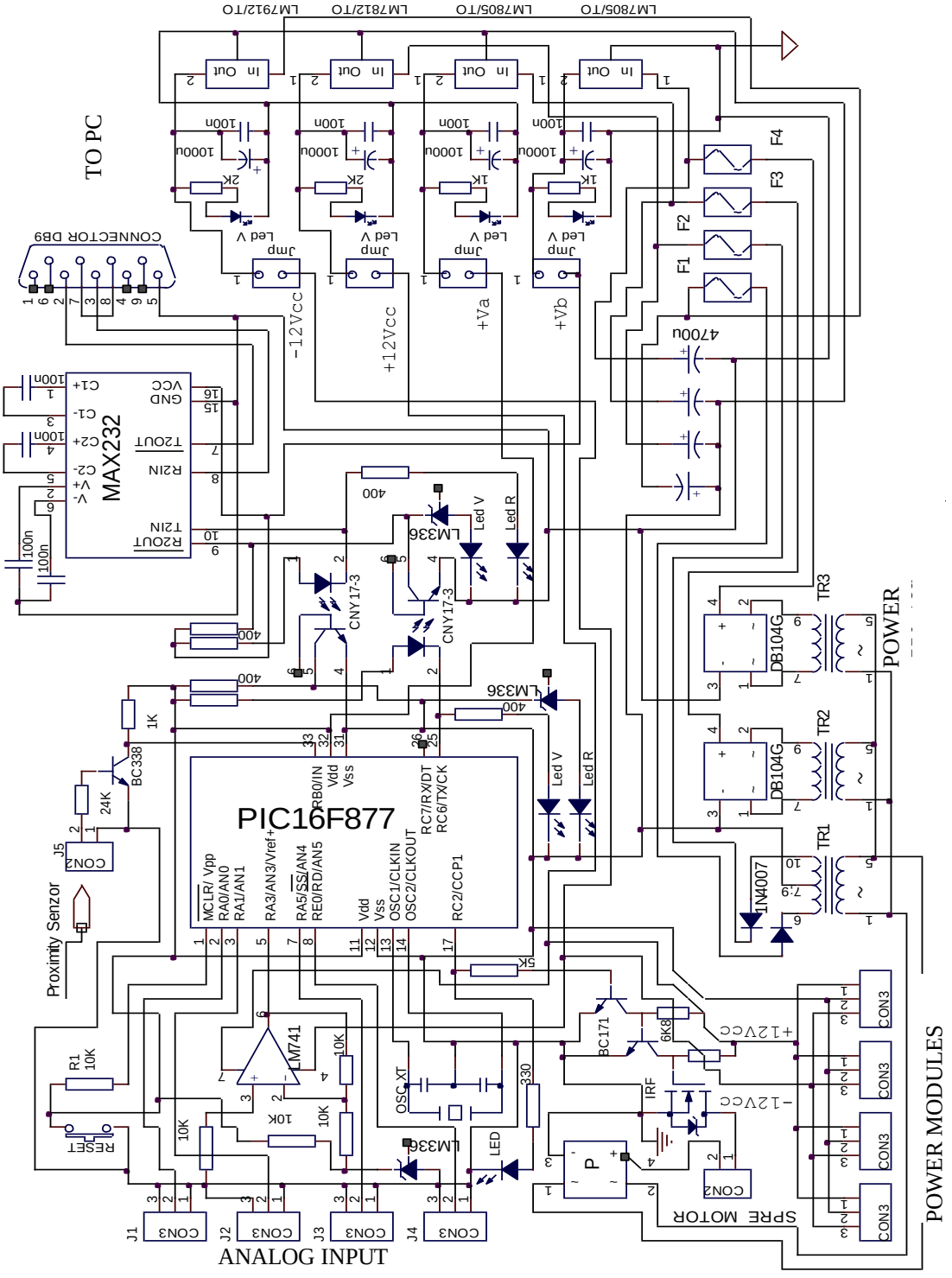


Fig. 4. The data acquisition system

Conclusions

The complexity of this development system doesn't stop here. It can be extended function of the requirements and complexities of the technological installations which are to be controlled.

By simply removing of microcontroller ports in the external using connectors, also we may extend the applications which can be made with the help of the platform and due to the possibilities of a serial communication (and not only) with a process computer or with other devices of this type, makes

them more and more useful in very complex industrial applications.

References

[1]. Antonie, N., Borcoşi, I., Dincă, A., Ionescu, M., FOC Control System of AC Machines, Analele Universitatii „Constantin Brancusi" din Tg. Jiu, Seria Inginerie, no.2/2008,ISSN 1844 – 4856, pag. 307-312.

[2]. Antonie, N., Borcoşi, I., Ionescu, M., Acquisition and development szstem with PIC16F84 and PIC16F877 microcontrolers, Analele Universitatii „Constantin Brancusi" din Tg. Jiu, Seria Inginerie, no.3/2010, ISSN 1842 – 4856, pag. 293-301.

[3]. Borcosi I, Olaru O, Popescu M.C., Antonie N., "Method to Protect from no Pulse for a Three-Phase Rectifier Bridge", International Journal of Mathematical Models and Methods in Applied Sciences, January 2009, pp.473-482.

[4]. Borcosi I., Onisifor O., Popescu M.C., Antonie N., "A Method to Protect from no Pulse for a Three-Phase Rectifier Bridge Connected with the Resistive-Inductive Load", Proceedings of the 10th WSEAS International Conference on Mathematical and Computational Methods in Science and Engineering, Bucharest, November 2008, pp.146-152.

[5]. Borcoşi Ilie, Olaru Onisifor, Popescu Marius-Constantin, Dincă Alina, Device with Analogical Circuits for Protection to the Lack of the Pulse for the Three-Phase Rectifiers in Bridge, Proceedings of the 10th WSEAS International Conference on MATHEMATICAL and COMPUTATIONAL METHODS in SCIENCE and ENGINEERING (MACMESE '08), Bucharest, Romania, Nov. 7-9, 2008, Part I, ISSN: 1790-2769, ISBN:978-960-474-019-2, pp. 152-157.

[6]. Borcoşi Ilie, Olaru Onisifor, Popescu Marius-Constantin, Dinca Alina, Antonie Nicolae, Ionescu Marian, Device with Analogical Circuits for Protection to the Lack of the Pulse for the Three-Phase Rectifiers in Electrical Drive, INTERNATIONAL JOURNAL OF MATHEMATICAL MODELS AND METHODS IN APPLIED SCIENCES, Issue 4, Volume 2, December 2008, ISSN: 1998-0140, pp. 483-492.

[7]. Ilie Borcoşi, Onisifor Olaru, Nicolae Antonie, Device for Protection to the Lack of the Pulse for the Tri-Phase Rectifiers in Bridge, International Journal of Coputers, Communications& Control, ISSN 1841-9836, E-ISSN 1841-9844, Vol. III, 2008, pp. 196-200.

[8]. Marius-Constantin Popescu , Ilie Borcoşi, Onisifor Olaru, Luminiţa Popescu, Florin Grofu, Simulation Hybrid Fuzzz Control of SCARA Robot, 2007, Proceedings of the 3rd WSEAS International Conference on Applied and THEORETICAL MECHANICS (Mechanics '07), Tenerife, Spain, December 14-16, 2007, pag. 175-180 Published by WSEAS Press, ISBN: 978-960-6766-19-0, ISSN: 1790-2769;

[9]. Marius-Constantin Popescu , Ilie Borcoşi, Onisifor Olaru, Luminiţa Popescu, Florin Grofu,The Simulation Hybrid Fuzzy Control of Scara Robot, WSEAS TRANSACTIONS on SYSTEMS AND CONTROL, Issue 2, Volume 3, February 2008, ISSN: 1991-8763.

[10] Popescu M.C., Mastorakis N., Borcosi I., Popescu L., Asynchronous Motors Drive Systems Command with Digital Signal Processor, International Journal of Systems Applications, Engineering & Development, Issue 2, Vol.3, pp.64-73, 2009.

[11]. Paturca, S., V., Covrig, M., Cepisca, C., Serita, G., Proposed Schemes for Improving the Steady State Behaviour of Direct Torque Controlled Induction Motor, Proceedings of the 7th WSEAS International Conference on Power Systems, Beijing, China, September 15-17, 2007, pp. 53-58.

[12]. Borcoşi, I., Dincă, A., Nebunu, D.L., Antonie N., A., High performance digital control system of AC Machines, Annual of University of Mining and Geology ,,St. Ivan Rilski" – Sofia, vol. 51, Part III, Mechanization, electrification and automation in mines, 2008, ISSN 1312-1820, pp. 23-26.

[13]. PIC 16F877 Data Sheet 28/40-Pin CMOS FLASH Microcontrollers.

[14]. Ivanov K. M., Petrov P. K., Velev G. Ts., Electrical power networks and systems, handbook for laboratory exercises, second edition, "Gabrovo Print"-EOOD, 2008

ПОВИШАВАНЕ НА ЕФЕКТИВНОСТТА НА УЛИЧНОТО ОСВЕТЛЕНИЕ.

Красимир Велинов, Владимир Василев

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail: ***candela@mail.bg*** ***http://lighting-bg.eu/***

РЕЗЮМЕ. В доклада се разглеждат пътища за повишаване на ефективността на уличното осветление. Показано е, че чрез използване на съвременни светлинни източници разходите за електроенергия и инсталираната мощност може да се намалят повече от два пъти. Поради специфичната зрителна задача при уличното осветление светлоразпределението на осветителя оказва голямо влияние върху ефективността на осветлението. Формулирани са оптимизационни задачи за постигане на оптимално светлоразпределение.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF STREET LIGHTING.

Krasimir Velinov, Vladimir Vasilev
University of mining and geology "ST. IVAN RILSKI" E-mail: ***candela@mail.bg*** ***http://lighting-bg.eu/***

ABSTRACT. The report describes ways to improve the efficiency of street lighting. It is shown that through the use of advanced light sources, the electricity costs and installed capacity could be reduced more than twice. Due to the specific visual task of street lighting luminaire light distribution has a major impact on the effectiveness of lighting. Optimization problems are formulated for optimal light distribution.

Keywords: Optimization, LED, luminaire, light distribution

ПРОБЛЕМИ НА УЛИЧНОТО ОСВЕТЛЕНИЕ

Състояние на уличното осветление в Република България

Към настоящия момент в Република България са монтирани около 1 млн осветителя, захранвани от 50 хил. касетки. Средният брой осветители включени към една касетка е 20. Общата инсталирана мощност е 100 мегавата с годишен разход на ел.енергия – 430 хил. MWh на цена - 80 млн. лева. Средният светлинен добив на светлината излъчена от осветителите 45lm/W [1]

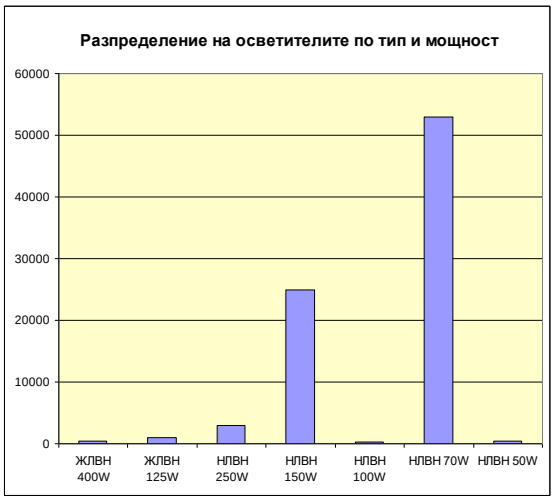
Състояние на уличното осветление в гр. София

- Брой касетки: 1930 (от които 500 с радиоканално управление);
- Среден брой осветители за касетка – 40;
- Средна мощност на касетка – 5.3kW;
- Разходи за електроенергия за 2010 г :
- 39 хил. MWh на стойност около 7-8 млн лева.

- 60 000 осветителни стълба;
- 83 000 светоизточника;
- – Улично осветление – 65 000;
- – Парково осветление – 18 000;
- – НЛВН 70 W 53 000;
- – НЛВН 150 W 25 000;
- – НЛВН 250 W 3 000;
- – ЖЛВН 125 W 1000.

Консумация в kWh за 2010 г:
– Дневна тарифа: 12 802 016 kWh;
– Нощна тарифа: 25 059 246 kWh;
– Еднотарифна: 951 347 kWh;
– Общо: 38 812 609 kWh.

Цени на електроенергията (01. 06. 2010):
- Дневна тарифа: 0.215 лв/ kWh с ДДС;
- Нощна тарифа: 0.125 лв/ kWh с ДДС;
- Еднотарифна: 0.193 лв/ kWh с ДДС.



Фиг. 1.

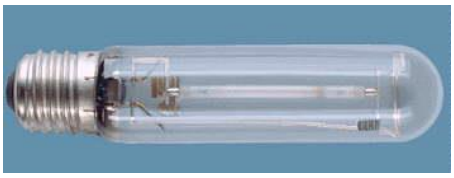
От фигурата се вижда, че преобладаващи са осветителите с натриева лампа с високо налягане с мощност 70W – 53000 бр. По принцип това са едни от най-ефективните източници на светлина, но при тази мощност максималният светлинен добив е 66 lm/W. Горните

източници се влагат в реални осветители с коефициент на полезно действие около 70%. Това означава, че еквивалентният светлинен добив спрямо излъчения от осветителя светлинен поток при тези източници е съответно 45 lm/W. Повечето оптични системи на осветители използващи този източник позволяват падане на 50% от светлината върху пътната настилка. Много неприятно свойство на тези светлинни източници е лошото качество на светлината.

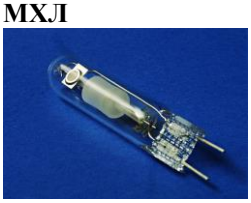
Светлинни източници

В уличното осветление се използват следните източници на светлина:

- **НЛВН**



- **МХЛ**

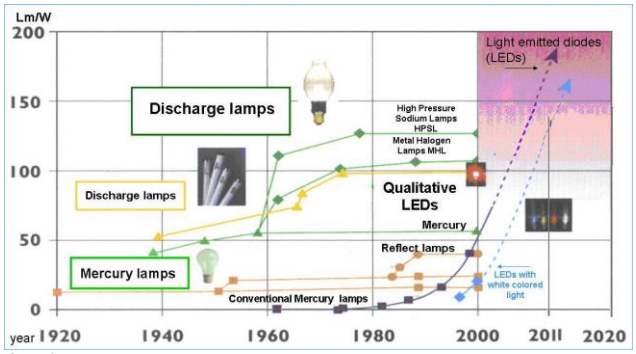


- **КЛЛ**

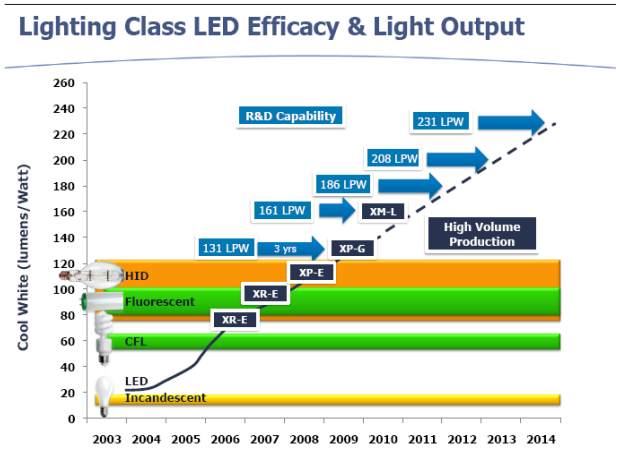
- **LED**

На фиг. 2. е показана промяната на максималния светлинен добив за всеки от тези източници във времето. От графиката се вижда, че натриевите лампи високо налягане имат най-висок светлинен добив, но тези данни се отнасят за лампи с мощност 400W. Тази мощност е подходяща за осветление на някои промишлени обекти, но както се вижда от фиг. 1, около 65% от лампите в уличното осветление са с мощност 70W, при които енергийната ефективност е значително по-ниска.

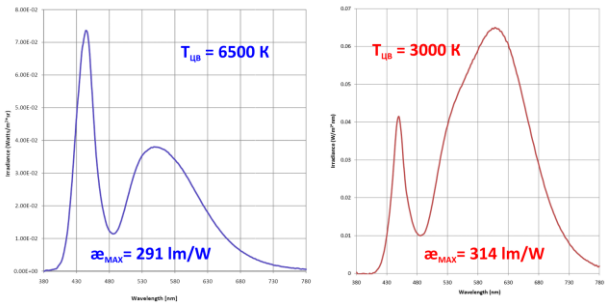
През последните години технологиите в областта на осветлението се развиха с бързи темпове и на пазара се появиха осветители със светодиоди, за които изходящия светлинен поток има ефективност 100 – 110 lm/W. В сравнение с горните стойности те са два пъти по-икономични от натриевите лампи високо налягане. На фиг. 3 е показана тенденцията на повишаване на светлинния добив на светодиодните източници на светлина. В момента на пазара могат да се закупят светодиоди с мощност 1 – 40W и светлинен добив 100 - 160 lm/W.



Фиг. 2.



Фиг. 3.



Фиг. 4.

За идеален източник на светлина, който излъчва монохроматична светлина с дължина на вълната 555nm максималният теоретичен светлинен добив е 683 lm/W. За източник на светлина с бяла светлина максималният теоретичен светлинен добив зависи от цветната температура на излъчената светлина. Светодиодите имат характерна спектрална характеристика на излъчване поради специфичната технология на производство на „белите" светодиоди. На фиг. 4 е показан максималния светлинен добив, който може да се получи от светодиоден излъчвател при цветна температура 3000K и 6500K. Теоретичната граница е около 300 lm/W. При сегашните темпове на развитие на технологията се очаква тази стойност да се достигне около 2020 г. Независимо от това преди 2 месеца се появи съобщение на фирма CREE, че в лабораторни условия е постигнат светлинен добив около 240 lm/W [2].

В момента за осветление на обслужващите улици се използват осветители с НЛВН 70W. За да се реализират нормените изисквания за този клас улици [3] е достатъчно в момента да се използва светодиоден осветител с

мощност 30 – 35 W. При достигане на светлинния добив до 250 lm/W същите улици ще могат да се осветяват с мощност на лампата 10W.

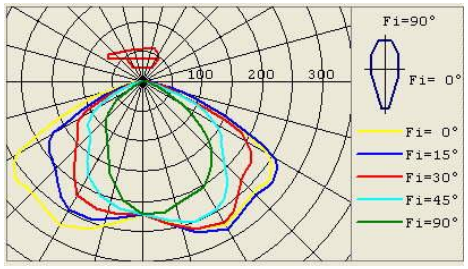
По-долу са показани резултатите от изчисленията на светлотехническите показатели на осветителна уредба при използване на два реално произвеждани осветителя. Единият е на водеща в света фирма с НЛВН 70W, а другият е светодиоден осветител – българско производство. Резултатите са показани в таблица 1.

Разглежда се масовият случай - обслужващи улици със широчина 6.5м, междустълбие – 32 м, разположение на стълбовете – едностранно. За този клас улици изискванията за осветление са следните:

Нормени стойности съобразно БДС EN 13201

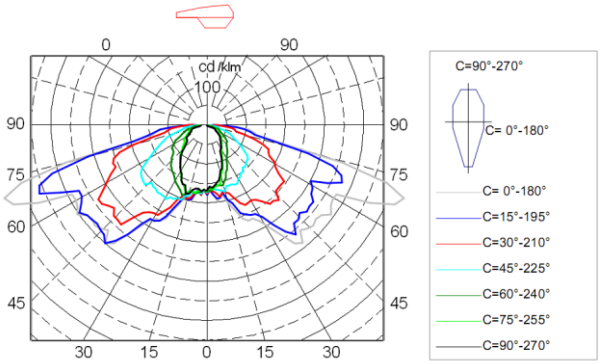
Проектен клас	Светлинен клас	Нормени показатели			
		L ср	Uo	U_L	TI
B2	ME6	0.3	0.35	0.4	15

Вариант1: Осветител с НЛВН 70W (обща мощност 85W)



Средна яркост на пътното платно [cd/m²] 0.38;
Показател на заслепяване (TI), % 2.23;
Обща неравномерност 0.55;
Надлъжна неравномерност ..... 0.50.

Вариант2: Светодиоден осветител с мощност 34W

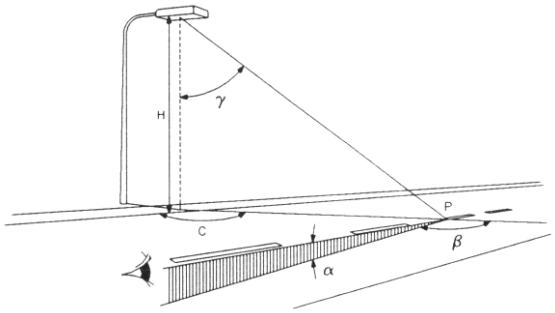


Средна яркост на пътното платно [cd/m²] 0.35;
Средна осветеност на пътното платно, lx 3.5;
Показател на заслепяване (TI), % 6.01;
Обща неравномерност 0.58;
Надлъжна неравномерност ..... 0.75.

Резултатите са красноречиви. Светодиодният осветител покрива нормените изисквания с повече от два пъти по-малка мощност.

Светлоразпределение на осветителя

Прието е нормирането на уличното осветление да се извършва по яркост [3]. За улици от среден клас нормената стойност на яркостта е от 0.5 – 1.5 cd/m². Поради характерната огледална отражателна характеристика на пътната настилка и малкия наклон на погледа на наблюдателя (0.5 – 1.5°) е възможно постигане на по-висока яркост чрез максимално използване на излъчването на осветителя в областта на излъчване от 60 – 90° (фиг. 5.). Използването на тази зона е ограничено от стандарта, с оглед намаляване на заслепяването [3]. Ако светлоразпределението на осветителя е подходящо, то реализирането на нормените показатели може да се осъществи с няколко пъти по-малка мощност.



Фиг. 5.

Цел на настоящата работа е да се получи такова светлоразпределение на осветителя, че с минимален светлинен поток на източника на светлина да се реализират нормативните изисквания към осветителната уредба.

Математически оптимизационната задача може да се дефинира така:

Критерий за оптимизация е минимален светлинен поток излъчен от осветителя, с който да се реализират нормативните изисквания.

Флампа = ∑∑ Iγc . ΔΩγc = MIN γ=0-π/2, C=0- π

Като ограничителни условия могат да бъдат формулирани няколко критерия:
1. При нормиране по яркост[4,5,6]
Lсредно > Lo
Lmin /Lсредно > Go
Emin /Eсредно > Geo
Iγc max (при Флампа=1000lm) < Io
TI < TIзададено
Където:
Lсредно е средната яркост върху пътното платно,
Lo е зададената нормена яркост,
Lmin е минималната яркост върху пътното платно,
Флампа е светлинния поток на осветителя,
ΔΩγc са пространствените ъгли за γ и c,
TI – показател на заслепяване.

2. При нормиране по осветеност
Eсредно > Eo
Emin /Eсредно > Geo
Iγc max (при Флампа=1000lm) < Io
TI < TIзададено
Където:
Eсредно е средната осветеност върху пътното платно,
Eo е зададената нормена осветеност,
Emin е минималната осветеност върху пътното платно,
Флампа е светлинния поток на осветителя,
ΔΩγc са пространствените ъгли за γ и c,
TI – показател на заслепяване.

3. При нормиране по видимост[8]
Vсредно > Vo
Vmin /Vсредно > Geo
Iγc max (при Флампа=1000lm) < Io
TI < TIзададено
Където:
Vсредно е средната видимост върху пътното платно,
Vo е зададеното ниво на видимост,
Vmin е минималната видимост върху пътното платно,
Флампа е светлинния поток на осветителя,
ΔΩγc са пространствените ъгли за γ и c,
TI – показател на заслепяване.

В този случай основно ограничително условие е видимостта на тестовия обект да бъде по-голяма от предварително определено ниво. За условията на пътното движение се приема, че ниво 10 пъти по-голямо от граничното е приемливо. Като тестов обект се използва стандартен зрителен обект, възприет от международната комисия по осветление – куб със страна 0.2м и коефициент на отражение = 0.2.

Посочените ограничителни условия бяха подбрани в процеса на предварителните изследвания за естеството на оптимизационната задача, като отпаднаха други ограничения, които не влияеха чувствително на оптималното решение.

В [4,5,6] горната оптимизационната задача е формулирана като линейна. Това е направено, за да се получи лесно решението и. В действителност дефинираната оптимизационна задача е нелинейна, тъй като функцията на яркостта, равномерността и заслепяването са нелинейни функции от параметрите на светлоразпределението на осветителя.

В [10] оптимизационната задача е формулирана като нелинейна като са получени ограничен брой решения.

Заключение

Така формулираните оптимизационни задачи трябва да се моделират с помощта на МАТЛАБ. Да се определят възможни варианти, за които да се получат оптимални решения. Да се създадат средства за визуализиране на решенията.

Литература

[1] Велинов К., Новости в системите за експлоатация и управление на уличното осветление, Национален семинар “Новости в осветителната техника”, 16 декември 2010 г. , МГУ “Св. Иван Рилски”, София
[2] http://www.cree.com/
[3] БДС EN 13201-2:2003. Осветление на улици. Технически изисквания.
[4]. Василев Хр., Красимир Велинов, Оптимизиране на параметрите на улични осветителни уредби, Сборник с доклади на XII Национална конференция по осветление с международно участие Осветление’2004, 15 – 17 Юни 2004, Международен дом на учените „Ф. Ж. Кюри", Варна, България, стр. 46
[5]. Vassilev Hr., Velinov K., Optimization of the Light Distribution of Street Luminaires, 5. Ulusal Aydinlatma Kongresi ve Interlight Istanbul Fuari, 7-8 Okt. 2004, Istanbul
[6]. Василев Хр., Георгиев Ц., Велинов Кр., Апроксимирование на светлоразпределение осветителей через ортогональные полиномы Лежандра, Калининград, Светлогорск, 19-21 сентября 2006, стр.109.
[7]. Vassilev Hr., Velinov K., Gancho Ganchev, HIGH EFFICIENCY STREET LUMINAIRES, Conferinta internationala Iluminat 2005, (BALKANLIGHT 2005), 06.2005, Clush-Napoka, Romania, p.48-1, 48-7
[8]. Василев Хр., Велинов Кр., Новая концепция освещения улиц, Шестая международная светотехническая конференция, Калининград, Светлогорск, 19-21 сентября 2006, стр.35.
[9] Велинов Кр., Осветление на пътища със светодиоди, Научна сесия на МГУ “Св. Иван Рилски”, 19-20.10.2006. Годишник на МГУ “Св. Иван Рилски”, 2006 г. том 49, свитък III Механизация, електрификация и автоматизация на мините, стр.159 - 162.
[10] Велинов К., Хр. Василев, Влияние на геометричните параметри и нормативните ограничения върху оптималното светлоразпределение на уличните осветители, Сборник с доклади на XIII Национална конференция по осветление с международно участие Осветление’2007, 12 – 13 Юни 2007, Международен дом на учените „Ф. Ж. Кюри", Варна, България, стр. 94-104

ИКОНОМИЧЕСКА ОЦЕНКА НА ЕФЕКТА ОТ УПРАВЛЕНИЕ НА УЛИЧНОТО ОСВЕТЛЕНИЕ

Красимир Велинов [1], Ради Пипев [2]

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София
[1] candela@mail.bg, http://lighting-bg.eu/
[2] radi.pipev@mail.bg

РЕЗЮМЕ. В доклада се прави оценка в какви случаи е ефективно прилагането на системи за управление на уличното осветление. Определени са категориите улици, за които е това мероприятие е икономически изгодно.

ECONOMIC ASSESSMENT OF THE EFFECT OF STREET LIGHTING CONTROL

Krassimir Velinov [1], Radi Pipev [2]
University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia
[1] candela@mail.bg, http://lighting-bg.eu/
[2] radi.pipev@mail.bg

ABSTRACT. The report assesses the cases in which the implementation of an effective management system of street lighting are economically viable. Defined streets are the categories for which this event is economically viable.

Keywords: effective management system of street lighting

Един от начините за намаляване на експлоатационните разходи за улични осветителни уредби (УОУ) е въвеждането на система за управление на УОУ (СУ-УОУ).

Смисъл от въвеждането на една такава СУ-УОУ има само тогава, когато тя е икономически целесъобразна.

Един от критериите за проверка дали внедряването на една СУ-УОУ е икономически изгодно или не е срокът на откупуване на направената инвестиция.

Срокът на откупуване на направената инвестиция за една СУ-УОУ представлява времето необходимо за изплащане на инвестицията (капиталовите разходи направени за закупуване и внедряване на СУ-УОУ) на базата на равни нетни годишни икономии (спестени средства) от експлоатационни разходи.

Счита се, че една СУ-УОУ е икономически изгодна тогава, когато цената, която трябва да се плати за закупуването и внедряването се откупува в разумен срок. За повечето случаи разумен срок на откупуване е срок помалък от 5 години.

Експлоатационните разходи са сума от разходите за консумирана електроенертия, разходи за почистване на осветителите и подмяна на изгорелите лампи, отстраняване на проблеми по захранващата мрежа и механичните елементи. За уличните осветителни уредби разходите за подмяна на лампи са съизмерими с разхода на електроенергия.

За капитални вложения се приемат само допълнителните разходи направени за нуждите на управлението.

Системите за управление могат да бъдат няколко вида с различна степен на сложност и технически възможности.

Най-простите трябва да имат функция само за дистанционно включване и изключване на осветлението по касети.

По-сложните трябва да имат възможност да следят натоварването на касетата и да съобщават в диспечерския център за изгорели лампи или увеличаване на товара над нормалния.

Най-сложните могат да управляват индивидуално всеки осветител и да получават информация за състоянието му.

От по-висок клас са системите, които използват географски информационни системи и освен функциите за управление, подържат информация за състоянието на всеки елемент от осветителната уредба и дават препоръки за оптималната и експлоатация.

Всичките системи трябва да отговарят на следните минимални технически изисквания:

1. Срок за откупуване на системата за управление < 5 години.

2. Системата за управление да показва състоянието на осветителната уредба (включено/изключено) и визуализацията му в диспечерския център.

3. Да подава сигнал в диспечерския център при нерегламентирано отваряне на таблото за улично осветление.

4. При увеличаване на електрическия товар над експлоатационния да се сигнализира в диспечерския център за нерегламентирано включване или за късо съединение.

5. При неработещ осветител на клон от касетката да се сигнализира в диспечерския център.

6. Системата за управление да отговаря на изискванията за електромагнитна съвместимост съгласно групата стандарти за EMC EN 61000-3-2 и БДС EN 55015.

Срокът на откупуване на инвестицията направена за една СУ-УОУ зависи от много фактори. Част от тези фактори могат да бъдат групирани в следните категории:

- Икономически:
  - Размер на самата инвестиция;
  - Очаквани икономии от електроенергия;
  - Цена на електроенергията;
- Светлотехнически и енергийни:
  - Вид и мощност на използваните светлинни източници;
  - Димиране – нива на светлинния поток и консумираната ел. енергия в следствие на димирането;
- Технологични:
  - Избор на степен (ниво) на управляемост на УОУ (касета, клон, осветител);
  - Използвана технология на управление – комуникационна среда, протоколи за предаване на данни, хардуер;
  - Използвана технология на димиране;
- Изисквания на нормативната уредба и стандарти:
  - Нормени изисквания за улично осветление (БДС EN 13201) [3];
  - Клас на осветяваните улици (според уличната класификация по Наредба № 2).

С настоящия доклад е направен опит да се оцени срока на откупуване на една СУ-УОУ по гореизброените икономически и светлотехнически фактори.

За постигане на горната цел ще бъдат дадени три примера на УОУ изпълнени с различни по вид светлинни източници с различни мощности.

И за трите избрани примера ще бъдат направени следните приемания:

- УОУ работи 4000 часа годишно.
- УОУ работи 2000 часа годишно в режим на димиране.
- За управление на УОУ използваме СУ-УОУ, която може да има две изпълнения:
  - *Изпълнение вариант* 1 – капиталовите вложения са съответно 500 лв. за контролер управляващ табло за улично осветление Т-УО (контактор за вкл. и изкл. на осветлението);
  - *Изпълнение вариант* 2 – капиталовите вложения са съответно 3000 лв. за управляващ контролер (разположен в Т-УО).

И за двата варианта за да може да се реализира димиране трябва да се направят допълнителни разходи за осветителя:

– за газоразрядни лампи високо налягане - монтиране на двоен дросел вместо единичен и комутационни устройства или съответна електронна ПРА, монтиране на PLC контролер в осветителя за комуникация с контролера в Т-УО, полагане на допълнителен проводник за подаване на команда от Т-УО до осветителя или устройство за безжична връзка (при липса на възможност за полагане на допълнителен проводник);

– за светодиодни осветители – монтиране на допълнителен контролер за комуникация с управляващия контролер в табло Т-УО.

И в двата случая допълнителните разходи за един осветител се оценяват на 100 лв.

При икономическата оценка ще се отчитат само експлоатационните разходи свързани с разходите на енергия. Средната цена на електроенергията с включен в нея ДДС е от порядъка на 0,193 лв./kW.h.

Пример 1:

Нека разгледаме УОУ на парк изградена с осветители с МХЛ с номинална мощност 45W.

В режим на димиране на 50% от номиналният светлинен поток, МХЛ използвана в УОУ ще консумира по-малка ел. мощност, от порядъка на 60% от номиналната мощност на лампата, което в случая се равнява на около 27W, т.е. лампата ще работи с 18W по-малко мощност от номиналната.

Тогава годишната икономия на електроенергия от използване на димиране за една лампа ще бъде:

$\Delta C_E = 18.10^{-3}$ kW x 2000 h/год. x 0,193 лв./kW.h. = 6,95 лв./год.

В таблица 1 по-долу е направено сравнение на срока за откупуване за горната УОУ, когато тя е изградена с СУ-УОУ варианти 1 и 2. Приема се, че към една касета средно са включени 25 бр. лампи [1]. Допълнителните капитални вложения са преизчислени за една лампа.

Таблица 1

Вариант №	ΔК лв.	ΔСе лв./год	Срок на откупуване
1	120	6,95	17.3 год.
2	220	6,95	31.6 год.

Пример 2:

Нека разгледаме УОУ на обслужваща улица изградена с LED осветители с номинална мощност от светодиодите 34W [4].

В режим на димиране на 50% от номиналният светлинен поток, LED осветителя използван в УОУ ще консумира по-малка ел. мощност, от порядъка на 45% от номиналната мощност на светодиодите, което в случая се равнявя на около 15,3W, т.е. лампата ще работи с 18,7W по-малко мощност от номиналната.

Тогава годишната икономия на електроенергия от използване на димиране за един осветител ще бъде:

ΔC_E = 18,7.10^{-3} kW x 2000 h/год. x 0,193 лв./kW.h. ≈ 7,22 лв./год.

Аналогично на табл. 1 в табл. 2 са показани разходите и срокът за откупуване на двата варианта на СУ-УОУ:

Таблица 2

Вариант №	ΔК лв.	ΔСе лв./год	Срок на откупуване
1	120	7,22	16.6 год.
2	220	7,22	30.5 год.

Пример 3:

Нека разгледаме УОУ на булевард изградена с осветители с НЛВН с номинална мощност 250W.

В режим на димиране на 50% от номиналният светлинен поток, НЛВН използвана в УОУ ще консумира по-малка ел. мощност, от порядъка на 35% от номиналната мощност на лампата, което в случая се равнявя на около 162,5W, т.е. лампата ще работи с 87,5W по-малко мощност от номиналната. [2]

Тогава годишната икономия на електроенергия от използване на димиране за една лампа ще бъде:

$\Delta И_E$ = 87,5.10^{-3} kW x 2000 h/год. x 0,193 лв./kW.h. = 33,78 лв./год.

В таблица 3 по-долу е направено сравнение на срока за откупуване за горната УОУ, когато тя е изградена с СУ-УОУ варианти 1 и 2. Приема се че към една касета средно са включени е 25. лампи [1]. Допълнителните капитални вложения са преизчислени за една лампа.

Таблица 3

Вариант №	ΔК лв.	ΔСе лв./год	Срок на откупуване
1	120	33,78	3.5 год.
2	220	33,78	6.5 год.

Тъй като в за гр. София средният брой осветители за касетка е 40, то резултатите от таблица 3 се трансформират в таблица 4:

Таблица 4

Вариант №	ΔК лв.	ΔСе лв./год	Срок на откупуване
1	112.5	33,78	3.0 год.
2	175	33,78	4.6 год.

Изводи

Въвеждането на системи за управление за обслужващи улици и осветление на паркови пространства е икономически нецелесъобразно. За тези обекти направените капитални вложения не могат да се откупят.

За улици от по-висока категория срокът на откупуване на капиталните вложения е между 3 и 5 години само ако броят на осветителите захранени от една касета е по-голям от 40. В повечето случаи това е изпълнено. При изчисленията не е отразена нетната настояща стойност.

Литература

[1] Велинов К., Новости в системите за експлоатация и управление на уличното осветление, Национален семинар "Новости в осветителната техника", 16 декември 2010 г., МГУ "Св. Иван Рилски", София.

[2] Велинов К., В. Войводов, Модернизация на кълбов фотометър с цифрови фотосензори, Годишник на МГУ "Св. Иван Рилски", 2012 г., т. Механизация, електрификация и автоматизация на мините.

[3] БДС EN 13201-2:2003. Осветление на улици. Технически изисквания.

[4] Велинов К., В. Василев Повишаване на ефективността на уличното осветление. Годишник на МГУ "Св. Иван Рилски", 2012 г., т. Механизация, електрификация и автоматизация на мините.

МОДЕРНИЗАЦИЯ НА КЪЛБОВ ФОТОМЕТЪР С ЦИФРОВИ ФОТОСЕНЗОРИ

Красимир Велинов, Венко Войводов

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail: candela@mail.bg http://lighting-bg.eu/

РЕЗЮМЕ. В доклада се описва фотометър на Ulbricht за измерване на светлинния поток на светлинни източници и осветители, който е построен в МГУ "Св. Иван Рилски като се използват 12 цифрови фотоприемника, инсталирани по повърхността на сферата. Сензорите са микропроцесорни устройства с вградени 16-битови АЦП. Към системата е включен измервател на мощност HM8115-2. Разработен е специализиран софтуер под DELPHI, който управлява измервателната система и генерира протоколи от измерванията.

MODERNIZATION OF ULBRICHT PHOTOMETER WITH DIGITAL PHOTO SENSOR

Krassimir Velinov, Venko Voivodov

University of mining and geology "ST. IVAN RILSKI" E-mail: candela@mail.bg http://lighting-bg.eu/

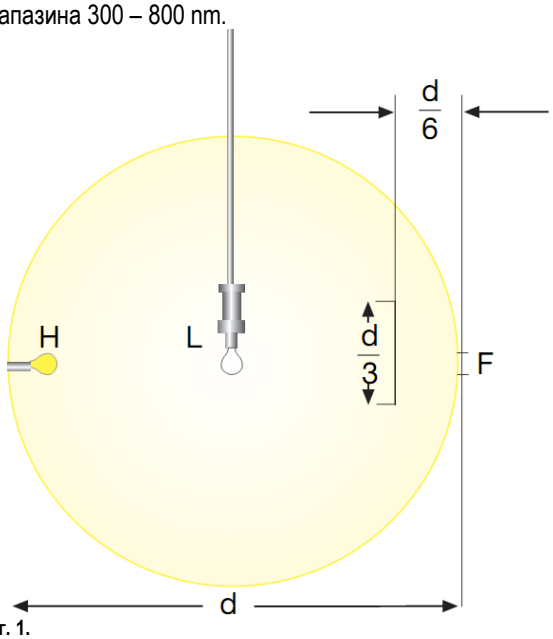
ABSTRACT. The report describes the Ulbricht sphere in measuring the luminous flux of light sources and luminaires, which was built in UMG "St. Ivan Rilski using 12 digital photosensor installed on the surface of the sphere. Sensors are microprocessor-based devices with integrated 16-bit ADC. system is connected to a power meter HM8115-2. specialized software has been developed under DELPHI, which controls the measurement system and generates reports of measurements.

Keywords: Optimization, LED, luminaire, light distribution

Въведение

Измерването на светлинен поток на източници на светлина може да се извърши по два метода – абсолютен и относителен. Първият метод използва разпределителен фотометър и позволява измерването на светлинния поток с висока точност [1]. За бързо провеждане на измерването се използва и относителен метод – чрез кълбов фотометър. При него трябва да разполагаме с еталонен източник на светлинен поток.

Кълбовият фотометър представлява куха сфера, чиято вътрешна повърхност е покрита с дифузно отразяващ материал. Светлинният източник /L/ е монтиран вътре във фотометъра (Фиг. 1). Светлината, многократно отразявана от вътрешността на сферата, се регистрира през отвор /O/ с луксметър. За предпазване на фотоелемента на луксметъра от пряката светлина на лампата, пред нея се монтира екран /K/. При тези условия осветеността /E/ на отвора /O/ е пропорционална на излъчения светлинен поток от източника. Решаващ фактор е максималният размер на източника на светлина, който ще се измерва. Колкото по-голям източника на светлина, толкова по-голяма трябва да бъде интегрираща сфера, за да се сведат до минимум грешките при измерването. Сферата е боядисана от вътре с бяла боя, която дифузно отразява светлината. Изискванията към боята са да бъде с висок коефициент на отражение в широк четотен обхват – ултравиолетовата, видимата и инфрачервената зона от спектъра и да отразява дифузно светлината. Съществуват много материали, които да отговарят на тези качества, но най-разпространен е прах от бариев сулфат разтворен в поливинилалкохол. При многократно нанасяне на тънки слоеве с този материал може да се получи коефициент на дифузно отражение – 0.98, при това запазващ се в диапазина 300 – 800 nm.



Фиг. 1.

Въз основа на принципа на могократно дифузно отражение, интегрираща сфера се използва за измерване на светлинен поток от външен или вътрешен източник на радиация.

Теория на кълбов фотометър.

Светлинният източник във вътрешноста на кълбого осветява вътрешната му повърхност. Осветеността на

всеки елемент от повърхността на кълбовия фотометър *E* може да се раздели на две съставящи:

$$E = E_g + E_0 \ ,$$

където E_g е осветеността, създадена непосредствено от светлинния източник, E_0 – осветеността , създадена в резултат на многократните отражения на светлинния поток от стените на сферата.

Фиг. 2. Общ изглед на кълбовия фотометър

Осветеността *E*g може да се изчисли чрез закона на квадратичното отдалечение, т.е. зависи от светлоразпределителната крива и местоположението на светлинния източник. . Големината на осветеността E_0 се определя с израза :

$$E_0 = \frac{\rho\Phi}{(1-\rho)4\pi R^2}, \qquad (1)$$

където Φ е излъченият от източника светлинен поток;

ρ - коефициент на отражение на вътрешната повърхност на сферата;

R - радиусът на сферата.

В резултат на многократните отражения на светлинния поток, от уравнението се вижда, че осветеността зависи от потока, излъчен от светлинния източник, размерите и коефициента на отражение на кълбовия фотометър, а не от местоположението на светлинния източник.

За определяне на светлинния поток на изследвания светлинен източник се извършват две измервания на осветеността E_0. Първоначално в сферата се поставя еталон с известен светлинен поток и се измерва осветеността. След това в сферата се поставя изследваният светлинен източник и се измерва осветеността. Съвместното решаване на уравненията за двете осветености:

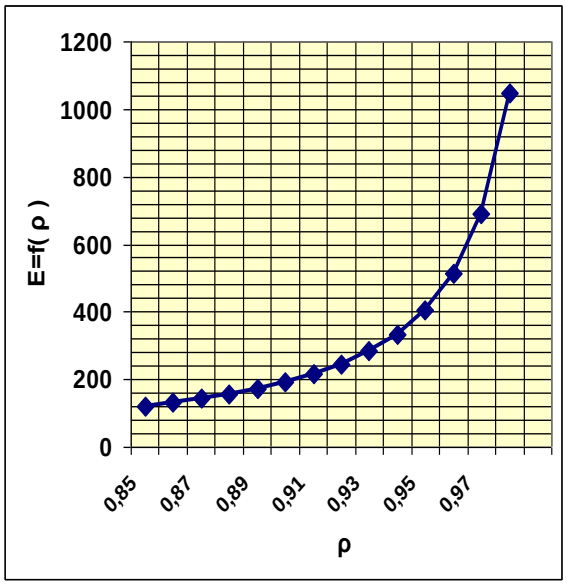
$$E_{0ет.} = \frac{\rho\Phi_{ет}}{(1-\rho)\pi R^2} \quad \text{и} \quad E_{0изсл.} = \frac{\rho\Phi_{изсл.}}{(1-\rho)\pi R^2}$$

дава възможност да се определи светлинния поток на изследвания светлинен източник:

$$\Phi_{изсл.} = \Phi_{ет.} \frac{E_{0изсл.}}{E_{0ет.}} \ . \qquad (2)$$

В зависимост от светлината, която излъчват светлинните източници (насочена,разсеяна), позицията на фотодетекторните елементи, екраните и размера на сферата, интегриращите сфери могат да бъдат конфигурирани за редица приложения.

В НИЛ ,,Осветителна техника" към МГУ,,Св. Иван Рилски" от дълги години има изграден със собствени усилия кълбов фотометър с диаметър на сферата – 2м. Като еталонен източник на светлина се използва нажежаема лампа с мощност 100W, която периодично се кабирира в Български институт по метрология, сектор „Оптични измервания". Точноста на измерването зависи от съотношението на размерите на кълбото към тези на светлинния източник и от коефициента на отражение на покритието. Колкото по-висок е той, толкова по-равномерно се разпределя светлинния поток и точноста е по-висока. От (1) като се знае диаметърът на кълбото, светлинния поток на еталонния изтомник и измерената осветеност може да се изчисли коефициента на отрежение на покритието. На фиг. 3 е показана тази зависимост за кълбо с диаметър 2м и наличния еталон.

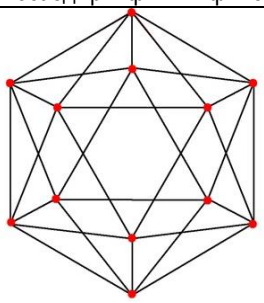


Фиг. 3

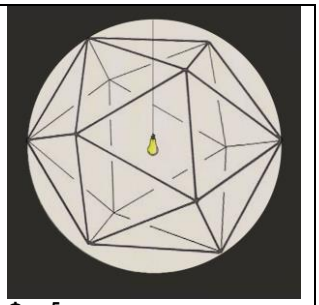
От графиката и измерената осветеност се установява, че средната стойност на коефициента на отражение на кълбовия фотометър е 0.93. Това е сравнително ниска стойност, поради което се препоръчва пребоядисването му. При ниски стойности на коефициента на отражение и измерване на осветители с насочено излъчване може да се получи неравномерно разпределение на осветеността в кълбото. Това увеличава грешката при измерването.

С оглед увеличаване на точността на измерванията бяха направени изменения и подобрения на съществуващия кълбов фотометър, като целта беше да се намали грешката при измерване на светлинния поток (грешка от не добро отражение на вътрешната повърхност на сферата). За целта броят на фотосензорите се увеличи от един на дванадесет – по шест във всяка половина на кълбото.

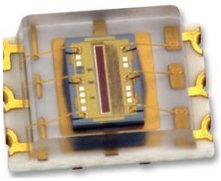
Фотосензорите са разположени във формата на вписан икосаедър – фиг.4 и фиг.5.



Фиг. 4

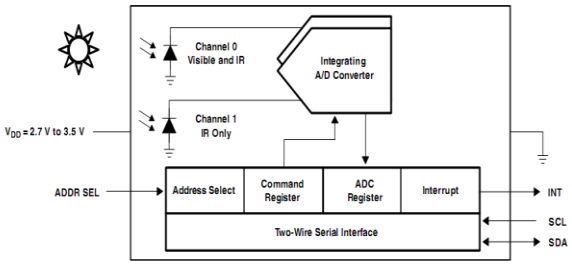


Фиг. 5



Като фотосензори са използвани TSL2561. Те представляват микропроцесорни прибори с вградени 16 разрядни АЦП и вграден програмируем предусилвател на 16 [3] (Фиг. 6).

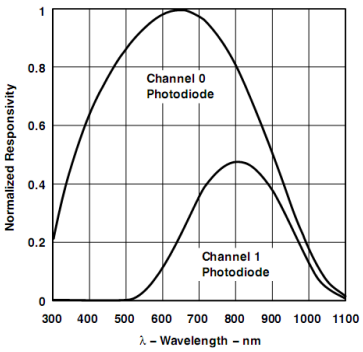
Фиг.6а. Външен вид на фотоприемника



Фиг. 8б. Вътрешна структура на фотоприемника

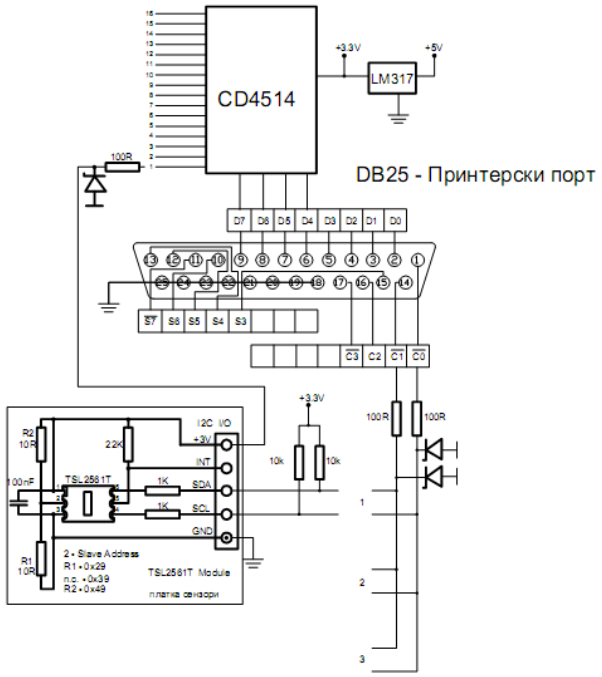
Всеки сензор за осветеност съдържа два канала с аналогово-цифров преобразувател, който интегрира тока от два фотодиода. Комуникацията с устройството се осъществява чрез стандартна, двупроводна линия по I²C серийна шина. Всяко устройство съчетава един фотодиод с широк спектрален диапазон (видима плюс инфрачервена светлина) и един инфрачервен фотодиод върху CMOS интегрална схема способни да осигурят спектрална чувствителност близка до човешкото око с ефективен 20-битов динамичен обхват (16-битова резолюция) (фиг. 7). От тези два цифрови сигнала може да се получи осветеността в луксове чрез емпирична формула, която осигурява спектрална чувствителност близка до тази на човешкото око.

За измерване на цветната температура и цветните координати на светлината в сферата допълнително е монтиран RGB сензор описан в [4].



Фиг. 7. Спектрална чувствителност за всеки от двата канала

Схемата за управление е показана на фиг. 8. Тя е максимално упростена чрез използване на паралелния порт на компютъра.

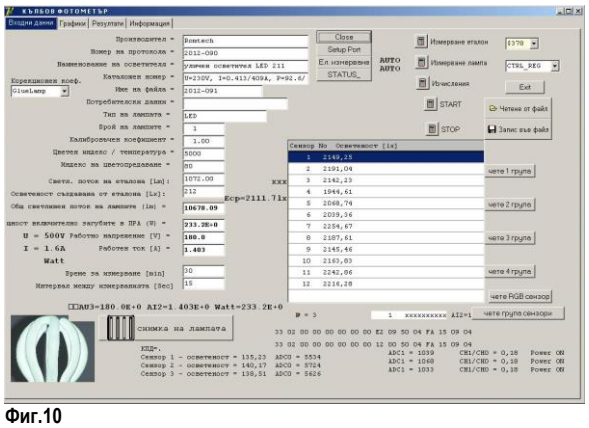


Фиг. 8. Принципна електрическа схема

За да се контролират електрическите параметри на осветителите по време на измерването се използва лабораторния измервател на мощност НМ-8115-2 (фиг. 9). Той позволява измерването на напрежение, ток, активна и реактивна мощност, като управлението на уреда може да се извърши от компютър и резултатите да се получат по вградения интерфейс [5].

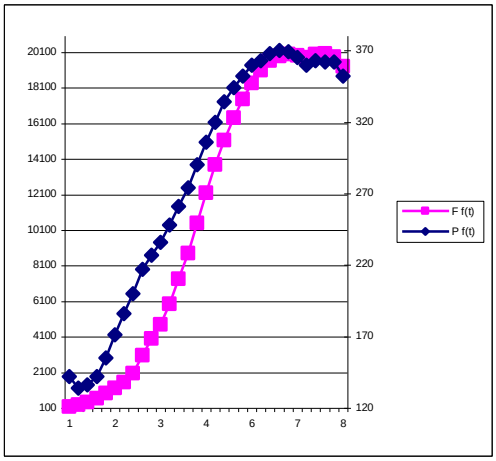
Фиг.9

За извършване на измерванията и обработката на измерените стойности е създаден подходящ софтуер. Програмите са написани на DELPHI. На фиг. 10. е показан екрана за управление на измерванията.

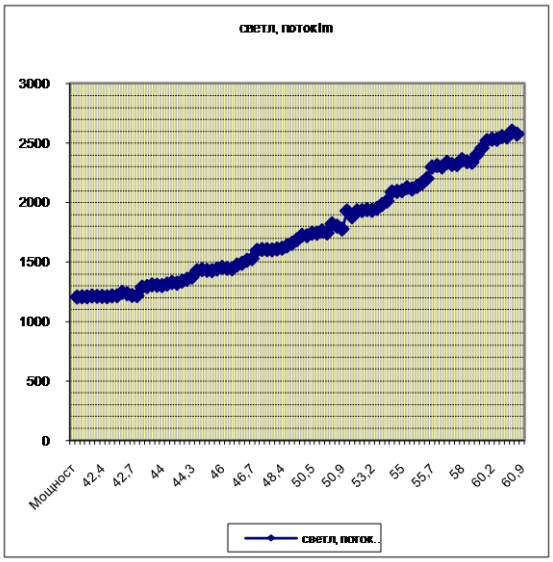


Фиг.10

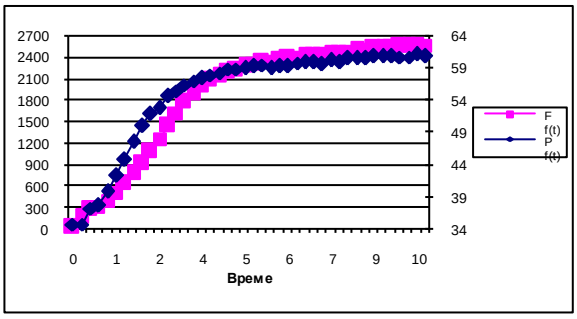
Стойностите на напрежението – U, тока – I, активната мощност – P и светлинния поток - Ф се отчитат през 15 секунди. На фиг. 11 – 14 са показани резултатите от измерванията, осъществени с горната постановка.



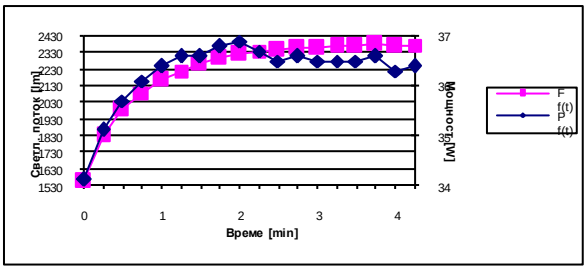
Фиг.11. Промяна на светлинния поток и мощността на живачна лампа 400W след включване на лампата



Фиг.12. Характеристика на димиране на НЛВН 70W



Фиг.13. Промяна на светлинния поток и мощността на НЛВН 70W след включване на лампата



Фиг.14. Промяна на светлинния поток и мощността на компактна луминисцентна лампа 35W след включване на лампата

Изводи

1. С помощта на големия брой сензори беше отчетено отклонение на осветеноста на отделните сензори до 20% от средната стойност при използване на източник на светлина с насочено излъчване. При стандартната схема на измерване това би могло да доведе до грешка от 20%.С използването на голям брой сензори тази грешка се минимизира.

2. Използването на натриеви лампи с малка мощност (50 и 70W) в режим на димиране не е целесъобразно. От фиг. 12. се установява, че за да се намали светлинния поток на 50% от номиналния, трябва да се подаде 73% от номиналната мощност.

Литература

[1] Велинов К, Модернизация на гониофотометър с голям брой цифрови фотосензори, Научна сесия на МГУ “Св. Иван Рилски”, 19-20.10.2011. Годишник на МГУ “Св. Иван Рилски”, 2011 г.

[2] БДС EN 13032-1,2:2005, Светлина и осветление. Измерване и представяне на фотометрични данни на лампи и осветители.

[3] Texas Advanced Optoelectronic Solutions Inc., TSL2561, LIGHT-TO-DIGITAL CONVERTER

[4] Велинов К, Измерване на цветни координати и цветна температура с RGB сензор, III научна конференция ЕФ 2011

[5] Hameg HM8115-2, Programmable AC Power Meter, http://www.testequipmentdepot.com/hameg/powersupplies/hm81152.htm

МЕТРОЛОГИЧНИ ИЗИСКВАНИЯ КЪМ СИСТЕМИТЕ ЗА МОНИТОРИНГ И ДИАГНОСТИКА НА СИЛОВИ ТРАНСФОРМАТОРИ

Евтим Кърцелин [1], Александър Владимиров [1], Георги Велев [2], Ангел Зъбчев [1]

[1] Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, e-mail: snd242@abv.bg
[2] ТУ Габрово

РЕЗЮМЕ. Изследвано е влиянието на точността на първичните датчици за измерване на тока и напрежението на относителната грешка за определяне на импеданса на късо съединение на силов трансформатор в експлоатация.

METROLOGICAL REQIREMENTS TO MONITORING AND DIAGNOCTIC SYSTEMS ON POWER TRANSFORMERS

Evtim Kartselin [1], Aleksandar Vladimirov [1], Georgi Velev [2], Angel Zabchev [1]

[1] University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail: snd242@abv.bg
[2] TU Gabrovo

ABSTRACT. A study has been done on the impact of the accuracy of the primary sensors measuring current and voltage on the relative error while determining short circuit impedance of power transformer in service.

1. Въведение

Способността на трансформаторите да издържат режими на къси съединения се явява тяхна основна характеристика. Затова международни стандарти на организациите IEC,IEEE, както и други международни стандарти определят, че силовият трансформатор трябва да бъде устойчив на къси съединения, също така и как да бъде проверена устойчивостта им.

Въпреки това има достатъчно много доказателства, че проблемът не е толкова елементарен, както се описва в стандартите. Повредите причинени от внезапни къси съединения са все още основна причина за многобройни извънпланови извеждания на трансформатори от експлоатация.

Развитието на световната икономика непрекъснато повишава нуждите от електрическа енергия, това води до инсталиране на нови генераторни мощности и непрекъснато увеличава мощността на късо съединение на системите за електроснабдяване. Увеличаващата се мощност на късо съединение води до утежняване на работата на инсталираното електрооборудване в режим на късо съединение, поради факта, че то е изчислено да работи при по-ниски нива на токове на късо съединение.

Основен параметър на силовия трансформатор се явява импедансът на късо съединение Z_k. Непрекъснатото му наблюдаване, измерване и оценка може да покаже наличието на деформации в намотките на трансформатора получени в следствие на електро-динамичното действие на токовете на късо съединение.

В доклада са разгледани някой въпроси, свързани с определяне на метрологичните изисквания към системите за автоматизиран мониторинг на силови трансформатори в експлоатация, (САМСТ).

2. Метрологични характеристики на средствата за измерване

Средствата за измерване (СИ) са технически средства, които са:

- Предназначени за измерване;
- Имат нормирани метрологични характеристики;
- Възпроизвеждат и съхраняват единицата на физичната величина, размера на която се приема за неизменна (в границите на приетата точност) в границите на определен интервал от време.

Под метрологични характеристики се разбира (МХ) такива характеристики на СИ, които позволяват да се прави оценка за тяхната приложимост за измерване в известен обхват и с известна точност. За разлика от СИ приборите или веществата, които нямат нормирани МХ, се наричат индикатори. СИ – това е техническата основа на метрологичното осигуряване.

Измервателни преобразуватели – това са СИ, предназначени за формирането (генерирането) на сигнал за измерваната информация във форма, удобна за предаване (пренасяне), по-нататъшно преобразуване, обработка и съхраняване, но не е достатъчна за непосредствено възприемане от наблюдателя. Това са например токови и напрежителни измервателни трансформатори, термодвойки, шунтове, преобразуватели на налягане. Не трябва да се отъждествяват измервателните преобразуватели (датчици на първична информация) с преобразувателните елементи.

Измервателен прибор – това е система за измерване, предназначена за преработка на сигнала на измервателна информация в друга, достъпна за непосредствена оценка от наблюдателя.

Измерителна система – това е комплекс от системи за измерване (СИ) и спомагателни устройства с компоненти за свръзка (проводници, телевизионни и др.), предназначени за формирането на сигнал за измерваната информация във форма, удобна за автоматична обработка предаване и използване в автоматични системи за управление.

Измервателната система е предназначена само за събиране и съхраняване на информация.

2.1. Изчисляване на грешката на измервателна система

Измервателната система по определение е предназначена за възприемане, преработка и съхраняване на измервателната информация в най-общият случай на разнородни физични величини по различни измервателни канали (ИК). Ето защо изчисляването на грешката на измервателната система се свежда до оценка на грешките на нейните отделни ИК.

Резултантната относителна грешка на ИК се определя с израза

$$\delta_{ИК}(x) = \pm\left(\delta_K + \delta_H\left(\left|\frac{x_г}{x}\right| - 1\right)\right), \quad (1)$$

където

x – текуща стойност на измерваната величина;

$x_г$ – горна граница на даден обхват на измерване на канала, при който относителната грешка е минимална;

$\delta_н$ и $\delta_к$ – относителни грешки, изчислени съответно в началото и края на обхвата.

Тъй като ИК е верига от различни възприемащи, преобразуващи и регистриращи звена, то за определянето на $\delta_{ИК}(x)$ е необходимо преди всичко да се оцени средноквадратичното отклонение на грешката на тези m звена σ_i. Резултантното СКО на грешката на ИК ще бъде

$$\sigma_{ИК} = \sqrt{\sum_{i=1}^{m}\sigma_i^2 + \sum_{i=1}^{m}\sigma_{iдоп}^2}, \quad (2)$$

където

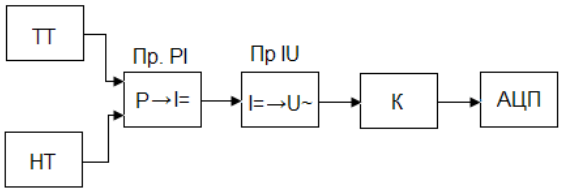
$\sigma_{доп}$ – допълнителните грешки от n влияещи фактори;

$\sigma_i = \frac{\delta_i}{k_i}$;

δ_i – допустима граница на основната грешка;

k_i – квантилен коефициент, който се определя от закона за разпределение на доверителната вероятност за определяне на грешката в зададен интервал.

На фиг.1 е представена структурната схема на канал за измерване на мощност.



Фиг.1 Структурната схема на канал за измерване на мощност.

На фиг. 1 са приети следните означения

ТТ и НТ – съответно токов и напрежителен трансформатор;

ПР. PI, ПР. IU – преобразуватели съответно на мощност и ток;

К – комутатор;

АЦП – аналогово-цифров преобразувател.

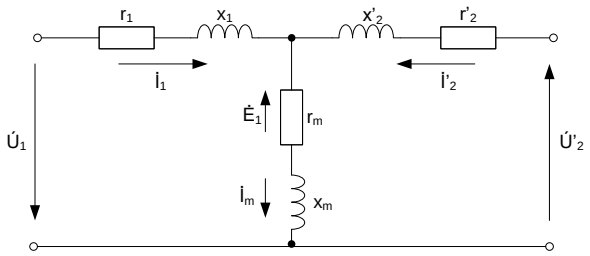
СКО на грешката при преобразуване на мощността се състои от пет съставящи

- Основна грешка - 1%;
- Грешка от пулсациите - 0,2%;
- Допълнителна грешка от измерване на $cos\varphi$ - 0,15%;
- Грешка в следствие колебанията на захранващото напрежение – 0,1%;
- Грешка в следствие колебанията на температурата на обкръжаващата среда – 0,6%;
- Грешката на комутатор със 128 канала има три съставящи;
  - грешка от спада на напрежението на отворен ключ – 0,4%;
  - грешка от утечката на ток във всеки от 127 затворени ключове на каналите – 0,13%;
  - грешка от пулсациите на носещата честота – 0,06%;
- $\delta_{КАЦП}$=0,3%.

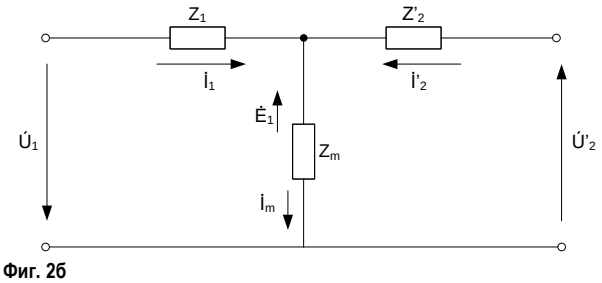
По формула 2 се изчислява $СКО \approx 1{,}31\%$.

3. Заместваща схема на силов трансформатор

Обектът на измерване – силов трансформатор, се представя най-често с неговата заместваща схема. От тази заместваща схема се изчислява импеданса на обекта за различни режими на работа по измерени параметри. На фиг. 2а е представена заместващата схема на двунамотъчен трансформатор с отчитане на магнитните загуби.



Фиг. 2а



Фиг. 2б

На фиг. 2а са приети следните означения

- $\dot{U}_1$, $\dot{I}_1$ – първични стойности на напрежението и тока;
- $\dot{U}'_2$, $\dot{I}'_2$ – приведени стойности на вторичните напрежение и ток на трансформатора;
- $\dot{U}'_2 = k\dot{U}_2$; $\dot{I}'_2 = \frac{\dot{I}_2}{k}$;

където k – коефициент на привеждане или коефициент на трансформация.

- r'_2, x'_2 – приведени активно и индуктивно съпротивление на вторичната намотка;
  $r'_2 = k^2 . r_2$; $x'_2 = k^2 . x_2$;
- r_2, x_2 – активно и индуктивно съпротивление на реалната вторичната намотка;
- r_m, x_m – активно и индуктивно съпротивление на намагнитващата верига на трансформатора.

Намагнитващият ток I_m на трансформатора се определя с израза

$$\dot{I}_M = \dot{I}_1 + \dot{I}'_2 .$$

Ако се приемат означенията

$Z_1 = r_1 + jx_1$;
$Z'_2 = r'_2 + jx'_2$;
$Z_M = r_M + jx_M$,

то заместващата схема от фиг. 2а се представя с по компактна заместваща схема, показана на фиг. 2б, която представлява по същество пасивен четириполюсник.

Съпротивлението на намагнитващата верига Z_M в тази схема (фиг 2б) отразява явленията във феромагнитната сърцевина на трансформатора.

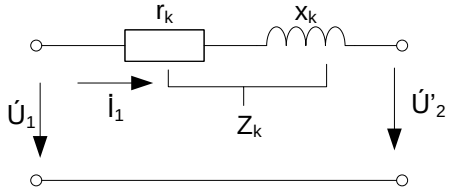
Стойността на Z_M е значително по-голяма от стойността на съпротивленията Z_1 и Z'_2, които включват в себе си активните и индуктивните съпротивления на разсейване на намотките. За силови трансформатори в относителни единици стойностите на Z_{M^*}, Z_{1^*} и Z'_{2^*} се намират в следните граници

$Z_{M^*} = 25 \div 200$; $Z_{1^*} \approx Z'_{2^*} = 0{,}025 \div 0{,}10$.

3.1. Опростена заместваща схема на трансформатор

Тъй като $Z_M >> Z_1 \sim Z_2$, то в много случаи може да се положи, че $Z_M \approx \infty$, което означава прекъсване на намагнитващата верига в заместващата схема на трансформатора, показана на фиг. 2. При $Z_M \approx \infty$, токът I_m=0, т.е. такова допускане е еквивалентно на пренебрегване на намагнитващият ток или на тока на празен ход, което при малката стойност на I_m в много случаи е допустимо. При това условие се получава, че $I_1 = -I'_2 = I$.

При $Z_M \approx \infty$ и I_m=0 заместващата схема на трансформатора приема вида, показан на фиг. 3.



Фиг.3 Опростена заместваща схема на трансформатор

Параметрите на заместващата схема от фиг. 3 се определят с изразите

$$\begin{aligned} Z_k &= Z_1 + Z'_2; \\ r_k &= r_1 + r'_2; \\ x_k &= x_1 + x'_2; \end{aligned} \qquad (3)$$

където Z_k, r_k и x_k се наричат импеданс, активно и индуктивно съпротивление на късо съединение на трансформатор. Съгласно заместващата схема на фиг. 3 трансформаторът е еквивалентен на съпротивлението Z_k. Обикновено за силови трансформатори стойността на Z_k в относителни единици се намира в границите $Z_{k^*} = 0{,}05 \div 0{,}15$.

3.1. Опитно определяне на параметрите на заместващата схема на трансформатора

За трифазен трансформатор при свързване на първичната намотка в звезда, параметрите на късо съединение се определят с изразите

$$Z_k = \frac{U_{k.л.}}{\sqrt{3} I_{k.л.}}; \; r_k = \frac{P_k}{3 I^2_{k.л}}; \; x_k = \sqrt{Z_k^2 - r_k^2}.$$

При свързване на първичната намотка на трансформатора в триъгълник, параметрите на късо съединение се определят с изразите

$$Z_k = \frac{\sqrt{3}.U_{k.л.}}{I_{k.л.}}; \; r_k = \frac{P_k}{I_k^2}; \; x_k = \sqrt{Z_k^2 - r_k^2}.$$

Съгласно заместващата схема на фиг. 2 импеданса на късо съединение се определя с израза

$$Z_k = Z_1 + \frac{Z_M Z'_2}{Z_M + Z'_2} \qquad (4)$$

Тъй като Z_M е многократно по-голямо от Z'_2, т.е. $Z_M >> Z'_2$, то в знаменателя на израза (4) е възможно да се пренебрегне Z'_2. Ето защо за Z_k се записват изразите (3).

Зависимостите (3) съответстват на заместващата схема на фиг. 3 при накъсо свързани вторични изводи (U'_2=0).

Напрежението $U_k = U_{k.H}$, при което токът на късо съединение е равен на номиналния, се нарича напрежение на късо съединение и се означава с U_k.

Стойността на напрежението на късо съединение U_k в относителни единици е равна на импеданса на късо съединение, т.е.,

$$U_{k^*} = \frac{U_{k.H}}{U_k} = \frac{Z_k I_H}{U_H} = \frac{Z_k}{\frac{U_H}{I_H}} = \frac{Z_k}{Z_H} = Z_{k^*}$$

Стойността на U_k на трансформатора се дава в проценти, т.е.

$$U_k\% = \frac{U_{kH}}{U_H}.100 = 100.U_{k*} = 100.Z_{k*}.$$

Ако късото съединение възникне при номинално захранващо напрежение, то

$$I_k = \frac{U_H}{Z_k}$$

или в относителни единици

$$I_{k*} = \frac{1}{Z_{k*}} = \frac{100}{U_k\%}.$$

Ако например, U_k%=10%, то $I_k=10.I_H$.

Диагностичен признак за наличие на деформации в намотките на силов трансформатор.

За разработването, производството и внедряването на системи за автоматизиран мониторинг на силови трансформатори в експлоатация е необходимо решаването на следните основни задачи:

- Определяне на минимално необходимия брой диагностични параметри, които трябва да се измерват и границите на тяхното изменение в зависимост от изменението на техническото състояние на трансформатора.
- Разработване на необходимте датчици за измерване на минимално необходимия брой диагностични параметри.
- Определяне на метрологичните изисквания към елементите на каналите за измерване.
- Избор на решение за техническите средства за измерване (датчици, средства за преобразуватели, предаване, събиране и обработка на информацията).
- Определяне надежността на автоматизираната система за мониторинг на силови трансформатори.

При разработването на САМСТ една от най-трудните задачи за решаване е свързана с определяне на необходимите диагностични параметри, по измерените стойности на които е възможно с достатъчна мощност да се определи текущото състояние и прогнозира остатъчния ресурс на трансформатор в експлоатация.

Един от най- познатите и използвани параметри на силовите трансформатори е импеданса на късо съединение Z_k . Редица изследвания показват и доказват, че импеданса на късо съединение Z_k на силови трансформатори е възможно да се използва, като диагностичен показател за определяне техническото му състояние.

Действието на електродинамичните сили, които възникват в тоководещите части на трансформатора при късо съединение (К.С.) в редица случай е съпроводено с възникването на определени измествания и деформации на отделни проводници, в бобинните намотки, а също така и в самите бобини или токопроводи, намаляване на усилията на осево пресоване на намотките и др. което в крайна сметка води до възникването на аварии в трансформатора.

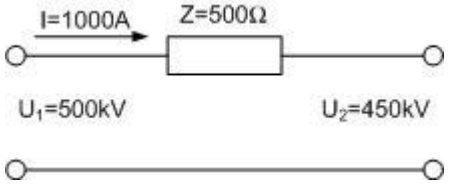
Простата зависимост на импеданса на късо съединение Z_k на трансфораматора от вътрешния обем на намотките, които участват при опита на късо съединение позволява да се установи достатъчно точна връзка и зависимост между обема на механичните повреди с големината на изменението на импеданса ΔZ_k . Значителна част от осевите деформации и изместване на намотките е възможно също така да се открият по изменението на Z_k (U_k). Стойността на ΔZ_k зависи от конструкцията на намотките, от съотношението на геометричните размери на намотките, от технологията на изработване на намотките. На основата на резултатите от проведени изпитания на различни по мощност и конструкция силови трансформатори са определени допустимите норми за изменение на Z_k . Стойността на допустимото отклонение Z_k се определя в границите ΔZ_k = 1,5-3%

4. Анализ на точността на информационен измервателен сигнал

Към опасните дефекти в силовите трансформатори се отнасят осевото изместване на отделните бобини и радиалните им деформации. Над 80% от възникналите повреди в мощни силови трансформатори при къси съединения са свързани с загубата на радиална устойчивост на намотките. Основен параметър, които характеризира деформацията на намотките, се явява стойността на импеданса на късо съединение на трансформатора, Z_k. По изменението на Z_k е възможно да се определи степента на деформация на намотките. Периодичното измерване, в режим “on-line”, позволява своевременно да се открият възникнали повреди в трансформатора и да се предприемат мерки за неговото извеждане от експлоатация и провеждане на ремонт.

За да се използват измененията на импеданса на късото съединение Z_k като информационен (диагностичен) показател за техническото състояние на намотките на силов трансформатор (възникване на деформации и изменения в конструкцията) е необходимо да се определи с каква точност трябва да се измерва стойността на импеданса Z_k. За да се отговори на този въпрос, се разглежда един пример със следните изходни данни: даден е силов трансформатор със следните паспортни (изходни) данни

- Напрежение на късо съединение $U_k = 10\%$
- Използва се заместващата схема на фиг.3., с нанесени параметри (фиг.4)



Фиг.4 Опростена заместваща схема на силов трансформатор с нанесени изходни данни.

- Параметри на измервателните трансформатори:

Напреженов трансформатор НТ с $U_H = 500000V$ и клас на точност – 0,5

Токов трансформатор ТТ с $U_H = 1000A$ и клас на точност – 0,2

Изчисляването на импеданса на намотките, за трансформатор с номинално напрежение 500 kV, по измерените стойности на тока и напрежението, се извършва с израза

$$Z = \frac{U_1 - U_2}{I_1} = \frac{500000 - 450000}{1000} = 50\,\Omega$$

Средната стойност на съпротивлението се определя по израза

$$\langle Z \rangle = \frac{\langle U_1 \rangle - \langle U_2 \rangle}{\langle I_1 \rangle}.$$

Изчисляване на ширината доверителния интервал на измервателните трансформатори

- за НТ: $\Delta U = U_H \frac{кл.т.}{100} = 500000\ \frac{0,5}{100} = 2500\ \text{V}$;

- за ТТ: $\Delta I = I_H \frac{кл.т.}{100} = 1000\ \frac{0,2}{100} = 2\ \text{A}$,

където *кл.т* – клас на точност; $I_н$, $U_н$ – номинални ток и напрежение; *ΔU, ΔI* – широчини на доверителния интервал.

Определяне на точността на преките измервания тока и напрежението:

U_1=(500000±2500) V; U_2=(450000±2500) V; I_1=(1000±2) A.

Определяне на частните производни и на техните стойности при средни стойности на аргументите

$$\frac{\partial Z}{\partial U_1} = \frac{I}{I_1} = \frac{1}{1000} = 10^{-3};$$

$$\frac{\partial Z}{\partial U_2} = -\frac{I}{I_1} = -\frac{1}{1000} = -10^{-3};$$

$$\frac{\partial Z}{\partial I_1} = -(U_1 - U_2)\frac{1}{I_1^2} = -\frac{50000}{1000^2} = -0,05.$$

Определяне на съставящите на грешката от всеки аргумент

$$\Delta Z_{U1} = \Delta_U . \frac{\partial Z}{\partial U_1} = 2500.10^{-3} = 2,5;$$

$$\Delta Z_{U2} = \Delta_U . \frac{\partial Z}{\partial U_2} = -2500.10^{-3} = -2,5;$$

$$\Delta Z_{I1} = \Delta_I . \frac{\partial Z}{\partial I_1} = -2.0,05 = -0,1.$$

Определяне на абсолютната грешка при изчисляване на импеданса Z_k, по измерените стойности на напрежението и тока

$$\Delta Z = \sqrt{(\Delta Z_{U1})^2 + (\Delta Z_{U2})^2 + (\Delta Z_{I1})^2} =$$

$$= \sqrt{2,5^2 + (-2,5)^2 + (-0,1)^2} = 3,537.$$

Определяне на относителната грешка при изчисляването на импеданса Z_k по измерението стойности на напрежението и тока

$$\frac{\Delta Z}{Z} = \frac{3,537}{50}.100\,\% = 7,074\,\%.$$

Извършва се проверка за вътрешните загуби в трансформатора в режим „on-line" по мощността на трансформатора.

Определяне на мощността на трансформатора

$S=U_1I_1-U_2I_2=(U_1-U_2)I_1$=50000.1000=50000 kVA.

Определяне на средната мощност на трансформатора:

$$\langle S \rangle = \big(\langle U_1 \rangle - \langle U_2 \rangle\big)\langle I_1 \rangle.$$

Определяне на частните производни и на техните стойности при средна стойност на аргументите:

$$\frac{\partial S}{\partial U_1} = I_2 = 1000;$$

$$\frac{\partial S}{\partial U_2} = -I_2 = -1000;$$

$$\frac{\partial S}{\partial I_1} = -(U_1 - U_2) = -50000.$$

Определяне на съставящите на грешките от всеки аргумент

$$\Delta S_{U1} = \Delta_U . \frac{\partial S}{\partial U_1} = 2500.1000 = 2,5.10^6;$$

$$\Delta S_{U2} = \Delta_U . \frac{\partial S}{\partial U_2} = -2500.1000 = -2,5.10^6;$$

$$\Delta S_{I1} = \Delta_I . \frac{\partial S}{\partial I_1} = 2.(-50000) = -10^5.$$

Определяне на абсолютната грешка

$$\Delta S = \sqrt{(\Delta S_{U1})^2 + (\Delta S_{U2})^2 + (\Delta S_{I1})^2} =$$

$$= \sqrt{(2,5.10^6)^2 + (-2,5.10^6)^2 + (-10^5)^2} \approx 3,537.10^6$$

Определяне на относителната грешка при изчисляване на вътрешните загуби в трансформатора

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{3,537}{50}.100\,\% = 7,074\,\%.$$

5. Заключение

1. Относителната грешка при определяне на стойността на импеданса Z_k по измерените стойности на напрежението и тока е 7,074%.

Относителната грешка при определяне на мощността на вътрешните загуби е също 7,074%.

Получените стойности на грешките са изчислени с отчитане класа на точност само на първичните преобразуватели с клас на точност за НТ - 0,5 и за ТТ – 0,2. Ако се отчете и грешката на измервателните прибори, и ако се направи опит да се отчете и влиянието на намагнитващите токове, то грешката на измерване ще бъде още по-голяма.

2. За определяне на деформацията на намотките за целите на диагностиката е необходимо да се знае изменението на Z_k дори с 1%, тъй като е важно да се определи и установи именно възникването на началните (първите) деформации на намотките, за да може своевременно да се предотврати аварийното излизане на трансформатора с разрушения, които значително повишават стойността на ремонта от една страна и от друга страна затрудняват определянето на причините за аварии.

Получаването на стойности за $\Delta Z_k \geq 3\%$ са информация и за наличието в намотките на трансформатора на недопустими деформации.

3. В съответствие със заводските протоколи за изпитване на нагряване, вътрешните загуби на трансформатора (сумата от загубите на празен ход и загубите при късо съединение) се намират в следните граници

- за трансформатори с мощност S=50÷100 MVA $\Delta S\% = (0,4 \div 0,5).S_H$;
- за трансформатори с мощност S=100÷300 MVA $\Delta S\% = (0,3 \div 0,4).S_H$;
- за трансформатори с мощност S=300÷500 MVA $\Delta S\% = (0,2 \div 0,3).S_H$;
- за трансформатори с мощност S>500 MVA $\Delta S\% = (0,1 \div 0,2).S_H$;

4. От получените резултати следва, че класът на точност на измервателните трансформатори (НТ-0,5 и ТТ-0,2S) е недостатъчен за реализирането на методика за определяне на вътрешните загуби в трансформатора в режим „on-line".

6. Литература

[1]. Сегреев А.Г. Метрология. Стандартизация. Сертификация. Москва, Логос, 2005

[2]. Вольдек А.И. Электрические машины, Ленинград, Энергия, 1974.

[3] Наредба №3 за устройството на електрическите уредби и електропроводните линии (Обн. в ДВ бр. 90 и 91 от 2004 г.)

[4] Василев А. Системи за непрекъснат контрол на силовите трансформатори, *Енергетика, 2010, №3*

[5] Вопросы трансформаторостроения на 43-и сесии СИГРЭ (22-27. Август 2010 г., г. Париж), *Електричество, 2011, №1*

[6] IEC 60422 ed3.0, Mineral insulating oils in electrical equipment - Supervision and maintenance guidance, 2005

[7] ГОСТ 14209-97 Руководство по нагрузке силовых масленных трансформаторов, 2002

[8] Sergio Bertagnolli, The ABB approach to short-circuit duty of power transformers, Third revised edition, ABB Management Services Ltd Transfromers, Zurich, 2007

ГОДИШНИК на Минно-геоложкия университет "Св. Иван Рилски", Том 55, Св.III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, 2012
ANNUAL of the University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Vol. 55, Part III, Mechanization, electrification and automation in mines, 2012

ВЕРИФИКАЦИЯ НА ДВУСЛОЙНИ МОДЕЛИ НА ПОЧВАТА ПРИ ПРОЕКТИРАНЕ НА ЗАЗЕМИТЕЛНИ УРЕДБИ С ПОМОЩТА НА МЕТОДА НА КРАЙНИТЕ ЕЛЕМЕНТИ

Георги Велев [1]

[1] *Технически университет – Габрово, 5300 Габрово, g_velev@tugab.bg; g.velev@gmail.com*

РЕЗЮМЕ. В докладът е извършено изследване на достоверността на три двуслойни почвени модела, съставени чрез графоаналитичния метод на Sundey и два независими програмни продукта. Верификацията е осъществена чрез симулации на единични заземители чрез метода на крайните елементи, използвайки програмния продукт ANSYS и сравнявайки резултатите, получени за съпротивлението на заземяване с данни от физически измервания за заземители със същите размери. Направени са заключения относно целесъобразността от използването на двуслойни почвени модели при проектирането на заземителни уредби с конвенционални заземители и такива, положени в слой електропроводящ материал.

VERIFICATION OF TWO LAYER SOIL MODELS IN THE DESIGN OF GROUNDING INSTALLATIONS BY MEANS OF FEM

Georgi Velev [1]

[1] *Technical University of Gabrovo, 5300 Gabrovo, g_velev@tugab.bg; g.velev@gmail.com*

ABSTRACT. The paper presented inhere describes investigations which verifies the reliability of three two-layer soil models, obtained using the Sunde's grapho-analytical method and two other software products. The verification is performed via FEM simulations of single grounding electrodes using ANSYS, and comparing the computed results for the resistance to ground with data obtained by physical measurements regarding grounding electrodes with the same dimensions. Conclusions are made regarding the advisability in utilization of two-layer soil models in the design of conventional grounding installations and grounding installations involving electrodes encased in resistance enhancing materials.

Въведение

Приложението на двуслойни почвени модели при проектирането на заземителните уредби е често срещана практика в развитите страни. Причина затова е, че еквивалентното двуслойно почвено моделиране характеризира в много-по-пълна степен слоестата структура на почвата и изменението на специфичното и обемно съпротивление в дълбочина, причинени от нееднородността на почвените пластове, степента на насищане на почвата с влага и соли при различна дълбочина, влияние на атмосферните условия върху повърхностната почва и др.

В следствие на всичко казано, точността при проектирането се увеличава значително в сравнение със случаите при които се приема, че почвата е с константна специфична проводимост. Допълнително се увеличава и надеждността на заземителната уредба, което е изключително важно при отговорни енергийни обекти във връзка с тяхната електрическа и пожарна безопасност(Иванов и Калейчев, 2006; Калейчев и Иванов, 2008);

Параметрите на двуслойния почвен модел за даден терен се получават въз основата на данни от полеви измервания на специфичното обемно съпротивление на почвата, извършени по метода на Венер съгласно изискванията на стандартите (IEEE Std 81-1983 и IEEE Std 80-2000).

Прилагат се графо-аналитични методи или се използват специализирани програмни продукти за определяне на стойностите на специфичното обемно съпротивление ρ_1 и ρ_2 за двата еквивалентни почвени слоя и дебелината на първия от тях $\boldsymbol{h}$. Вторият почвен слой се приема с безкрайна дебелина.

Остава отворен въпросът, в каква степен и точност различните методи и програмни продукти отразяват коректно характеристиките на почвата в дълбочина в зависимост от вида и геометрията на използваните единични заземители в състава на заземителната уредба.

В настоящия доклад, са моделирани единични конвенционални и положени в слой електропроводящ бетон вертикални и хоризонтални заземители в двуслойна почва използвайки методът на крайните елементи(МКЕ) чрез програмния продукт ANSYS.

Получените резултати за съпротивлението на заземяване са сравнени с данни от полеви измервания на съпротивлението на реални физически модели заземители със същите размери и параметри, като тези моделирани в ANSYS.

Направени са заключения относно, приложимостта и точността на получените двуслойни почвени модели при проектирането на заземителни уредби.

Постановка на задача за изследване. Входни данни и параметри

Дефиниране на двуслойните почвени модели за изследвания терен

Във (Велев и Петров, 2011), са получени три различни двуслойни почвени модела за реален изследван терен, където са инсталирани реални физически образци на моделираните в ANSYS заземители:

1) Чрез графо-аналитичния метод на *SUNDE*:
$\rho_1 = 105\ \Omega.\text{m}$; $\rho_2 = 52\ \Omega.\text{m}$; $h = 0,6\ \text{m}$;
2) Чрез програмния продукт *CYME CYMGrd*:
$\rho_1 = 112,19\ \Omega.\text{m}$; $\rho_2 = 46,38\ \Omega.\text{m}$; $h = 0,5\ \text{m}$;
3) Чрез програмата *RHO32;*
$\rho_1 = 109,35\ \Omega.\text{m}$ $\rho_2 = 30\ \Omega.\text{m}$ $h = 0,53\ \text{m}$;
4) Модел с еднородна почва: $\rho_{II} = 52,6\ \Omega.\text{m}$.

Моделиране в ANSYS на двуслойната структура на почвата и инсталираните единични заземители в нея

Картината на разпределение на електрическото поле в почвата при протичане на ел. ток през конвенционален метален заземител или електрод, положен в слой електропроводящ материал при двуслоен модел на почвата може лесно да се моделира чрез МКЕ. И докато при еднородна почва разпределението на потенциала в почвата може да се определи емпирично (Стефанов, Христова и Атанасов, 2009), то при двуслоен модел на почвата численото моделиране се явява по-добър и по-точен за приложение подход (Velev et al, 2011).

Съпротивлението на заземяване се определя чрез напрежението на електрода *U* и мощността, разсеяна в почвата *P*:

$$R = \frac{U^2}{P} \qquad (1)$$

Разсеяната мощност в почвата се дефинира чрез следното интегрално уравнение:

$$P = \int_V E \cdot J dV = \int_V \sigma \cdot E^2 dV = \int_V \frac{E^2}{\rho_S} dV\ , \qquad (2)$$

където: J - плътност на тока (A/m²);
ρ_S - специфично съпротивление на почвата(Ω.m);
σ - специфична проводимост на почвата (S/m);

Използвайки аналогията за чисто електрическо поле и нейната имплементация в ANSYS е много лесно отчитането на характеристиките на почвата, нейната слоеста структура, а също така и специфичното обемно съпротивление на електропроводящия бетон, в който ще се полагат заземителите. По този начин могат да се моделират и изследват цели заземителни уредби с произволна геометрия и размери при еднородна почва или при предефиниран двуслоен модел на почвата. За нуждите на симулациите са направени следните допускания:

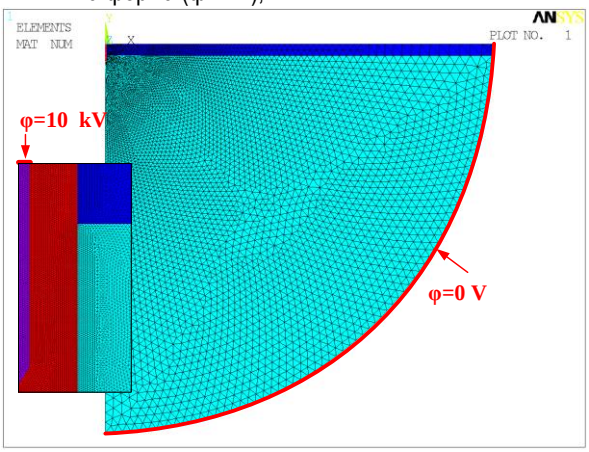
- Всички метални части на заземителната уредба имат един и същи потенциал. Обикновено приложеното напрежение се прилага, като гранично условие и неговата стойност се избира произволно, като това не влияе върху точността;
- Почвата, заобикаляща моделирания заземител се приема за полусфера с радиус с радиус 20 m. (Когато през почвата протича електрически ток, потенциала на повърхността на земята около заземителя се изменя по хиперболичен закон. Повърхностният потенциал има по-големи стойности в близост до електрода и намалява с увеличаване на разстоянието от него. При безкрайно разстояние, повърхностният потенциал става $\varphi = 0$ V. Практически това става при разстояние от мястото на протичане на ел. ток в земята не повече от 15 - 20 m);
- Двата еквивалентни почвени слоя се приемат със еднородна и изотропна структура и стойности на специфичното обемно съпротивление съгласно предефинираните двуслойни почвени модели;
- Електрическото поле, създадено при протичането на ел. ток през електрода в почвата се представя в МКЕ чрез електрическия вектор-потенциал φ използвайки уравнението на Пуасон (3) и неговото гранично условие (4):

$$-\nabla(\sigma \cdot \nabla\varphi) = 0 \qquad (3)$$

$$\varphi = 0\ (x \to \infty), \text{ където } \frac{\partial\varphi}{\partial x} = 0\ , \qquad (4)$$

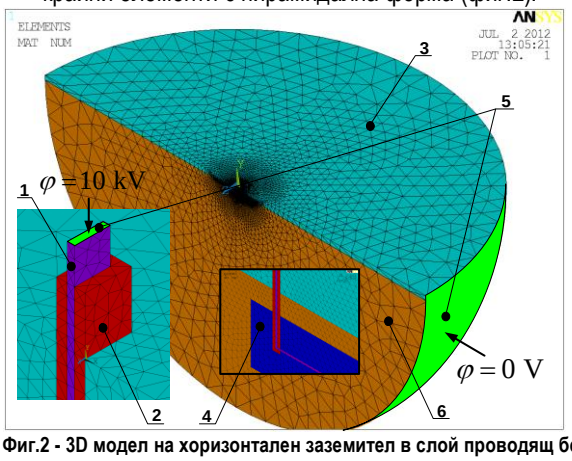
φ - електрически вектор-потенциал (V)

- При вертикалните заземители заради осовата симетрия, е избрано двуизмерно моделиране, като дискретизацията е извършена чрез крайни елементи с триъгълна форма (фиг. 1);



Фиг 1: Вертикален заземител, положен в слой проводящ бетон, моделиран в ANSYS – дискретизация и зададени гранични условия

- При хоризонталните заземители, FEM моделът е триизмерен, поради липсата на осева симетрия. За опростяване на моделът е моделирана само половината геометрия. Относно дискретизацията, тук са избрани крайни елементи с пирамидална форма (фиг.2).



Фиг.2 - 3D модел на хоризонтален заземител в слой проводящ бетон, моделиран чрез ANSYS – дискретизация на геометрията и зададени гранични условия: 1-хоризонтален лентов заземител; 2 - изолация, 3 – I-ви еквивалентен повърхностен почвен слой с дебелина *h* и специфично съпротивление $\rho_1 = 105\ \Omega.\text{m}$, 4 – слой от електропроводящ материал около заземителя, 5 – повърхности, върху които са приложени гранични условия; 6 – II-ри еквивалентен почвен слой с безкрайна дебелина и специф. съпротивление $\rho_2 = 52\ \Omega.\text{m}$

- Съпротивлението на заземяване при вертикалните (5) и хоризонталните(6) заземители се изчислява чрез интегриране в „Postprocessing" модула на ANSYS, след като програмата е изчислила разпределението на

плътността на тока в почвата и през сечението на самия електрод:

$$I = \oint \vec{J}_N \; dP = 2\pi \cdot \int_0^r r \cdot \vec{J}_N \; dr \qquad (5)$$

$$I = 2 \cdot \iint_S \vec{J}_N \; dS \,, \qquad (6)$$

където: $\vec{J}_N$ - нормална компонента на плътността на тока, спрямо повърхността на напречното сечение на електрода, където е приложено напрежение, като гранично условие, A/m²;

P – площ на сечението на вертиклания електрод, m²;

S – Половината от площта на сечението на хоризонталния заземител, m²;

Геометрия и описание на моделираните в ANSYS единични вертикални и хоризонтални заземители

За нуждите на изследването, в ANSYS са моделирани 5 различни конфигурации единични заземители при двуслоен модел на почвата, отговарящи по геометрия и размери на реални физически образци представени подробно във (Велев и Петров, 2009), както следва:

1. Конвенционален вертикален тръбен заземител;
2. Вертикален тръбен заземител, положен в един концентричен слой електропроводящ бетон;
3. Вертикален тръбен заземител, положен в два различни концентрични слоя електропроводящ бетон с различна проводимост;
4. Конвенционален лентов хоризонтален заземител;
5. Лентов хоризонтален заземител в слой електропроводящ бетон с правоъгълно сечение;

Верификация на представените двуслойни почвени модели

Верификацията на представените в доклада двуслойни почвени профили на почвата за конкретен терен е извършена чрез симулации в ANSYS и сравняване на полученото съпротивление на заземяване за 5 различни вида единични заземители с експериментални резултати от физически измервания.

Изчислени стойности на съпротивлението на заземяване при разглежданите двуслойни модели на почвата чрез ANSYS

Резултатите от симулациите в ANSYS при вертикалните заземители за всеки от предефинираните двуслойни почвени модели са систематизирани в табл. 1

Таблица 1

Двуслоен почвен модел	Спец. съпротивление на първи слой	Спец. съпротивление на втори слой	Дебелина на първия почвен слой	Резултати от ANSYS		
				Конвенционален тръбен заземител	Вертикален електрод в един слой проводящ бетон	Вертикален електрод в два различни слоя проводящ бетон
	ρ_1	ρ_2	h	R	R	R
	Ω.m	Ω.m	m	Ω	Ω	Ω
Метод на SUNDE	105	52	0,6	64,16	47,06	44,23
CYME CYMGrd	112,19	46,38	0,5	56,24	42,83	40,02
RHO32	109,35	29,98	0,53	42,08	35,33	32,37

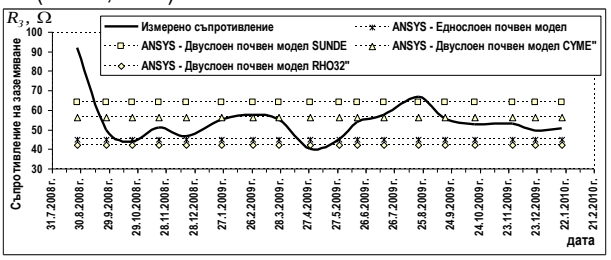
За хоризонталните електроди, резултатите са показани в табл. 2.

Таблица 2

Двуслоен почвен модел	Спец. съпротивление на първи слой	Спец. съпротивление на втори слой	Дебелина на първия почвен слой	Резултати от ANSYS	
				Конвенционален лентов хоризонтален заземител	Хоризонтален лентов заземител в слой проводящ бетон
	ρ_1	ρ_2	h	R	R
	Ω.m	Ω.m	m	Ω	Ω
Метод на SUNDE	105	52	0,6	28,08	22,29
CYME CYMGrd	112,19	46,38	0,5	22,01	19,16
RHO32	109,35	29,98	0,53	15,14	14,49

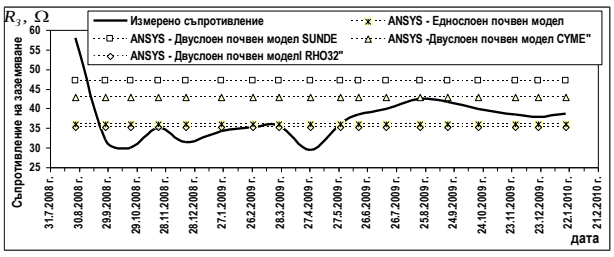
Анализ и графична интерпретация на получените резултати

Получените резултати за съпротивлението на заземяване от симулациите с ANSYS на единични заземители при двуслоен модел на почвата са представени графично заедно с данни от физически измервания на реални заземители със същите размери от предходни изследвания(Велев, 2009):

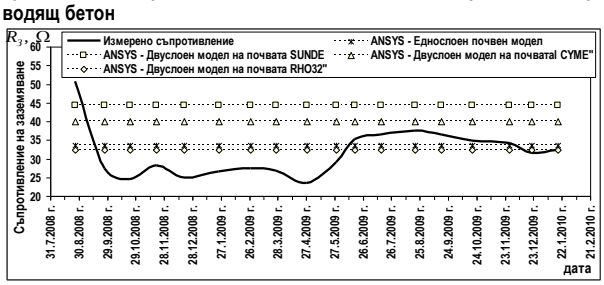


Фиг. 3. Резултати от изследванията за двуслойни почвени модели при единичен конвенционален вертикален заземител

При конвенционални вертикални заземители, използването на еднослойният почвен модел води до сериозни грешки в оразмеряването на ЗУ. Изчисленото съпротивление се явява винаги по-малко от действителното, а това е недопустимо. При двуслойният модел на почвата, получен от програмата RHO32 ситуацията е сходна. Добър подход в случая е използването на двуслойните почвени модели, получени чрез графо-аналитичния метод на SUNDE или посредством програмния продукт CYME CYMGrd.



Фиг. 4. Резултати от изследванията за двуслойни почвени модели при единичен вертикален заземител в един концентричен слой проводящ бетон

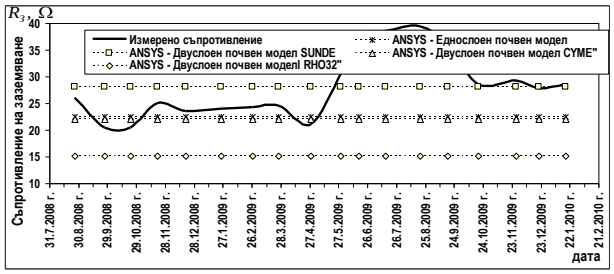


Фиг. 5. Резултати от изследванията за двуслойни почвени модели при единичен вертикален заземител положен в два различни концентрични слоя проводящ бетон

Когато вертикалния електрод е положен в един или два концентрични слоя проводящ бетон, използването на графо-аналитичният метод на SUNDE за създаване на двуслоен профил на почвата ще доведе до преоразмеряване на вертикалните заземители и преразход на метал.

Използването на програмният продукт CYME CYMGrd води също до преоразмеряване, но в рамките на допустимия запас.

Поради хигроскопичната природа на проводящия бетон, в който са положени заземителите, еднослойния почвен модел и двуслойният модел получен от програмата RHO32 също се явяват добър подход за използване при оразмеряването, въпреки че през сухите летни периоди от годината е възможно изчисленото съпротивление да превиши действителното.

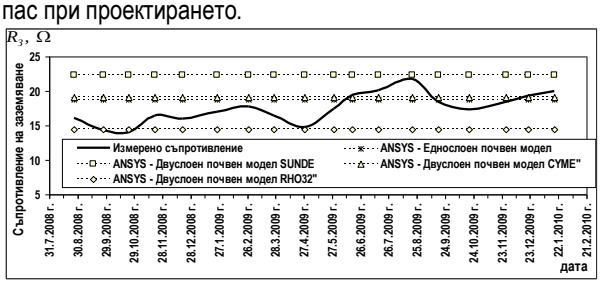


Фиг. 6. Резултати от изследванията за двуслойни почвени модели при единичен лентов хоризонтален заземител

Използването на двуслойният почвен модел получен от програмата RHO23 в този случай е недопустимо.

Еднослойният почвен модел и двуслойният модел получен от програмния продукт CYME CYMGrd дават почти еднакви и сравнително задоволителни резултати.

Най-добра сходимост в случая има двуслойният модел получен чрез метода на SUNDE, осигуряващ известен запас при проектирането.



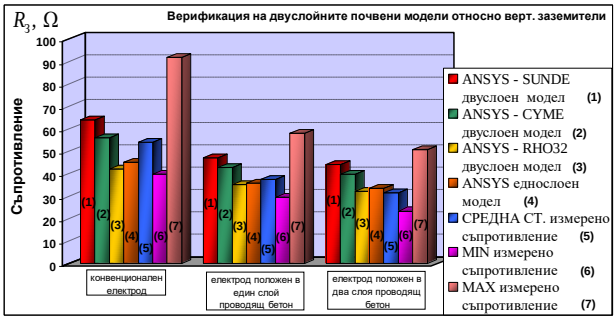
Фиг. 7. Резултати от изследванията за двуслойни почвени модели при единичен лентов хоризонтален заземител, положен в слой проводящ бетон

Когато хоризонталната заземителна шина се положи в проводящ бетон, еднослойното моделиране на почвата и двуслойният почвен модел получен чрез CYME CYMGrd дават отлична сходимост на резултатите със данните от физическите измервания.

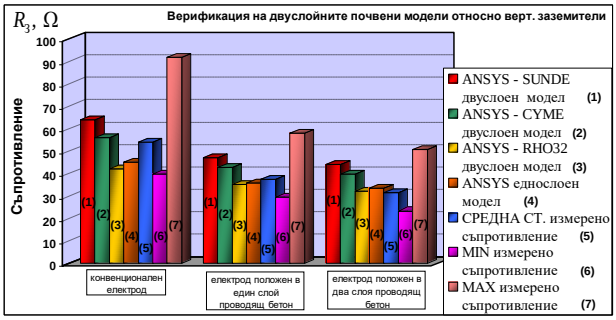
Ползването на двуслойния модел на почвата от продукта RHO32 води до значителни грешки.

Прилагането на метода на SUNDE отново води до преоразмеряване на заземителя.

За по-добра прегледност и обективност при оценка на използваемостта на получените двуслойни почвени модели са построени и диаграмите от фиг. 8 и фиг. 9.



Фиг. 8. Приложение на двуслойни почвени модели за определяне на съпротивлението на вертикални заземители



Фиг. 9. Приложение на двуслойни почвени модели за определяне на съпротивлението на хоризонтални заземители

Изводи

А) Конвенционални заземители

- Използването на почвен модел с еднородна структура при оразмеряването на конвенционални заземителни уредби в много случаи води до грешки при проектирането. През сухите периоди от годината, заземителната уредба ще има по-високо съпротивление на заземяване от изчисленото, поради изсъхването и намаляването на проводимостта на горните пластове почва. Прилагането на корекционен сезонен коефициент, отразяващ влиянието на сезоните в голяма степен води до увеличаването на точността;
- Двуслойните модели на почвата получени чрез графо-аналитичния метод на SUNDE и от специализирани програмни продукти като CYME CYMGrd могат да се използват успешно и с голяма точност при проектирането, тъй като те отразяват в много добра степен слоестата структура на почвата и влиянието на сезоните.
- Програмният продукт RHO32 генерира двуслойни почвени модели чието използване е недопустимо, тъй като във всеки случай изчисленото съпротивление на заземяване ще бъде значително по-малко от действителното.

Б) Заземители положени в проводящ бетон

- Прилагането на еквивалентен еднослоен модел на почвата при проектирането на заземителни уредби със заземители положени в слой проводящ бетон е добър подход. Без значение от вида и геометрията на заземителите, измерените стойности на съпротивлението на заземяване показват отлична сходимост със резултатите получени чрез симулации в ANSYS. Това се обяснява най-вече със хигроскопичната природа на проводящия бетон, който абсорбира и задържа в близост до електрода заобикалящата го влага от почвата и през сухите периоди от годината. В резултат на това колебанието на съпротивлението на заземяване през годината е много по-слабо изразено, в сравнение с конвенционалните заземителни уредби.
- Използването на продукта RHO32 и в този случай е рисково и непрепоръчително;
- Използването на двуслойни почвени модели, като цяло при заземители, положени в слой проводяща среда

при проектирането водят до известно преоразмеряване на заземителната уредба и увеличаване на разхода на метал.

Литература

IEEE Std 81-1983, *IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a ground system*, American National Standards Institute, September 1984

IEEE Std 80-2000, *IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding*, IEEE-SA Standards Board, January 2000

Thapar, B., V. Gerez, *Equivalent resistivity of non-uniform soil for grounding design*, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 10, no. 2, pp. 759-769, Apr. 1995;

Velev, G. Ts., A. Weinläder, S. Tenbohlen, P. K. Petrov, *A new approach for analysis of nonconventional grounding installations by means of FEM,* 17-th International Symposium on High Voltage Engineering ISH 2011, 2011, Hannover, Germany, Book of abstracts / ISH 2011 : August, 22 – 26, 2011, ISBN 978-3-8007-3364-4

Иванов И., П. Калейчев, *Подход за вероятностна оценка на надеждността на електрозахранване на система за пожарна безопасност в АЕЦ.* Доклади Том 2, Енергиен Форум, Варна, 14 – 17 юни, 2006, с. 140 – 145;

Калейчев П., И. Иванов, *Симулация на пожари и пожарен риск в помещения на системите за безопасност в 5 и 6 ЕБ на "АЕЦ Козлодуй" ЕАД,* Списание "Енергетика", брой 6 – 7, септември – октомври 2008, с. 55 – 59

Стефанов, С, Т. Христова, Л. Атанасов, *Относителна плътност на електрическия ток създаден от два разнополярни източника на ток (заземители) във функция от разстоянието между тях и от дълбочината на разпространението на тока в земята*, Годишник на Минно-геоложкия Университет „Св. Иван Рилски" – София, Свитък III: Механизация, електрификация и автоматизация на мините, 2009, ISSN 1312-1820;

Стефанов, С, Т. Христова, Л. Атанасов, *Потенциал на електрическото поле в произволна точка в земята, създаден от разнополярни линейни и линеен и токовиден източници на ток*, Годишник на Минно-геоложкия Университет „Св. Иван Рилски" – София, Свитък III: Механизация, електрификация и автоматизация на мините, 2009, ISSN 1312-1820;

Велев, Г. Ц., - *Физическо моделиране и статистически анализ на експлоатационните параметри на заземители с проводима бетонна обмазка за приложение в минната индустрия* – Годишник на Минно-геоложкия Университет „Св. Иван Рилски" – София, Свитък III: Механизация, електрификация и автоматизация на мините, 2009, ISSN 1312-1820;

Велев, Г. Ц., П. К. Петров, *Експериментално определяне специфичното обемно съпротивление на почвените слоеве в дълбочина чрез използване на еталонен електрод,* Годишник на Минно-геоложкия Университет „Св. Иван Рилски" – София, Свитък III: Механизация, електрификация и автоматизация на мините, 2011, ISSN 1312-1820.

Джустров К., *Контрол на изолационното съпротивление на акумулаторни батерии за рудничи акумулаторни локомотиви*, 2007, София, Годишник на МГУ "Св. Ив. Рилски", том 50, 141-145

ГОДИШНИК на Минно-геоложкия университет "Св. Иван Рилски", Том 55, Св.III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, 2012
ANNUAL of the University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Vol. 55, Part III, Mechanization, electrification and automation in mines, 2012

НЯКОИ АКЦЕНТИ ПРИ ИЗБОРА, МОНТАЖА И ЕКСПЛОАТАЦИЯТА НА ДЕФЕКТНО-ТОКОВИТЕ ЗАЩИТИ. ДЕМОНСТРАЦИОНЕН ФИЗИЧЕСКИ МОДЕЛ ЗА СИМУЛИРАНЕ НА ФУНКЦИОНАЛНОСТТА ИМ

Георги Велев [1]

[1] *Технически университет – Габрово, 5300 Габрово, g_velev@tugab.bg; g.velev@gmail.com*

РЕЗЮМЕ. Дефектнотоковите защити (ДТЗ) навлизат все повече при изграждането и реконструкцията на електрическите инсталации на сградите за ниско напрежение в нашата страна, като едно съвременно и надеждно средство за защита на хората от индиректен, а в някои случаи и от директен допир до тоководещи части под напрежение. Често обаче са случаите, при които ДТЗ не са подбрани и монтирани правилно, в следствие на което те сработват безпричинно или пък е нарушена тяхната чувствителност. Докладът подробно разглежда най-важните особености, които трябва да се взимат под внимание при избора и монтажа на ДТЗ, така че да се гарантира тяхната правилна работа и надеждност. Разработен е и физически модел за симулиране на функционалността на ДТЗ при различните видове електрически мрежи – TN-S, TN-C-S, TT и IT.

SOME ASPECTS IN THE SELECTION, INSTALLATION AND OPERATION OF RCDs. DEMO PHISICAL MODEL FOR SIMULATION OF THEIR FUNCTIONALITY

Georgi Velev [1]

[1] *Technical University of Gabrovo, 5300 Gabrovo, g_velev@tugab.bg; g.velev@gmail.com*

ABSTRACT. Residual current devices (RCD-s) are used more and more in the process of construction and renovation of the low voltage electrical installations of buildings in our country. RCDs are one contemporary and reliable means for human life protection from indirect and in some cases from direct contact to current carrying terminals under voltage. There are often cases when the RCDs are not selected and installed correctly and as a result they trip with no reason or their sensitivity is discriminated. The paper inhere discusses the most important points in the RCDs' selection and installation for guaranteeing their correct work and high reliability. A physical model have been designed for simulation of RCDs' functionality in cases of electrical low voltage installations of a different kind - *TN-S, TN-C-S, TT и IT*.

Въведение

Макар и недостатъчно оценени на този етап, рисковете, които носи електричеството, са два основни:

- поражение на човек при директен или индиректен контакт с тоководещи части под напрежение;
- възникване на пожар поради нарушена изолация.

Поражението на човек от електрически ток може да има фатален изход. При стойност над 30mA опасността от възникване на сериозни травми се счита за много висока. Тогава възникват сериозни дихателни затруднения поради респираторна парализа в човешкото тяло (фиг. 1). 75 mA е прагът на необратима сърдечна фибрилация (Schonek, J., 2006).

Пожар в сграда може да възникне поради различни причини, но е доказано, че голям процент от тях се дължат именно на нарушена изолацията на електрическата инсталация или електроуреди. По принцип, в мястото на повреда протича ток на утечка към земя. При стойност на този ток над 500mA, оголеният проводник и заобикалящата го изолация се загряват и възниква сериозна опасност от възникване на пожар.

И в двата случая не може да се разчита единствено на защита чрез автоматичен прекъсвач или предпазител със стопяема вложка, тъй като стойностите на протичащия електрически ток не могат да предизвикат изключването му, а навременното изолиране на повредения електрически контур може да се гарантира единствено само от дефектнотокова защита, ДТЗ.

Фиг. 1. Време-токови зони на въздействие на променлив електрически ток с честота до 100 Hz, преминал през човешкото тяло. (Зона АС-1- праг на усещане; Зона АС-2 – неконтролируеми контракции на мускулите; Зона АС-3 – дихателни затруднения; Зона АС-4 – сериозни патофизиологични увреждания; Зона АС-4.1 – риск от вентрикуларна фибрилация до 5%; Зона АС-4.2 - риск от вентр. фибрилация до 50%; Зона АС-4.1 – риск от вентр. фибр-я над 50%).

Трябва да се има предвид, че в случай на попадане на човек под напрежение при допиране или хващане на две тоководещи части (фаза и нула или фаза - фаза) дефектнотоковата защита не реагира, тъй като няма протичане на

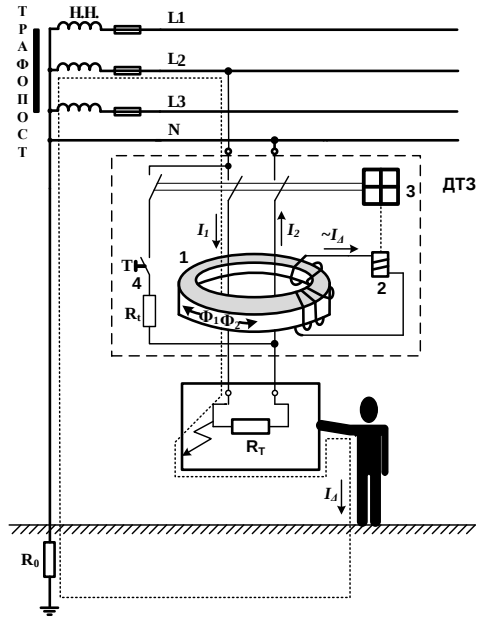
диференциален ток, т.е. ДТЗ намаляват в огромна степен риска от електрозлополуки, но на тях в никакъв случай не трябва да се гледа като на универсално средство за предпазване на човешкия живот от действието на електрическия ток.

На пазара в момента има огромно разнообразие от ДТЗ от водещи производители като Schneider Electric(Merlin Gerin), Shrack, LS и др.

Принцип на работа на ДТЗ

Функционално ДТП може да се сравни с бързодействащ защитен прекъсвач, реагиращ на разликата от токовете в проводниците (ток на утечка през изолацията), пренасящи електроенергията към защитаваната електрическа уредба или консуматор.

Основните функционални блокове на ДТЗ са показани на фиг. 2.



Фиг. 2. Устройство на ДТЗ

Най-важният функционален блок на ДТЗ е ***диференциалния токов трансформатор – 1.*** В повечето ДТП, произвеждани и експлоатирани в днешно време по цял свят, като датчик на диференциален ток се използува именно токов трансформатор.

Пусков орган (прагов елемент) – 2 – изработва се на базата на чувствително електромагнитно реле с пряко действие или електронни компоненти.

Изпълнителен механизъм –3 – включва силова контактна група с механизъм за превключване.

В нормален режим, при отсъствие на диференциален ток (ток на утечка), в силовата верига по проводниците, преминаващи през прозореца на магнитопровода на токовия трансформатор –1, протича работния ток на товара. Проводниците, преминаващи през прозореца на магнитопровода, образуват насрещно включени първични намотки на диференциалния токов трансформатор. Ако се обозначи тока, протичащ по посока на товара като I_1, а от товара - като I_2, то може да се напише равенството:

$$I_1 = I_2 \qquad (1)$$

Равните токове на насрещно включените намотки създават в магнитната сърцевина на токовия трансформатор равни, но векторно противоположни магнитни потоци Φ_1 и Φ_2. Резултантният магнитен поток е равен на нула, тока във вторичната намотка на диференциалния трансформатор също е равен на нула.

Пусковия орган 2 в този случай е в състояние на покой.

При докосване от човек на откритите тоководещи части или на корпуса на електросъоръжението, на което е пробила изолацията, по фазовия проводник през ДТЗ освен тока на товара I_1 протича и допълнителен ток – ток на утечка (I_Δ), който се явява за токовия трансформатор диференциален ток.

Неравенството на токовете в първичната намотка (I_1+I_Δ във фазовия проводник) и (I_2 равен на I_1 – в неутралния проводник) предизвиква неравенство на магнитните потоци и като следствие във вторичната намотка протича диференциален ток. Ако този ток превишава настройката на праговия елемент на пусковия орган 2, последния сработва и въздейства на изпълнителния механизъм 3. Изпълнителният механизъм обикновено се състои от пружинен привод, спусков механизъм и група силови контакти, с които разкъсва електрическата верига. В резултат защитаваната от ДТЗ електрическа верига се изключва от електрическата мрежа.

Нормирани параметри на ДТЗ

- ***U_n***, mA- *номинално напрежение* – стойността на напрежението, при която се гарантира работоспособността на ДТЗ;
- ***I_n***, A - *номинален работен ток* – стойността на тока, която ДТЗ могат да пропускат при продължителен режим на работа;
- ***$I_{\Delta n}$***, mA - *номинален диференциален изключващ ток*– стойността на диференциалния ток, която предизвиква изключване на ДТЗ при определени условия на експлоатация;
- ***I_m***, A – *комутационна способност при включване и изключване* - очаквания ток, при който ДТЗ е в състояние да включи; все още е затворил контактите си през времето на изключване и изключи контактната си система без да се наруши неговата работоспособност;
- ***$I_{\Delta m}$***, A - *комутационна способност при включване и изключване по диференциален ток* - действителната стойност на очаквания диференциален ток, при която ДТЗ е в състояние да включи; все още е затворил контактите си през времето на изключване и изключи при зададените условия на експлоатация без да се наруши неговата работоспособност;
- ***I_{nc}***, kA – *устойчивост при късо съединение* - действителната стойност на очаквания ток на к.с., която може да издържи контактната система на ДТЗ в затворено положение, без нарушаване на нейната работоспособност;
- ***$I_{\Delta c}$***, kA – *устойчивост при късо съединение по диференциален ток* - действителната стойност на очаквания диференциален ток при к.с., която може да издържи контактната система на ДТЗ в затворено положение, без нарушаване на нейната работоспособност;
- ***U_{imp}***, kV – *устойчивост на импулсно напрежение* – допустимото ниво на пренапрежения по амплитудна стойност, която не предизвиква погрешно задействане на ДТЗ;
- ***T_n***, ms – *номинално време за изключване* – времето между момента на внезапното възникване на изключващия диференциален ток и момента на изгасване на дъгата на всички полюси при $I_\Delta = I_{\Delta n}$;

- *Максимален брой работни цикли (комутации)* – минималния брой задействания преди първа повреда. Понякога се дават две стойности – при задействане без и със протичане на изключвателен диференциален ток;
- ***$I_{\Delta n0}$,*** mA - *номинален диференциален ток на неизключване* – стойността на диференциалния ток на утечката, която не предизвиква изключване на ДТЗ при определени условия на експлоатация - $I_{\Delta n0} = 0,5\ I_{\Delta n}$. Ако дефектнотоквата защита заработва при токове на утечката $I_{\Delta} \leq 0,5 I_{\Delta n}$ е нужна нейната подмяна с нова.

Видове ДТЗ

Според броя на фазите на електрическата инсталация и вида на товарите ДТЗ се разделят на 3 вида:

- Двуполюсни ДТЗ(2P) – за защита на еднофазни електрически инсталации и консуматори при трипроводна електрическа инсталация;
- Триполюсни ДТЗ (3P) – за защита на трифазни консуматори свързани в триъгълник или звезда с изолирана неутрала и четири-проводна трифазна електрическа инсталация;
- Четириполюсни ДТЗ (4P) – за защита на трифазни консуматори, свързани в звезда при пет-проводно изпълнение на електрическата инсталация.

В зависимост от формата на аварийния ток на утечката I_{Δ}, който предизвиква заработването на ДТЗ съществуват основно три класа ДТЗ и техните под-видове:

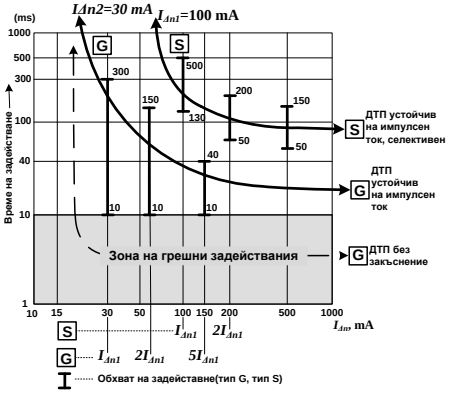
- Клас **AC** – за консуматори с чисто синусоидален ток на утечката при авария, т.е. без наличието на хармоници и постояннотокови и пулсиращи съставки, , електронни устройства захранвани от мрежов трансформатор, електрически съоръжения от клас II със двойна и усилена изолация без наличие на силова електроника. Такива консуматори са електронагревателните уреди и осветителните уредби с нажежаеми лампи без електронно регулиране на мощността и напрежението, портативни ръчни инструменти като дрелки и др.;
- Клас **A** – освен за консуматори със синусоидален ток на утечката, тези ДТЗ работят надеждно и при наличие на хармоници, пулсиращ постоянен ток или такъв със трионообразна форма на тока на утечката, върху който има насложена постояннотокова съставяща със големина до 6 mA с произволна полярност. ДТЗ от клас A се монтират в токови кръгове, които захранват компютърна и офис техника, луминесцентно осветление, електродвигатели с тиристорно регулиране на оборотите, регулатори на мощност и димери за регулиране на светлинния поток на осветителни източници;
- Клас **Ai** – притежават качествата на ДТЗ от клас *A,* но имат повишена устойчивост срещу импулсни токове с амплитуда до 3 kA с форма на импулса 8/20 μs в следствие на атмосферни пренапрежения;
- Клас **A si** – имат абсолютно същите характеристики като ДТЗ от клас A, но се отличават от тях с още по-голяма устойчивост от електромагнитни смущения. На практика при тези ДТЗ няма погрешни изключвания в следствие на атмосферни пренапрежения в електроснабдителната мрежа, развъртане на мощни ел. двигатели и включване на мощни консуматори (работата им се гарантира при пренапрежения с импулсен ток до 5 kA и форма на импулса 8/20 μs).
- Клас **Si**E -ДТЗ предназначени за работа във влажна и замърсена с агресивни вещества работна среда, имащи същите технически характеристики като на клас *A si*. Подходящи са за експлоатация в яхти, кораби, хранително-преработвателната промишленост, водни басейни, болнични заведения и др.;
- Клас ***B*** – притежават качествата на тези от тип *A* но при завишени изисквания: подходящи са при инсталации с променлив ток на утечката с честота до 1000 Hz; токове на утечката в резултат на мощни еднофазни и трифазни изправителни схеми; синусоидален и/или пулсиращ ток със силно изразена постояннотокова съставяща; Такива ДТЗ се предлагат само от отделни производители и се използват предимно в индустрията.

Според бързодействието си ДТЗ се делят на два основни типа:

- ***G***(*General type*) – ДТЗ с общо предназначение. Те могат да бъдат от клас *AC* или *A* и сработват без закъснение; Съгласно EN61008/9 тези ДТЗ имат устойчивост срещу импулсни токове с форма на импулса 8/20 μs и интензивност непревишаваща 250 A в следствие на атмосферни пренапрежения.
- ***S*** *(Selectrive)* – селективни ДТЗ. Произвеждат като изпълнение *AC* и *A*. Имат вградено времезакъснително звено и минимално време на заработване от 40 ms. Прекъсвачите от този тип са за ток на утечка 100, 300 и 500 mA. Те са устойчиви на импулсни токове и пренапрежения като липсват погрешни изключвания поради тази причина. Този тип ДТЗ се използват и за селективно задействане на последователно включени ДТЗ.

ДТЗ от класовете *Ai* и *A si* могат да бъдат със задействане без закъснение (тип *G*) или селективни (тип *S*).

Времето на заработване на ДТЗ зависи от техния тип и от големината на тока на утечката (фиг. 2).



Фиг. 2. Времетокови и защитни характеристики на ДТП

Максималните допустими времена на заработване на ДТЗ според стандарта IEC 61008 са представени в табл. 1.

Според чувствителността си ДТЗ се делят на:

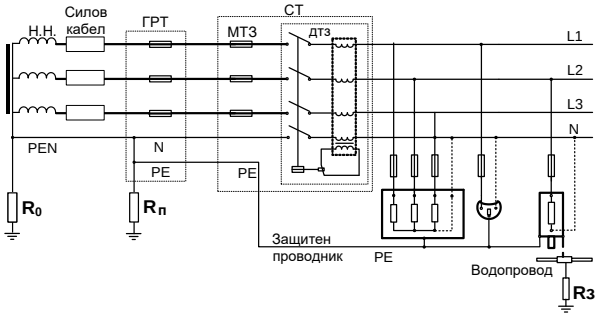
- ***Високочуствителни*** *($I_{\Delta N} = 6 - 10 - 30$ mA)* – използват се за защита от директен и индиректен допир. Основно приложение са намерили ДТЗ с $I_{\Delta N} = 30$ mA
- ***Средночувстителни*** *($I_{\Delta N} = 0,1 - 0,3 - 0,5 - 1$ A)* – използват се за защита от пожар и взрив, а също и при изграждане на селективни ДТЗ на няколко йерархични нива. За защита от пожар най-често се прилагат ДТЗ с $I_{\Delta N} = 300$ mA;
- ***Нискочуствителни*** *($I_{\Delta N} = 3 - 10 - 30$ A).*

Таблица 1

Тип ДТЗ	I_n, A	$I_{\Delta n}$,A	Стандартни стойности на времето за изключване (s) и минимално време на изключване (s) при ток на утечката IΔ (A), равен на:				
			$I_{\Delta n}$	$2I_{\Delta n}$	$5I_{\Delta n}$	5, 10, 20, 50, 100, 200, 500A	
G	всички	всички	0,3	0,15	0,04	0,04	максимално допустимо време на изключване
S	≥25 A	> 0.030	0,5	0,2	0,12	0,12	максимално допустимо време на изключване
			0,13	0,06	0,05	0,04	минимално време на изключване

Акценти при избора, монтажа и експлоатацията на дефектнотоковите защити

В нашата страна всички електроснабдителни мрежи за НН се изграждат по схемата TN-C, където от трафопоста до главното табло на сградите отиват три фазови проводника и един обединен в едно нулев и защитен проводник – PEN, който е многократно заземен според изискванията на наредба №3. При най-старите електрически инсталации на сградите, до крайните консуматори в домакинствата и учрежденията защитния и нулевия проводник остават обединени и ДТЗ, монтирани в ел. табло не могат да се използват. При рехабилитация на съществуващи електрически инсталации или при новоизграждащи се сгради, електрическата инсталация по закон се изпълнява по системата TN-C-S, при което в главното ел. табло на сградата обединеният PEN проводник се заземява повторно и разделя на два отделни проводника – N – проводник, който служи за захранване и PE – проводник, който се използва само и единствено за нуждите на защитното зануляване. При локална рехабилитация на електрическата инсталация е допустимо, разделянето на PEN проводника да се извърши и в локалното електрическо табло на входа на домакинството или учреждението. Принципната схема на приложение на ДТЗ при електрически инсталации тип TN-C-S е илюстрирано на фиг. 3



Фиг. 3. Принципната схема на приложение на ДТЗ при електрически инсталации тип TN-C-S, където: ГРТ – главно разпределително табло; СТ – силово табло; МТЗ – максималнотокова защита;

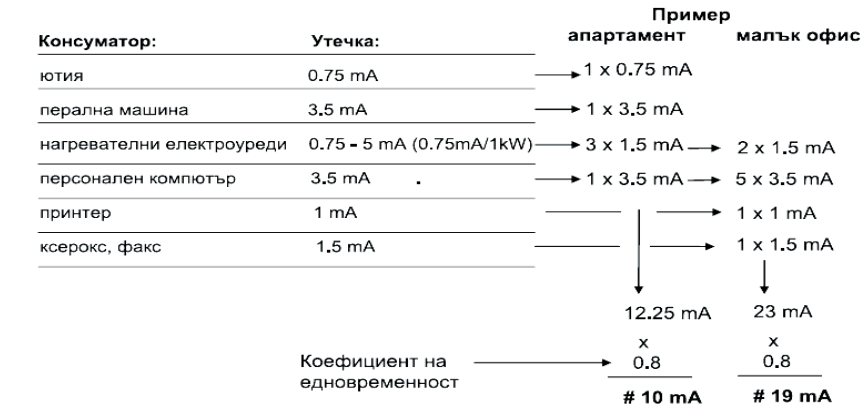
Изисквания при проектирането и монтажа на ДТЗ.

Електрическите инсталации, използващи ДТЗ, трябва да имат отделен защитен проводник (PE), който не трябва да преминава през сумиращия трансформатор на ДТЗ;

- Нулевият проводник на електрическата мрежа трябва да е изолиран от земята след ДТЗ с изолация еквивалентна на изолацията на фазовите проводници;
- Нулевите проводници на всеки токов кръг трябва да бъдат отделни;
- ДТЗ трябва да се монтира в етажните и апартаментните разпределителни табла на подходящо място, далеч от мощни комутационни апарати(Чл.1797 от Наредба No3);
- В разпределителни мрежи тип TN с голям ток на корпусно съединение, ДТЗ трябва да се използват заедно с бързодействащи автоматични прекъсвачи от тип B, L или C, предпазители или да се използват комбинирани устройства, съдържащи автоматичен прекъсвач и ДТЗ в общ корпус, т.н. дефектнотокови автомати;
- При монтиране на ДТЗ последователно трябва да се изпълняват изискванията за селективност. При изпълнение на ДТЗ на две и повече йерархични нива, ДТЗ, разположени до източника на захранване, трябва да имат време и ток на заработване три пъти по-големи в сравнение с тези защити, разположени до консуматорите;
- В зоната на действие на ДТЗ нулевият работен проводник не трябва да има съединения със заземени елементи и защитния проводник;
- Не се допуска използването на ДТЗ в груповите линии, нямащи максималнотокова защита;
- Чл. 1794 от наредба №3 не допуска използването в жилищни сгради на дефектнотокови защити, чиято работа се влияе от захранващото напрежение. В България използваните в жилищни сгради ДТЗ трябва да съответстват на БДС EN 61008-1 / 2-1 или на БДС EN 61009-1 / 2-1 (съответно EN 61008-1 / 2-1 и EN 61009-1 / 2-1). При тези дефектнотокови защити изключването не се влияе от захранващото напрежение;
- В електрическите мрежи, захранващи консуматори с импулсни захранвания (компютри, монитори, телевизори, перални с регулатори на скоростта, видеомагнетофони и други битови електроуреди с двойна изолация), е желателно да се използват ДТЗ тип A;
- В жилищните блокове се препоръчва ДТЗ да се монтират на индивидуалните електрически табла;
- Забранява се присъединяването на потребители към ДТЗ, чието изключване може да доведе до опасни последици, застрашаващи човешки живот - това са противопожарните уредби, асансьорите, животоподдържащи системи в болничните заведения и т.н.;
- Ако ДТЗ е предназначена за защита от въздействието от електрически ток и от възпламеняване, то тя трябва да изключва фазовия и нулевия проводник;
- На въводите в зданията трябва да има система за изравняване на потенциалите чрез обединяване на следните проводящи части: защитния и нулевия проводник, стоманените тръби на комуникациите на зданията и между зданията, металните конструкции на железобетонните основи, металните тръби на централното парно и вентилационните уредби;
- Сумарният ток на утечка на защитавания токов кръг с отчитане на преносните и стационарни потребители не трябва да надвишава 1/3 от номиналния диференциален ток на ДТЗ. Ако няма данни за ток на утечката, според Наредба №3 приблизително може да се приеме, че на 1 А товарен ток отговаря 0.4 mA ток на утечка на потребителите (табл. 2);

Таблица 2

Практическа оценка на перманентни токове на утечка, генерирани от различни консуматори.



- За повишаване на нивото на защита от възпламеняване при повреди в изолацията на съоръжения, когато стойността на тока на утечката е недостатъчна за заработване на максималнотоковата защита на входа на сградата се препоръчва поставянето на дефектнотоковата защита с диференциален ток на заработване 300 m A;
- Препоръчва се в електрически мрежи, захранващи консуматори 0 и I категории, при крайни консуматори без обслужващ персонал и помещения с повишена или особена опасност от поражение от електрически ток да се използват ДТЗ тип G и S, които имат време на закъснение най-малко 10 ms, и не задействат при пренапрежения;

Най-често срещани причини за грешни задействания при ДТЗ

При инсталиране и експлоатация на ДТЗ могат да се получат погрешни заработвания на защитата. Това се дължи преди всичко на грешки в свързването на електрическата инсталация или неправилен избор на ДТЗ и по рядко в повреден защитен прекъсвач. Основните причини за погрешно заработване или лоша чуствителност на ДТЗ са:

- Използване на чувствителни ДТЗ в електрически инсталации с голям активен или капацитивен ток на утечка в нормален режим на работа;
- При монтирането на ДТЗ на входа на въздушен електропровод трябва да се има предвид и опасността от заработване вследствие на атмосферните пренапрежения. За да се избегнат такива лъжливи заработвания е необходимо да се избират дефектнотокови защити с повишена импулсна устойчивост или допълнително да се поставят нелинейни ограничители на пренапрежение;
- Използване на ДТЗ в електрически инсталации без защитен проводник;
- Наличие на връзка между нулев проводник и защитен проводник или лоша изолация на нулевия проводник спрямо „земя" след ДТЗ;
- Наличие на токова верига (фазов или нулев проводник) не минаваща през сумиращия трансформатор;
- Наличие на връзка между нулевите проводници на защитавания и друг токов кръг;
- Размяна на местата на входните и изходни клеми на проводниците;
- Наличие на електромагнитни полета с висок интензитет предизвикани от токове на късо съединение през близкостоящи комутационни апарати;
- При недобро полагане на електрическата инсталация (механични наранявания на изолацията на проводниците и др.) също възникват токове на утечка. Когато при недобре изпълнена електрическа инсталация много токови кръгове се защитават от една ДТЗ може да възникне същият проблем, като горния – токовете на утечка се сумират и могат да доведат до чести случайни изключвания. В такива случаи е нужно да се намали броя на токовите кръгове, защитавани от една ДТЗ. Препоръчително е линии, защитени с ДТЗ да не се изпълняват с мостов проводник;

Демонстрационен физически модел за симулиране на функционалността на ДТЗ

Посредством мащабни коефициенти, гарантиращи пълно математическо подобие, параметрите на оригинала се привеждат към параметрите на модела. В системата на действителни единици привеждането се извършва посредством съотношенията:

$$m_U = \frac{U_0}{\sqrt{3}.U_M} = \frac{U_{оф}}{U_{мф}} = 6,52 \quad (2)$$

$$m_I = \frac{I_0}{I_M} = 1 \quad (3)$$

$m_I = 1$ - избран за пълно съответствие по ток между модела и оригинала;

$$m_Z = \frac{z_0}{z_M} = \frac{m_U}{m_I} = 6,52 \quad (4)$$

$$m_S = \frac{S_0}{S_M} \quad (5)$$

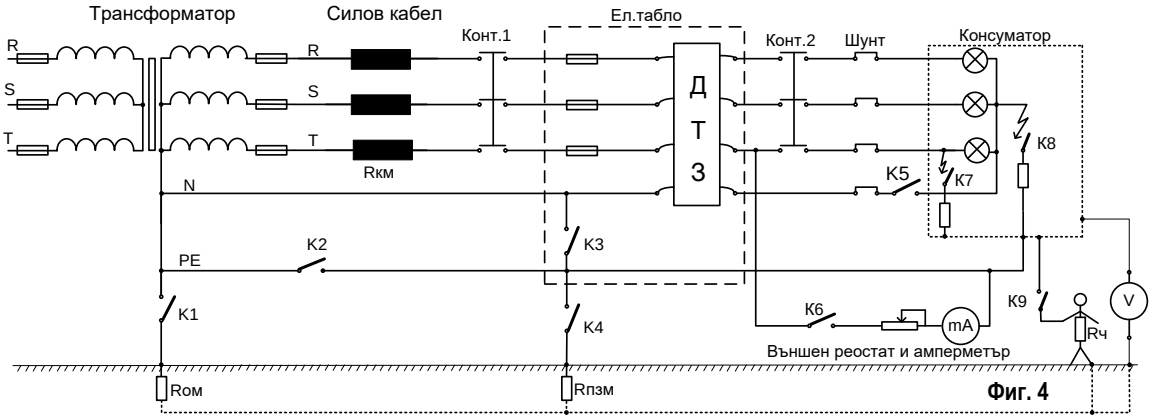
, където

U_0, I_0, z_0, S_0 – са съответно линейното напрежение, ток, съпротивление и мощност на оригинала (реалната мрежа);

U_M, I_M, z_M, S_M – напрежение, ток, съпротивление и пълна мощност на модела;

m_U, m_I, m_Z, m_S - мащабни коефициенти по напрежение, ток, съпротивление (импеданс) и мощност;

Освен гореспоменатите мащабни коефициенти при създаване на трифазни модели се използват и мащабни коефициенти m_R , m_L, m_C, m_f и m_t, съответно по активно съпротивление, индуктивност, капацитет, честота и време.



Фиг. 4

Понеже при електрически мрежи за ниско напрежение и малки дължини на електропроводите индуктивностите и капацитетите са пренебрежимо малки, те се пренебрегват, т.е. $C \approx 0$ и $L \approx 0$, следователно съответните мащабни коефициенти също няма да се използват. Мащабните коефициенти по честота и време се приемат $m_f = 1$ и $m_t = 1$, а $m_Z = m_R$($C \approx 0$ и $L \approx 0$).

Принципна схема на разработеният трифазен физически модел е показана на фиг. 4. Ключът К7 служи за имитиране на повреда в изолацията с протичане на изключвателен ток на утечката, а ключът К9 имитира допир на човек до корпуса на консуматора. Веригата комутирана от ключ К6, съдържаща външен реостат и милиамперметър и се използва за измерване на диференциалния ток на заработване на ДТЗ, като опитът завършва с изключване, а измерената стойност на тока се приема за действителна. Контакторите Конт.1 и Конт.2 служат за включване и изключване на имитираната трифазна електрическа инсталация преди и след силовото електрическо табло.

Привеждане на параметрите на оригинала към параметрите на трифазния модел

1) *Силов кабел покриващ разстоянието трафопост-силово табло на сградата* – замества се в модела за всяка фаза с активно съпротивление със следната стойност:

$$R_{KM} = \frac{R_K}{m_z} = \frac{r_0 \cdot L}{m_z} = \frac{0{,}268 \cdot 0{,}5}{6{,}53} = 0{,}021\ \Omega$$

2) *Моделиране на съпротивленията на работния заземител на неутралата в трафопоста и повторния заземител при електрическото табло в сградата* - Според БДС при мрежи с ефективно заземен звезден център и ниско напрежение, съпротивлението на заземяване при силовия трансформатор на трафопоста трябва да има стойности $R_0 \le 4\Omega$, затова се избира граничния случай $R_0 = 4\Omega$. Съпротивлението на повторният заземител при сградата трябва да бъде $R_{пз} \le 10\Omega$, затова се избира $R_{пз} = 10\Omega$. Двете съпротивления се привеждат към параметрите на модела:

$$R_{0M} = \frac{R_0}{m_z} = \frac{4}{6{,}52} = 0{,}6134\Omega$$

$$R_{ПЗМ} = \frac{R_{ПЗ}}{m_z} = \frac{10}{6{,}52} = 1{,}533\Omega$$

3) *Моделиране на съпротивлението на човешкото тяло* - приема се стандартно $R_ч = 1$ кΩ. Приведено към параметрите на модела се получава:

$$R_{чМ} = \frac{R_ч}{m_z} = \frac{1000}{6{,}52} = 153{,}37\Omega$$

Съпротивленията на модела са навити от канталов съпротивителен проводник, обезпечавайки нужното съпротивление.

Симулиране на функционалността на ДТЗ с помощта на разработения трифазен модел

За целта на експеримента е изследван четири полюсна ДТЗ на фирмата "MERLIN GERIN" с каталожни данни:

- номинален диференциален ток на утечка $I_{\Delta n} = 30$ mA;
- номинално линейно напрежение $U_n = 400$ V;
- номинален работен ток $I_n = 25$A;
- устойчивост при к.с. $I_{nC} = I_{\Delta C} = 10$ kA

1) *Измерване на тока на заработване* – за реализиране на експеримента са затворени ключове К1, К3, К4 и К5.

Използвани са външен набор от реостати и цифров милиамперметър с възможност за запаметяване на най-голямата измерена стойност на тока. Направени са две измервания при плавно увеличаване тока на утечката до заработване на прекъсвача. Резултатите са както следва: 1 опит - $I_{\Delta 1} = 22{,}32$ mA; 2 опит - $I_{\Delta 2} = 22{,}28$ mA. Измереният диференциален ток на заработване е получен като средноаритметична стойност от двата опита:

$$I_{\Delta CP} = \frac{I_{\Delta 1} + I_{\Delta 2}}{2} = 22{,}3mA \qquad (6)$$

Диференциалния ток на заработване трябва да е в диапазона $0{,}5I_{\Delta n} \le I_{\Delta CP} = 22{,}3 \le I_{\Delta n} = 30$ mA . Условието е изпълнено, следователно ДТЗ е изправна.

2) *Изследване на поведението на ДТЗ при моделиране на различни видове електрически мрежи и аварии*

С помощта на трифазния модел е възможно имитиране на функционалността на ДТЗ при електрически мрежи тип TN-C-S, TN-S, TT и IT с изключение на TN-C. Реализацията на отделните типове ел. мрежи е съгласно:

- TN-C-S система - реализира се като се включат ключове К1, К3, К4 и К5;
- TN-S система - реализира се като се включат ключове К1, К2, К4 и К5;
- TT система - реализира се като се включат ключове К1, К4 и К5;
- IT система - реализира се като включим ключове К4 и К5.

Поведението на ДТЗ при реализация на различните видове мрежи при различни аварии е систематизирано в табл. 2.

Таблица 3

Видове повреди	Защитата сработва **да/не**			
	TN-C-S	TN-S	TT	IT
Прекъсване на неутралния проводник (изключен ключ К5)	**НЕ**	**НЕ**	**НЕ**	Защитата **НЕ** сработва при нито един авариен режим, следователно ДТЗ при IT мрежи не би трябвало да се използват
При пробив в изолацията на коя да е фаза към корпуса на консуматора	**ДА**	**ДА**	**ДА**	
Пробив на изолацията от звездния център на консуматора към корпус при симетричен трифазен товар (включен ключ К8) и наличен или изключен неутрален проводник	**НЕ** (При симетричен трифазен товар, звездния център има 0-лев потенциал)	**НЕ** (При симетричен трифазен товар, звездния център има 0-лев потенциал)	**НЕ** (При симетричен трифазен товар, звездния център има 0-лев потенциал)	
Пробив на изолацията от звездния център на консуматора към корпус при несиметричен трифазен товар (изваждаме кой да е шунт на фаза на консуматора), вкл. ключ К8	**1) ДА** - при прекъснат неутрален проводник (изключен ключ К5) защитата сработва; **2) НЕ** при работещ неутрален проводник (включен ключ К5) защитата не сработва;	**1) ДА** - при прекъснат неутрален проводник (изключен ключ К5) защитата сработва; **2) НЕ** при работещ неутрален проводник (включен ключ К5) защитата не сработва;	**1) ДА** - при прекъснат неутрален проводник (изключен ключ К5) защитата сработва; **2) НЕ** при работещ неутрален проводник (включен ключ К5) защитата не сработва;	
Прекъснат защитен проводник – PE и пробив на изолацията фазов проводник - корпус	**НЕ**	**НЕ**	**НЕ**	
Прекъснат защитен проводник PE и пробив на изолацията фазов проводник-корпус при наличие на човек осъществил контакт с корпуса на повреденото съоръжение.	**ДА**	**ДА**	**ДА**	
При отпадане на заземителя на сградата и пробив на изолацията между коя да е фаза и корпуса на консуматора	**ДА**	**ДА**	**1) НЕ** **2) ДА** при допир на човек до корпуса	

Заключения

ДТЗ е удачно да се използват при електроразпределителните мрежи за ниско напрежение TN-C-S, TN-S и TT. При TN-C системи се допуска използването единствено на портативни дефектнотокови прекъсвачи, които се включват непосредствено в розетката на контакти тип шуко с работещо защитно зануляване. Изборът на класа и вида на ДТЗ трябва да е съобразен с:

- Предназначението на защитата;
- Условията и правилата за монтаж на ДТЗ;
- Големината на токовете на утечка в защитаваната инсталация в нормален режим на работа;
- Тока на заработване на максималнотоковата защита;
- Комутационните възможности на ДТЗ;
- Вида на електрическите консуматори включени в защитаваната инсталация и формата на токът на утечката им;
- Електромагнитната съвместимост на ДТЗ със защитаваната електрическа инсталация;
- Селективността на ДТЗ-ти, когато те се изпълняват на няколко йерархическите нива.

Разработеният трифазен модел може да се използва със следните цели:

- Демонстрации и симулиране на функционалните възможности на ДТЗ;
- Приложение в лабораторни упражнения със студенти и курсанти;
- Измерване на диференциалния ток на заработване на ДТЗ;
- Измерване на допирните напрежения при протичане през изолацията на съоръжението на авариен ток с определена стойност.

Основните предимства на разработеният трифазен модел са:

- Използването на безопасно ниско напрежение, което е галванично разделено от разпределителната мрежа за ниско напрежение. Това прави разработеният модел напълно безопасен при работа;
- Има пълно математическо съответствие между параметрите на разработеният модел и параметрите на реална електрическа мрежа за ниско напрежение посредством използваните мащабни коефициенти и следователно, получените резултатите от измервания могат да се приемат за действителни;

Като недостатък може да се изтъкне единствено, че поради използваното безопасно ниско напрежение, фабричният тест-бутон за проверка на работоспособността на ДТЗ не функционира.

Литература

Schonek, J., *Residual current devices in LV*, Cahier technique no. 114, Schneider Electric, 2006;

Технологичен дом, *Дефектнотокова защита. Част I. Нормативни изисквания, принцип на действие, видове устройства*, брой 5, Юни 2009, ISNN 1312-6806

Технологичен дом, *Дефектнотокова защита. Част II. Параметри и структура на устройствата, инсталационни специфики, монтаж и експлоатация.,* брой 6, Юли-Август 2009, ISNN 1312-6806;

Ненова З. П., Г. Ц. Велев, *Измервания и контрол в безопасността на труда,* „Габрово Принт"- ЕООД, 2008, ISBN: 978-954-436-024-5;

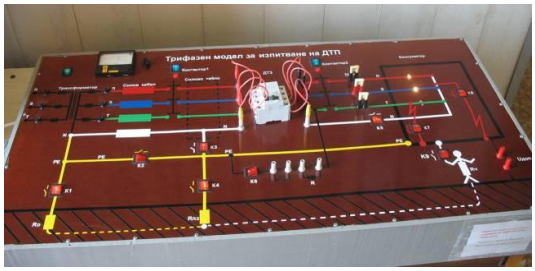
Сидеров, С., С.Етърски, В. Багаров, П. Борисов. *Справочник по енергетика. Том 3,* София, АВС Техника, 1997, ISBN 954-8873-14-1.

Джустров, К., Д. Костов, С. Чобанов, М. Ментешев, Апарати за защита от токови утечки в руднични мрежи с напрежение 220 V АС., сп. “Минно дело и геология”, 2012/2-3.

Приложения

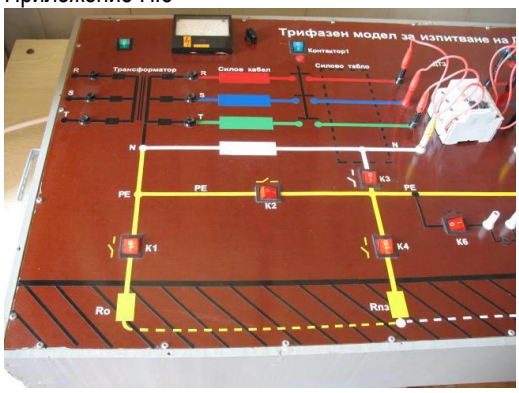
Външен вид на разработеният трифазен модел за симулиране на функционалността на ДТЗ

Приложение П.1



Приложение П.2

Приложение П.3



Приложение П.4

АЛГОРИТЪМ ЗА ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА ТОКА НА НЕСИМЕТРИЧНО КЪСО СЪЕДИНЕНИЕ ПРИ ЕДНОКРАТНА НАПРЕЧНА НЕСИМЕТРИЯ

Евтим Кърцелин, Динко Господинов, Георги Велев, Ангел Зъбчев, Георги Костов

РЕЗЮМЕ: Представена е обобщена формула и алгоритъм за изчисляване на несиметрични къси съединения при еднократна напречна несиметрия

ALGORITHM FOR CALCULATING THE CURRENT CIRCUIT OF ASYMMETRICAL SINGLE-TRANSVERSE ASYMMETRIC

Evtim Kartzelin, Dinko Gospodinov, Georgi Velev, Angel Zabchev, Georgi Kostov

ABSTRACT: Presented is a summary formula and algorithm for calculation of asymmetrical short circuits in a single transverse asymmetry

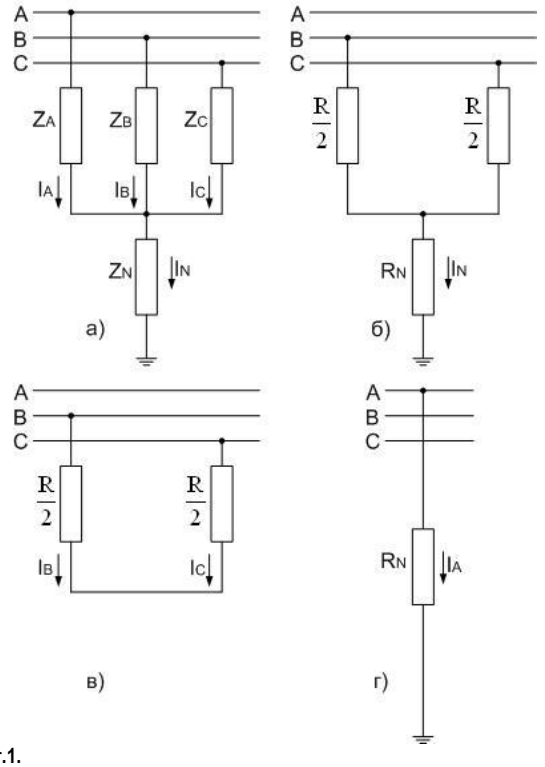
Въведение: За осигуряване на висока точност и надежност на изчислителните процеси, свързани с определяне на параметрите за настройката на релейните защити противоаварийна автоматика в енергетиката, все по-широко се преминава към автоматизиране на изчислителните процеси [ ]. Несиметричните къси съединения при напречна и надлъжна несиметрия са с най-голяма честота аварии в електроразпределителните мрежи. За решаване на този проблем научните изследвания са насочени към решаването на следните задачи:

- Осигуряване висока степен на адекватност на математическите модели, с които се описват различни видове къси съединения, включително и несиметричните къси съединения;
- Усъвършенстване на апаратите за защита от различните видове несиметрични къси съединения;
- Разработване на алгоритъм и програми за автоматизирано изчисляване на различни видове къси съединения, в електрическите мрежи, включително и на несиметричните къси съединения при еднократна напречна несиметрия.

На основата на правилото за еквивалентност на тока при несиметричните къси съединения в доклада е предложен алгоритъм за изчисляване на различните видове несиметрични къси съединения при напречна несиметрия.

Схема на несиметрични къси съединения в трифазни електрически системи с напречна несиметрия.

Напречна несиметрия в една точка от трифазна електрическа верига възниква в тези случаи, когато към фазите се присъединят различни съпротивления, както това е показано на фиг.1.



Фиг.1.

Такова включване е възможно да възникне при несиметрично късо съединение или при несиметричен товар.

Всеки две от включените в звезда съпротивления, а също тъка и съпротивлението $\dot{Z}_N$, е възможно да бъдат равни на нула или безкрайност. Различните видове несиметрия или къси съединения са представени на фиг.1 както следва:

- Фиг.1а. – общ случай на напречна несиметрия, $\dot{Z}_A \neq \dot{Z}_B \neq \dot{Z}_C \neq \dot{Z}_N$;

- Фиг.1б. - двуфазно късо съединение към земя, $\dot{Z}_A = \infty,\ \dot{Z}_B = \dot{Z}_C = \frac{R}{2},\ \dot{Z}_N = R_N$;
- Фиг.1в. - двуфазно късо съединение, $\dot{Z}_A = \dot{Z}_N = \infty,\ \dot{Z}_B = \dot{Z}_C = \frac{R}{2}$;
- Фиг.1г. - еднофазно късо съединение, $\dot{Z}_A = 0,\ \dot{Z}_B = \dot{Z}_C = \infty,\ \dot{Z}_N = R_N$.

При възникване на късо съединение съпротивлението в мястото на късото съединение е сбор от две съпротивления – съпротивление на волтовата дъга и съпротивление на заземяването. Тези съпротивления, както показват експериментални изследвания, са активни. Ето защо тези съпротивления за изброените по-горе частни случай са приети за активни.

Правило за еквивалентност на тока с права последователност.

От изведените изчислителни формули за различните видове несиметрични къси съединения [1, 2, 3, 4, 6] следва извода, че токът с обратна и нулева последователност и напреженията от всички последователности са пропорционални на тока с права последователност I_{A1} в мястото на късото съединение. Следователно за да се изпълнят необходимите изчисления при всички видове къси съединения, е необходимо да се определи токът с права последователност I_{A1} в мястото на несиметричното късо съединение.

Периодичната съставяща на тока с права последователност за особената фаза за всеки вид (n) несиметрично късо съединение е възможно да се представи в следния общ вид

$$I_{A1}^{(n)} = \frac{m^{(n)}.\dot{E}_{A\Sigma}}{j\left(X_{1\Sigma} + \Delta X^{(n)}\right)} \qquad (1)$$

където $\dot{E}_{A\Sigma}$ - резултантна ЕДН с права последователност;

$X_{1\Sigma}$ - сумарно съпротивление на заместващата схема с права последователност;

$m^{(n)}$ - коефициент, характеризиращ вида на изчисляваното късо съединение, при което, $m^{(1)} = 3$; $m^{(2)} = j\sqrt{3}$;

$$m^{(1.1)} = \sqrt{3}.\sqrt{1 - \frac{X_{\Sigma 2}.X_{\Sigma 0}}{(X_{\Sigma 2} + X_{\Sigma 0})^2}};$$

$\Delta X^{(n)}$ - шунт на несиметричното късо съединение, който се включва между началото и края на схемата с права последователност и се определя чрез сумиране съпротивленията с обратна и нулева последователност

$$\Delta X^{(1)} = X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}, \qquad \Delta X^{(2)} = X_{2\Sigma},$$

$$\Delta X^{(1.1)} = \frac{X_{2\Sigma}.X_{0\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}}.$$

Обобщеният запис на израз (1) позволява на руския учен Н. Н. Щедрин за пръв път да формулира така нареченото правило за еквивалентност на правата последователност, което се използва широко в областта на електротехниката от съвременния научен съвет.

Определение: Токът с права последователност при всяко несиметрично късо съединение е възможно да бъде определен като ток при трифазно късо съединение в точка, отдалечена от действителната точка на късото съединение чрез допълнително съпротивление $\Delta X^{(n)}$, което не зависи от параметрите на схемата с права последователност и за всеки вид късо съединение се определя от резултантното съпротивление с обратна и нулева последователност спрямо разглежданата точка на схемата. Означенията във формула (1) са представени в таблично [5].

Вид на К.С.	$K^{(n)}$	$\Delta X^{(n)}$	$m^{(n)}$
Трифазно К.С.	$K^{(3)}$	0	1
Двуфазно К.С.	$K^{(2)}$	$X_{\Sigma 2}$	$j\sqrt{3}$
Двуфазно К.С. към земя	$K^{(1.1)}$	$\frac{X_{\Sigma 2}.X_{\Sigma 0}}{X_{\Sigma 2} + X_{\Sigma 0}}$	$\sqrt{3}.\sqrt{1 - \frac{X_{\Sigma 2}.X_{\Sigma 0}}{(X_{\Sigma 2} + X_{\Sigma 0})^2}}$
Еднофазно К.С. към земя	$K^{(1)}$	$X_{\Sigma 2} + X_{\Sigma 0}$	3

Алгоритъм за изчисляване на тока на несиметрично късо съединение при еднократна напречна несиметрия.

Изчисляването на тока на несиметрично късо съединение е възможно да се раздели на няколко основни етапи:

1. Съставяне на заместваща схема с права, обратна и нулева последователност;
2. Изчисляват се и се привеждат параметрите на заместващата схема, при това се отчитат различията в параметрите за права, обратна и нулева последователност за отделните елементи на схемата;
3. Определят се сумарните съпротивления на схемите с права, обратна и нулева последователност. Преобразуването се извършва спрямо началото и края на схемата за всяка последователност;
4. Определя се резултантното ЕДН на схемата с права последователност. Ако заместващата схема с права последователност съдържа повече от едно ЕДН, то тяхното еквивалентиране се извършва спрямо началото и края на схемата;
5. Определя се изчислителния коефициент за вида на късото съединение $m^{(n)}$;
6. Определя се шунта на късото съединение $\Delta X^{(n)}$;
7. Изчислява се пълният ток в мястото на късото съединение по формула (1).

Ако задача на изчислението се явява определяне на напрежението в мястото на късото съединение или на симетричните съставящи на напрежението.

Литература

[1] Нотов П. Къси съединения в електроенергийните системи, *С., ТУ, 2000.*

[2] Куликов Ю. А. Переходные процессы в электрических системах*, М., МИР, 2003.*

[3] Суворов И. Ф. Переходные процессы в системах электроснабжения, *Чита, ЧГУ, 2005.*

[4] Винославский В. Н. и др. Переходные процессы в системах электроснабжения, *Киев, ВШ, 1989.*

[5] Малчев К. Къси съединения в електрическите системи, *С., ТУ, 2010.*

[6] Вагнер К. Ф., Эванс Р. Д. Метод симетричных составляющих. *М.Л., Энергоиздат, 1993.*

[7] Справочник по проектированию электроснабжению, *Под ред. Ю.Г. Барыбина и др., М., Энергоатомиздат, 1990.*

[8] Стоилов, Ив., К.Джустров. Оптимални настройки на релейните защити в подстанциите на рудник „Елаците”. *Proceedings of X SUBILEE NATIONAL CONFERENCE WITH INTERNATIONAL PARTIPATION OF THE OPEN AND UNDERWATER MINNG OF MINERALS 07÷11 June 2009, Varna*.

ИЗМЕРВАНЕ ТЕМПЕРАТУРАТА НА РОТОРА НА АСИНХРОНЕН ДВИГАТЕЛ ПО ИЗМЕНЕНИЕТО НА ХЛЪЗГАНЕТО НА РОТОРА

Динко Господинов

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail:emp@mgu.bg

РЕЗЮМЕ. Показана е принципната възможност за разработването на температурна защита на ротора на асинхронен двигател с късо съединен ротор.

MEASURING THE TEMPERATURE OF ROTOR ON ASYNCHRONOUS MOTOR VARIANCEON.THE ROTOR SLIP

Dinko Gospodinov
University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail: emp@mgu.bg

ABSTRACT.Shown is thetheoretical possibility ofdevelopingthermalprotectionrotorasynchronous motorwith short-circuited rotor**.**

Въведение: Поради някой свои предимства пред другите видове електродвигатели, асинхронните двигатели с късо съединен ротор (АД с к.с.р.) във взриво защитено изпълнение се явяват основен вид двигатели за променлив ток, които се използват за задвижване на всички добивни, транспортни и спомагателни машини и уредби при подземния добив на въглища.

Към предимствата на АД с к.с.р. следва да се посочат простата им конструкция, висока надежност в експлоатация, отсъствието на колектор с контактни пръстени. Заедно с това следва да се посочи, че АД имат някой съществени недостатъци: квадратична зависимост между момента и напрежението на захранващата мрежа, висока чувствителност към качеството на електрическата енергия (несиметрия, несинусоидалност и отклонение на захранващото напрежение), голям пусков ток, което изисква задължително наличие на запас по мощност на захранващия източник и използването на специални методи за пускане, с цел ограничаване на пусковия ток. Един обобщаващ показател за недостатъците на АД с к.с.р. е свързан с резултатите от тяхната експлоатация, а именно – високият процент на повредени и отказали двигатели, който за условията на подземните рудници за механизиран добив на въглища (рудник „Бабино") достигат до 25% от общия брой на АД, намиращи се в експлоатация.

Резултатите от редица изследвания, проведени за изучаване и определяне на причините за повреди и откази на АД с к.с.р. [2,3,4] показват, че над 50% от възникналите повреди са в резултат на някой съществени недостатъци в използваните апарати за защита.

Към основните фактори, които се явяват причина за възникването на повреди и откази в АД с к.с.р. за условията на подземните въглищни рудници следва да се отнесът

- Влошени показатели за качеството на електрическата енергия (отклонение, несиметрия и несинусоидалност на захранващото напрежение);
- Неблагоприятни климатични и експлоатационни условия за работа: висока влага, повишена температура, висока запрашеност на рудничния въздух, влошени условия за вентилация и др.;
- Неизправности в системата за охлаждане на машината;
- Незадоволителна центровка и влошени експлоатационни условия на работа;
- Използваните тиристорни преобразуватели на честота се явяват източници на висши хармоници на тока, което допълнително нагряват АД с к.с.р.;
- Нарушаване правилата на техническата експлоатация (чести технологични претоварвания, чести пускания и др.).

Всички анормални режими на работа на АД водят до нарастване на температурата на техните намотки и до съкращаването на срока за тяхната експлоатация. Повишаване на температурата на двигателя над допустимата стойност се явява причина за стареене на изолацията на намотките на статора, способства за появата на такива откази, като междуфазно късосъединение, междувиткови съединения. Аварийните режими водят до разтопяването на роторната намотка и до повреди в стоманата на магнитопровода на статора и ротора.

За условията на подземните въглищни рудници трябва да се посочи, че защитата от аварийни и анормални режими на работа на АД с к.с.р. се осъществява преди всичко от

рудничните пускатели в РВ – изпълнение, в който са монтирани блокове с различни функции за управление, контрол и защита. Независимо на различията в схемите и конструктивни решения, техният принцип на работа се основава на измерване силата на тока на АД, преубразуване на този ток и контрол на напрежение на RC-вериги, пропорционално на силата на тока.

Схемното измерване и подаването на сигнал за изключването на претоварен АД при използваните принципи за работа на апаратите за защита не осигурява висока точност. Този факт се дължи на обстоятелството, че при защита от технологично претоварване на АД в границите на 5–20% е необходимо да се използва закъснение по врем, което достига до десетки минути.

В последните години се разработват и внедряват редица защити на АД, базиращи се на използването на микропроцесорната техника. Опита от реализирани разработки за условията на подземните въглищни рудници и получените резултати са твърде скромни.

Всичко това определя актуалността на задачата за разработването на ефективни защити за АД за условията на подземни въглищни рудници: всестранен анализ на възможните анормални и аварийни режими на работа на АД, техните последици за защитавания обект и на основата на получената обективна изходна информация да се разработят алгоритми за работа на апаратите за защита, осигуряващи ефективна защита на АД за тези режими в пълен обем.

В доклада е обоснована възможност за реализирането на топлинна защита на ротора на АД чрез измерване хлъзгането на ротора.

Метод за измерване температурата на ротора на асинхронни двигатели

В асинхронни двигатели с късосъединен ротор изменението на активното съпротивление на намотките на ротора е възможно да се определи по изменението на загубите, а също така и по изменението на тока в намотките или е.д.с. на ротора, което в най-общия се изразява в изменение на хлъзгането на ротора спрямо въртящото се магнитно поле. По такъв начин косвенно се измерват електрически или механически величини, които се проявяват на страната на неподвижните части на електрическата машина.

Един от методите [1], използващ ефекта от изменението на електрическите и механичните параметри на асинхронен двигател с късосъединен роторот величината на активното съпротивление на намотката на ротора, се основавайки се на формулата

$$r_p = \frac{3E_p^2}{P_p} \qquad (1)$$

където r_p – активно съпротивление на роторната намотка;

E_p – е.д.с., индуктирана в намотката на ротора;

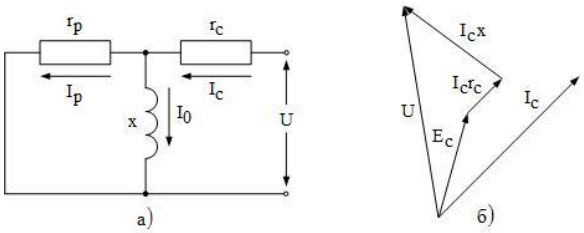
P_p – загуба в медта на ротора.

Между е.д.с. на ротора E_p и е.д.с. на статора E_c за асинхронни двигатели с к.с.р. е в сила зависимостта

$$k.E_p = E_c.S$$

къдетоk – коефициент за привеждане параметрите на ротора към параметрите на статора в заместващата електрическа схема, показана на фиг.1а;

S – хлъзгане.



Фиг.1 Заместваща схема (а) и векторна диаграма (б) на асинхронен двигател

От векторната диаграма на фиг.1б следва, че ако са известни данните, достъпни за измерване на клемите на статора на двигателя е възможно да се определи квадрата на е.д.с. на статора по зависимостта

$$E_c^2 = U^2 - 2.U.I_c.(r_c.cos\varphi + x.sin\varphi) + +I_c^2.(r_c^2 + x_c^2) \qquad (2)$$

където U – напрежение на клемите на статора;

I_c – ток в статорната намотка;

x –общо съпротивление на разсейване на намотките на статора и ротора;

x_c–индуктивно съпротивление на статорната намотка.

Ако са известни посочените по-горе величини, за измерване на хлъзгането на ротора при изменението на момента на вала е възможно да се запише в следната зависимост между отношението на хлъзгането в студено и топло състояние на роторната намотка и отношението на загубите в медта на ротора при студено състояние и при повишена температура на намотките

$$\frac{r_{p.x}}{E_{c.x}^2}.\frac{E_{c.r}^2}{r_{p.r}} = \frac{S_x}{S_r} \qquad (3)$$

При измерване на хлъзгането е задължително изпълнението на условието за постоянство на загубите в медта на ротора

$$\frac{r_{p.r}}{r_{p.x}} = \frac{E_{c.r}^2}{E_{c.x}^2}.\frac{S_r.(1-S_x)}{S_x.(1-S_r)} \qquad (4)$$

а търсената температура на намотките на ротора е възможно да се определи с израза

$$\vartheta_{p.r} = \left(\frac{r_{p.r}}{r_{p.x}} - 1\right).\frac{1}{\alpha} + \vartheta_{p.x} \qquad (5)$$

къдетоα – температурен коефициент на съпротивление за метал, от който е изготвена намотката на ротора;

$\vartheta_{p.x}$ – температура на намотката на ротора в началния момент на измерване, в студено състояние.

За температура на намотката на ротора в студено състояние е възможно да се приеме температурата на околната среда. Включването на напрежението, натоварването на машината и отчитане на хлъзгането при машина с повишена температура е необходимо да се реализира с възможно по-висока скорост, като се спазват изискванията за измерване на хлъзгане в студено състояние на двигателя.

Използването на този метод до известна степен се усложнява поради необходимостта да се използва

специална апаратура за осигуряването на постояннство на момента или мощността на вала. Освен това, при изчисляване на параметрите е необходимо да се отчита общото индуктивно съпротивление на разсейване на намотките на статора и ротора. За получаването на тези е необходимо предварително да бъдат заснети характеристиките на късосъединение при честота на напрежение, което се подава към статора на двигателя с честота 50Hz и 25Hz, в резултат на което се определят стойностите на индуктивните съпротивления x_{50} и x_{25}. Ако се приеме, че съпротивлението на разсейване на намотката на ротора x_p е пропорционално на стойността $\sqrt{\frac{1}{S}}$, то е възможно да се запише израза

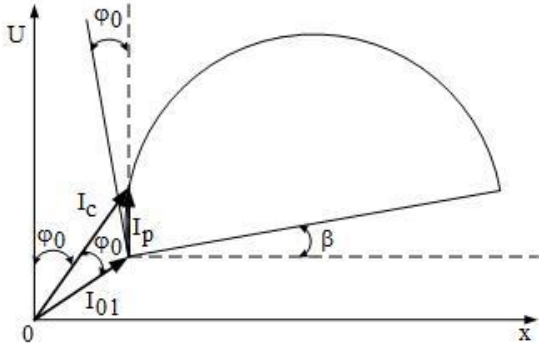
$$x_p = \frac{x_{25} - x_{50}}{\sqrt{S-1}} \quad (6)$$

Екстраполация на величината x_p на номиналното хлъзгане е възможно да се изпълни по формулите

$$x_{pS} = x_p . \sqrt{\frac{1}{S}}, \quad \frac{x_p}{x} > 0{,}2$$

$$x_{pS} = x_p . \sqrt[3]{\frac{1}{S}}, \quad \frac{x_p}{x} < 0{,}2$$

Всички тези затруднения е възможно да се избегнат, ако се определи активното съпротивление на намотката на ротора не чрез е.д.с. на ротора, а чрез тока. В този случай изчисленията се извършват с помоща на кръговата диаграма на асинхронен двигател, представена на фиг.2, която е построена за заместващата схема, показана на фиг.1а.



Фиг.2 Кръгова диаграма на асинхронен двигател

За определяне тока на идеален празен ход на асинхронен двигател се използват зависимостите

$$I_{0и} . sin\varphi_{0и} = I_0 . sin\varphi_0 \quad (7)$$

$$I_{0и} . cos\varphi_{0и} = I_0 . cos\varphi_0 . \frac{P_{ст} + P_{c0}}{P_0} \quad (8)$$

$$I_{0и} = \sqrt{(I_{0и} . sin\varphi_{0и})^2 + (I_{0и} . cos\varphi_{0и})^2} \quad (9)$$

$$cos\varphi_{0и} = \frac{I_{0и} . cos\varphi_{0и}}{I_{0и}} \quad (10)$$

където I_0 – ток на празен ход;

$I_{0и}$ – ток на идеален празен ход без отчитане на механичните загуби;

$P_{ст}$ –загуби в стоманата, определени по опитен път;

P_0 – мощност на празен ход, определена по опитен път;

P_{c0} –загуби в медта на статора при празен ход.

С използване на заместващата схема и кръговата диаграма се съставят следните зависимости

$$k^2 . r'_p = \frac{P_p}{3.(I'_p)^2} \quad (11)$$

$$(I'_p)^2 = I_0^2 + I_{0и}^2 - 2 . I_c . I_{0и} . cos(\varphi_{0и} - \varphi_0) \quad (12)$$

$$P_p = S . (P_c - 3 . I_c^2 . r_c - P_{ст}) \quad (13)$$

където I'_p – приведен ток на ротора в заместващата схема;

r'_p – приведено съпротивление на роторната намотка;

P_c – първична мощност, определена по опитен път.

При определяне на загубите в медта на статора в изразите (8) и (13) следва да се отчита и съпротивлението на статорната намотка, измерено в студено състояние, а след това и при повишена температура.

Замествайки стойността на величините, изчислени по изразите (12) и (13) в (11) и определяйки активното съпротивление на намотката на ротора в студено състояние и при повишена температура, е възможно да се определи превишаването на температурата на намотката на ротора

$$\Delta\vartheta_p = \vartheta_r - \vartheta_x = \left[\frac{(k^2 . r'_p) . r}{(k^2 . r'_p) . x} - 1\right] . \frac{1}{\alpha} \quad (14)$$

Ако за опростяване на изчисленията се приеме условието, че по времето на измерване на съпротивленията при студено състояние и при повишена температура на двигателя, токът в статора и ротора не се изменят, то превишението на температурата на роторната намотка е възможно да се изчисли по формулата

$$\Delta\vartheta_p = \left[\frac{P_{p.r}}{P_{p.x}} - 1\right] . \frac{1}{\alpha} \quad (15)$$

От приведените изрази се вижда, че приближените изчисления е възможно да се използват само като се използват данни от измерването на хлъзгането в студено състояние и при повишена температура на намотката на ротора, в резултат на което се получава незначително завишен резултат, но приемлив за практическо използване

$$\Delta\vartheta_p = \left[\frac{S_r}{S_x} - 1\right] . \frac{1}{\alpha} \quad (16)$$

Знаейки началната температура на роторната намотка, за която е възможно да се приеме температурата на околната среда, е възможно да се определи търсената температура на роторната намотка по израза

$$\vartheta_p = \vartheta_x + \Delta\vartheta_p \quad (17)$$

При изпълнението на прецизни измервания е възможно да се получи достатъчно висока точност.

Литература

1. Зедгинидзе Г.П. Измерение температуры вращающихся деталей машин. *М., Гос тех. Издат., 1962.*
2. Васьиовский Ю. Н. и др. Исследование устройства контроля короткозамкнутой обмотки ротора асинхронного двигателя, *Електротехнікаі Електромеханіка, 2011 №6.*
3. Кърцелин Е., Господинов Д, Исталиянов Р., Младенова Й, Лаков Н. Принципи за защита на електродвгатели и

технически средства за тяхната реализация,*Год. МГУ "Св.Ив.Рилски", т. 53, св. III, МЕАМ., 88-96.,*

4. Богаенко И.Н. Контролы температуры электрических машин. *Киев, техника, 1975.*
5. Ганчев Г., Стоилов И., Чобанов С. Ръководство за лабораторни упражнения по минна електротехника,*С., Изд. къща „Св. Иван Рилски", 2008.*
6. Траубе Е. С. И др. Электрооборудование на 1140в для угольных машин и
7. Правилник по безопасността на труда в подземните въглищни рудници (В-01-01-01). *Том 1 и 2. София 1992*
8. .Petrov, P. K. Georgi T. Velev, K. M. Ivanov, -UTILIZATION OF DATA ACQUISITION SYSTEMS FOR MONITORING AND ANALYSIS OF FAULT SITUATIONS IN EFFECTIVELIY GROUNDED STAR - CONNECTED ELECTRICAL POWER NETWORKS*, Annals of the „Constantin Brancusi" University of Targu Jiu, Engineering Series , No. 2/2009, Romania, ISSN 1842-4856;*
9. Стоилов, Ив., К. Джустров, М. Ментешев. Оптимизация на релейната защита в електрическите уредби 6 kV на "Челопеч Майнинг" АД.- Годишник на МГУ„Св.Иван Рилски",2004, т. 47, св. III, 81-85.

ГОДИШНИК на Минно-геоложкия университет "Св. Иван Рилски", Том 55, Св.III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, 2012
ANNUAL of the University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Vol. 55, Part III, Mechanization, electrification and automation in mines, 2012

ОСНОВНИ МЕТОДИ ЗА ОСИГУРЯВАНЕ НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНА СЪВМЕСТИМОСТ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКАТА

Евтим Кърцелин[1], Йоана Маринова[1], Ангел Зъбчев[1], Георги Велев[2], Николай Илиев[1], Николай Минеков[3]

[1] Минно -геоложки университет "св. Иван Рилски", 1700 София
[2] Технически университет, гр. Габрово
[3] "Асарел -медет" АД , гр. Панагюрище

РЕЗЮМЕ. Анализирани са основни пътища за разпространение на промишлени смущения и са представени основните методи за понижаване осигуряване на електромагнитната съвместимост в електроенергетиката.

BASIC METHODS TO ENSURE ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY IN THE ENERGY SYSTEM

Evtim Kartselin[1], Joana Marinova[1], Angel Zabchev[1], George Velev[2], Nikolai Iliev[1], Nikolai Minekov[3]
[1] University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski ", 1700 Sofia
[2] Technical University of Gabrovo
[3] "Asarel Medet" Panagyurishte

ABSTRACT. An analysis of the main sources for distribution of industrial interference. Presents the main methods for reduction ensuring electromagnetic compatibility in the energy system.

Въведение

Специфичната особеност на всички електропотребители се явява обстоятелството, че чрез електроснабдителна система са свързани помежду си и следователно взаимно си влияят.

Това взаимно влияние между електропотребителите, свързани към една електроснабдителна система, се нарича електромагнитно смущение. Една от актуалните задачи на съвременната енергетика е свързана с измерване и ограничаване на електромагнитните смущения до ниво, при което не се нарушава нормираната работа на всички електропотребители.

В развитието на съвременните системи за електроснабдяване /СЕС/ се оформят следните основни тенденции

1. Внедряване на принципно ново електрообзавеждане, което условно може да се раздели на две групи: чувствително към смущения и генериращо смущения.

Към електрообзавеждане /ЕО/, чувствително към смущения се отнася електронната и микропроцесорна техника, която се явява основен елемент на техническите средства за автоматизация, на изчислителните машини и на информационните системи.

Към ЕО, генериращо смущение се отнася силовата полупроводникова техника: мощни нелинейни, несиметрични преобразуватели, с бързоизменящо се /рязкопроменящо се/ и ударно натоварване електродвигатели; електрически уредби с елегазови и вакумни комутационни прекъсвачи.

2. Нарастване мощността на ЕО от втори клас обуславя съществено увеличаване нивото на електромагнитните смущения в електроснабдителните системи на промишлените предприятия и на енергийната система. Тези смущения в зависимост от техния характер, интензивност и продължителност, оказват неблагоприятно влияние на силовите електроуредби, системите за автоматика, телемеханика, каналите за връзка и релейна защита.

3. Наличие на електрическа връзка между всички елементи на системата за елекроснабдяване осигурява възможност на смущения от страна на ниското напрежение да проникват в мрежи средно и високо напрежение на ЕСС, в мрежите на други потребители и оказват влияние на цялото ЕО. Тези и някой други обстоятелства водят до възникването на проблемите с електромагнитната съвместимост.

Електрическите подстанции (ЕП) са електрически уредби, предназначени за преобразуване и разпределение на електрическата енергия. В жилищните зони на градовете се използват във вид на трансформаторни подстанции и разпределителни устройства. ЕП представляват сложна структура, съставена от различно по предназначение, конструкция и мощност електрообзавеждане (ЕО): силови трансформатори (ТР), разпределителни табла или

разпределителни устройства (РУ); шинопроводи, кабели , кабелни въводи, електрически апарати (ЕА).

При работа ЕО създава външно електромагнитно поле (ВЕП) с честота, равна на честотата на захранващата електрическа мрежа (50Hz), което съществува както вътре, така и вън от електрическата подстанция. Това електромагнитно поле оказва влияние както на хората, така и на техническите средства – електрическите апарати за защита, управление и автоматика. В първия случай съществува проблема за екологическата безопасност на човека при действието на така наречената биологично магнитно поле [7,9], а във втория – проблема за електромагнитната съвместимост [5, 6] при действието на ВМП на чувствителните към него технически средства. Общо признато е, че намаляване нивото на ВМП осигурява решаването и на двата проблема.

Източници на промишлени смущения.

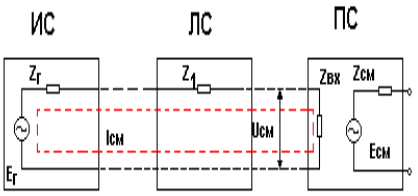
За избора на методи и технически решения за ограничаване (подтискане) на смущенията върху работа на един обект е необходимо преди всичко да се открият източниците на смущения, пътищата за проникване на тези смущения и определяне на техните параметри.

Същността на този подход се илюстрира със заместващата схема, показана на фиг.1. Източникът /генераторът/ на смущения **ИС** с е.д.с. **Eг** и вътрешно съпротивление $\mathbf{Z_г}$ е включен чрез сигналната линия ЛС /линия за предаване на сигнали/ със съпротивление **Zл** към приемника на смущения **ПС** с входно съпротивление **Zвх**. Приемникът на смущения на страната на своя изход е възможно да се представи с еквивалентен генератор с е.д.с. Есм, която зависи от сигнала на входа на приемника на смущения ПС и вътрешното му съпротивление $\mathbf{Z_{см}}$. В най-общия случай съпротивленията $\mathbf{Z_г}$, $\mathbf{Z_л}$, $\mathbf{Z_{вх}}$ и $\mathbf{Z_{см}}$ е възможно да се приемат за комплексни и разпределени.

От схемата на фиг.1 се вижда, че токът на смущенията **Iсм** и напрежението на смущенията $\mathbf{U_{см}}$ на входа на приемника на смущения ПС напълно се определят от спектралната характеристика на е.д.с. $\mathbf{E_г}$ на източника на смущения и стойността на съпротивленията $\mathbf{Z_г}$, $\mathbf{Z_л}$ и $\mathbf{Z_{вх}}$.

Разграничаване и определяне елементите на една система за електрозадвижване на източници и приемници на смущения е твърде относително, тъй като най-често един и същ елемент е възможно да се явява едновременно и като източник, и като приемник на смущения. Устройствата, които нямат усилващи свойства, като например комутиращи устройства за постоянен и променлив ток (контактори, релета, превключватели, различни видове кнопки за управление) и неуправляемите захранващи източници (полупроводникови преобразуватели на променлив в постоянен ток, трансформаторите, преобразуватели на честота) е възможно да бъдат източници на смущения.

Устройствата в системите за електрозадвижване, притежаващи усилващи свойства (електрически машини за постоянен ток, управляеми полупроводникови преобразуватели, операционни усилватели и др.), е възможно да бъдат както източници , така и приемници на смущения.



фиг.1 Замества щата схема на източник, приемник и път за проникване на смущения.

С отчитането на спектралните характеристики на елементите на електрозадвижването източници на смущения е възможно да бъдат разделени на две групи:

1. Източници на смущения с непрекъснат честотен спектър на изходната е.д.с. /комутиращи устройства, машини за постоянен ток и др/.

2. Източници на смущения с дискретен спектър – хармонични смущения, честотният спектър на е.д.с. на които е неизменен, а относителното ниво е или постоянно /захранващи източници на постоянен или променлив ток/, или еднозначно се определят от режима на работа на самия източник /управляеми вентилни преобразуватели, операционни усилватели/.

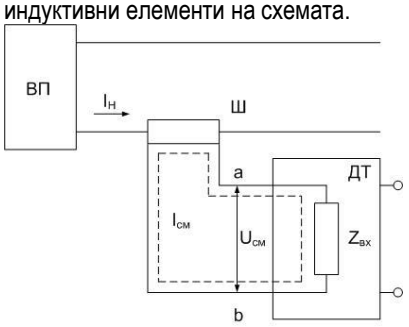
Посочените групи източници на смущения са неравнозначни от гледна точка за степента на влияние на създаваните /генерираните/ от тях смущения върху работата на системата за управление на електрозадвижването. Най-опасни се явяват хармоничните смущения, които е възможно да станат причина за възникването на паразитна нискочестотна амплитудна модулация на изходния сигнал на схемата за управление, а също така и до постоянно действащо претоварване по ток на редица елементи от схемата , борбата с които е изключително трудна. Към тях се отнася и относителното ниво на е.д.с на източниците на хармонични смущения в схемите на вентилното електрозадвижване над нивото на е.д.с. на смущенията с непрекъснат честотен спектър.

Хармоничният състав на е.д.с. на източници на смущения с дискретен спектър се съдържа преди всички в честоти, кратни на честотата 50 Hz на захранващото напрежение на промишлени уредби, а относителното ниво на е.д.с. има максимум в диапазона 50-1200 Hz. Ето защо в схемите на вентилните електрозадвиждания на аналогови елементи на първо място следва да се отдели внимание за подтискане /ограничаване/ на хармоничните смущения, честотата на които е кратна на 50 Hz и се намира в диапазона 50-1200 Hz.

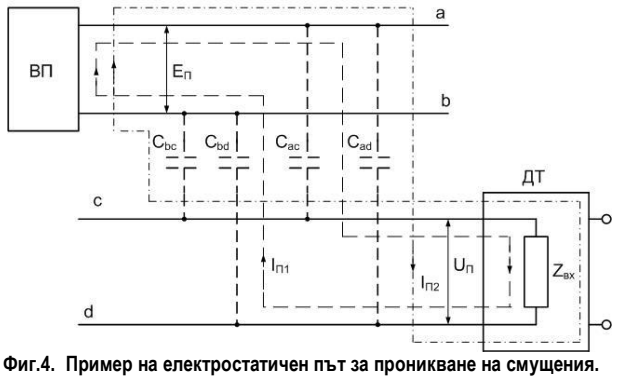
Пътища за проникване на промишлени смущения.

На разстояние от източника на смущение, по-малко от дължината на вълната λ електромагнитното поле има ярко изразени електрически или магнитен характер [8]. Ето защо при честота на електромагнитното поле в диапазона 50-1200 Hz е възможно да се приеме, че в схемите на вентилните електрозадвижвания, където разстоянието между елементите на схемата не надвишава $10^3 м \leq \lambda \approx (60 \div 2.5) 10^5 м$, електромагнитните връзки между източника и приемника на смущение се осъществява

преди всичко и основно за сметка или на електрическо, или магнитно поле. Тогава в схемите за управление на системи за електрозадвижване възможните пътища за проникване на смущения е целесъобразно да се разделят на галванични електростатични и магнитостатични. Галваничните пътища за проникване на смущения възникват за сметка на непосредственото включване чрез линията за връзка /управление/ на входната верига на елемента за управление към веригата на друг елемент, която играе ролята на източник на смущения. Линията за връзка /управление/ е възможно да се представи в най-общия случай като комбинация от активни, капацитивни и индуктивни елементи на схемата.



фиг.3. Пример на галваничен път за проникване на смущения



Фиг.4. Пример на електростатичен път за проникване на смущения.

Пример за галваничен път на проникване на смущения е представен на фиг.3. Тук за напрежение на смущение $U_{см}$ на входа на датчика на ток ДТ е приет спада на напрежението на шунта Ш от пулсиращата съставяща на постоянния товарен ток **Iн** на вентилния преобразувател ВП. Токът на смущението Iсм протича по проводниците за връзка (управление) **a, в** и входното съпротивление **Zвх** на датчика на ток ДТ.

Електростатичен път за проникване на смущения се обуславя от електрическата съставяща на електромагнитното поле и възниква за сметка на наличието на паразитни капацитети между отделни елементи на схемата.

Така например, на фиг. 4 електростатичния път за проникване на смущения е обусловен от съществуването на паразитни капацитивни връзки между шинопроводите **a , в** на ВП и входната верига **c, d** на датчика на ток Д.Т. Напрежението на смущение Uсм на входа на датчика на ток ДТ се определя от разликата на токовете на смущенията $I_{см1}$ и $I_{см2}$, които протичат през входното съпротивление $Z_{вх}$ на датчика на ток ДТ под действието на е.д.с. $E_{см}$ на източника на смущения. Ролята на Есм играе пулсиращата съставяща на изправеното напрежение на вентилния преобразувател ВП. Токът $I_{см}$ протича през паразитните капацитети C_{ac} , $C_{вd}$ между шинопроводите **a, в** и проводниците за управление **c, d** по контур , представен на фиг. 4 с пунктирна линия. Токът $I_{см2}$ протича през паразитните капацитети C_{ad}, $C_{вc}$ по контура, изобразен с пунктирна линия на фиг.4 Напрежението на смущение $U_{см}$ се определя с израза:

$$U_{см} = (I_{см1} - I_{см2})Z_{вх} = E_{см}\frac{Z_{вх}}{Z_{вх} + \dfrac{1}{2\pi f\dfrac{C_{ac}C_{bd} - C_{bc}C_{ad}}{C_{ac}C_{bd} + C_{bc}C_{ad}}}}$$

където f – честота на смущенията.

По правило, $U_{см} \neq 0$, което се предизвиква от асиметрията на паразитните капацитивни връзки, когато $C_{ac}\, C_{da} \neq C_{bc}\, C_{ad}$.

Магнитостатичният път за проникване на смущения се обуславя от магнитната съставяща на електромагнитното поле и се появява за сметка на съществуването на паразитни взаимни индуктивности между отделните елементи на схемата.

На фиг.5 магнитостатичният път за проникване на смущения се осъществява от съществуването на паразитните взаимни индуктивности M_{ac},M_{ad}, M_{bc} и M_{bd} между шинопроводите **a, в** на вентилния преобразувател ВП и входните вериги **c, d** на датчика на ток ДТ. Напрежението на смущение $U_{см}$ на входа на датчика за ток ДТ се определя от разликата на е.д.с e_{ac}, e_{ad} и e_{bc}, e_{bd} , индуктирани в проводниците **c, d** под действието на пулсиращата съставяща на изправения товарен ток $I_н$ на вентилния преобразувател. Токът на смущенията $I_{см}$ протича под резултантното действие на приведените е.д.с. през входното съпротивление Zвх на датчика на ток ДТ по контура, представен на фиг. 5 с пунктирна линия.

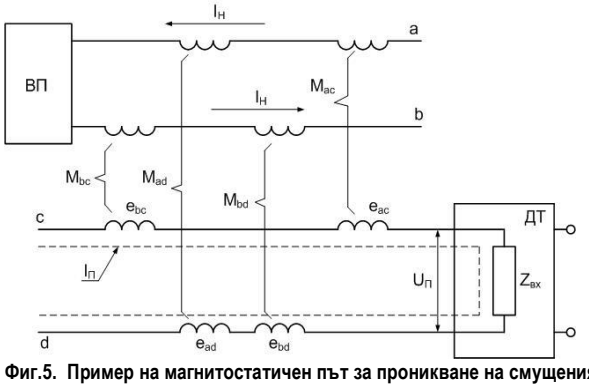
В най-простия случай при строго паралелно взаимно разположение на проводниците a,b,c и d напрежението на смущение на входа на датчика на ток ДТ се определя по израза

$$U_{СМ} = I_H.f.\mu_0.l.l_n.\frac{d_{ad}.d_{bc}}{d_{ac}.d_{ba}}$$

където d_{ad}, d_{bc}, d_{ac}, d_{bd} – разстояния между проводниците за пренасяне на сигнали за управления;

l - дължина на съвместно положените проводници за управление, m;

$\mu_0 = 4\pi.10^{-7}$- магнитна проницаемост във вакум , H/m.



Фиг.5. Пример на магнитостатичен път за проникване на смущения.

В най- общия случай $d_{ad}.d_{bc} \neq d_{ac}.d_{bd}$, поради което на входа на датчика на ток ДТ действа магнитостатичната съставяща на смущенията Uсм. Път за проникване на смущения се явяват линиите с разпределени параметри използвани за пренасяне на управляващи сигнали. За разлика от линиите за връзка в радио и телеграфната техника, в схемите за електрозадвижване веригите за пренасяне на управляващи сигнали между елементите, имат твърде малка дължина, поради което разпределените параметри на линиите за връзка без да се допуска голяма грешка е възможно да се представят като съсредоточени спрямо тези точки в схемата за електрозадвижване, в които се изследват смущенията. Такова представяне значително опростява и прави по-нагледен анализа на системите за електрозадвижване за устойчивост и защита от смущения, а също така дава възможност за експериментално определяне параметрите на основните пътища за проникване на смущения.

Анализ за нивото на ВМП в електрически подстанции

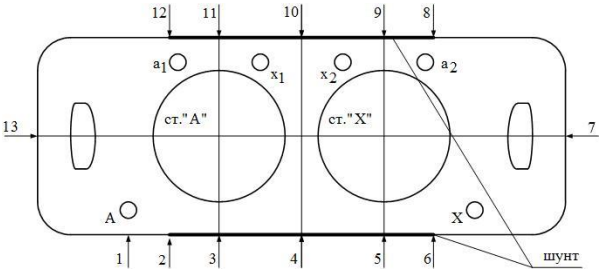
Една от особеностите на съвременните градове е свързана с това, че ЕП се изграждат в близост до жилищните сгради или в самите сгради, т.е. в непосредствена близост до хората. В рамките на проблема за екологичната безопасност се разглеждат комплекс от въпроси относно определяне на влиянието на ВМП на човека и разработването на мероприятия и методи за тяхното намаляване. Обслужващият персонал на ЕО в зависимост от характера на неговата работа или дейност са принудени да се намират продължително време при условия на въздействие на тези ВМП. Продължителното въздействие на ВМП върху човека оказва негативно влияние на неговата психика, води до разстройство на нервната система и сърдечносъдовата система, понижава работоспособността на човека [9]. Научните изследвания по проблемите за ВМП се провеждат във всички развити страни по света в това число в страните от Европа, САЩ, Русия, Япония, Какана, Украйна, България. Като пример ще се посочат действащите норми за нивото на безопасните магнитни полета (БМП) на честотата на електрическата мрежа, която ги създава за различни страни (таблица 1).

Таблица 1

	Държава	Допустима стойност на безопасно магнитно поле
1.	Украйна	1750 μT (0.5)
2.	Русия	100 μT
3.	Европа	100 μT
4.	Великобритания	100 μT
5.	Швеция	0.25 μT

Рязкото понижаване на нормите за безопасност на ВМП е обусловено от изменението на концепцията за формирането на неговите пределно - допустими стойности. Досегашната концепция се изграждаше от условието за понижаване на ВМП до ниво, при което индуктираните от това поле токове в тялото на човека не трябва да превишават "тока на неотпускане". В съответствие с новата концепция ограничаване нивото на ВМП се определя от санитарни норми, при които отсъства вредно действие на магнитното поле на клетката и организма на човека. При тези условия се изменя и подхода към ЕП като източници на ВМП.

За решаване на проблема за електромагнитната съвместимост международната асоциация за защита от излъчвания (IRPA/INICR) е изготвила препоръки за приемане от Европейските страни на допустими и пределно – допустими норми (стойности) за напрегнатост на ВМП в производствени и непроизводствени условия, на основата на които се разработват и националните стандарти. Допустимите стойности на ВМП за различни страни се изменят в широки граници. На фиг.6 са представени точките за измерване напрегнатостта на магнитното поле по периферията на силов трансформатор, а в талица 2 измерените стойности.



Фиг. 6 Точки за измерване интензитета на магнитното поле по периферията на казана на силов трансформатор.

Таблица 2

Резултати от измерване на интензитета на магнитното поле на силов трансформатор тип ОРЦ - 4170000/750-77У1

Номер на точката на измерване	Интензитет на магнитното поле, А/м		
	Фаза А	Фаза Б	Фаза С
1	80	90	90
2	90	90	80
3	80	80	90
4	90	100	80
5	80	80	110
6	70	100	90
7	80	80	90
8	90	100	130
9	130	140	140
10	80	100	80
11	110	90	100
12	80	80	80
13	80	80	80

Осигуряване на електромагнитна съвместимост и намаляване на смущенията от електромагнитни полета

1. Активни методи на екраниране

За реализирането на този метод най-често се използват компенсационни намотки. По тези намотки се осигурява протичането на ток с такава стойност и посока, при която се създава за дадена област на електромагнитно поле, насочено противоположно на електромагнитното поле на смущенията (в противофаза) и да бъдат равни по

стойност. Наслагването на двете полета (компенсационното и полето на смущенията), насочени срещуположно и равни по стойност (амплитуда) дава сумарно поле, близко до нула.

Следва да се отбележи, че компенсационните намотки е възможно да бъдат както индивидуални (на всеки мощен източник), така и групови (на група източници на отделно помещение или на цяла автономна енергоуредба). Като пример за групови компенсационни намотки е възможно да се посочи например, размагнитваща намотка, която обхваща едно помещение, в което е разположено (монтирано) електрообзавеждане и служи за намаляване интензитета на полето до нормативно определена стойност, създавано от феромагнитни маси, съсредоточени вътре в помещението, а също така и от други източници на постоянно магнитно поле.

Методът за понижаване (намаляване) нивото както на постоянни магнитни полета, така и на електромагнитните полета на смущение с помощта на компенсационни намотки се явява метод с висока стойност, изисква големи енергийни разходи, значително тегло и габарити, които не винаги е възможно да бъдат осигурени.

2.Пасивни методи на екраниране

Към пасивните методи на екраниране се отнасят различните видове пасивни екрани-плътни, дискретни (мрежести).

В зависимост от нивото на понижаване (намаляване) на електромагнитното поле на смущенията тези екрани се разделят на

- еднослойни и многослойни;
- концентрични и неконцентрични;
- Многослойни еднотипни (сферични, кръгови цилиндрични и др) и на многослойни неоднотипни (има редуване на цилиндрични и сферични слоеве; на сферични и сфероидални и т.н.)

Екраниращите обвивки се различават и по следните показатели

- Материала, от който са изпълнени;
- Честотните зони на електромагнитните полета на смущения;
- В нискочестотната зона на електромагнитните полета на смущения и полета на постоянни магнити ($f \in [0 \div 10^4]Hz$) се използват феромагнитни материали (електротехническа стомана, феролити и др).
  Във високочестотните зони на ЕМП на смущения (f >108 Hz) се използват проводящи немагнитни материали (алуминий).
  За средночестотни ЕМП на смущения ($10^4 < f < 10^4 Hz$) се използват ферроматнитни материали, които пропускат електрически ток (например магнитно –меки стомани).

Действието на екраниращата обвивка се състои в следното. Приема се, че на екраниращата обвивка, притежаваща електрическа проводимост и магнитна проницаемост, нормално към повърхността пада ЕМП на смущенията с интензитет $\vec{H}_n^{(0)}$

($\vec{n}$ - посока на нормалата към повърхността на екрана).

Под влиянието на $\vec{H}_n^{(0)}$ в материала на екрана се индуктира ЕДС и протича ток.

Под влиянието на тока, индуктиран в екрана, възниква електромагнитно поле (ЕМП), което противодейства на падащото поле. Освен това, за сметка на съществуващата разлика в магнитните проницаемости на екрана μ и на средата μ_0, част от магнитния поток се затваря през стената на екрана (по пътя на най-малкото съпротивление), без да прониква през екрана. За сметка на двете описани въздействия през екрана прониква само част от ЕМП с интензитет $\vec{H}_n^{(1)}$ (по нормалата към повърхността на екрана).

За оценка на ефекта от екранирането се съставя отношението

$$E_H^{(S)} = \frac{\vec{H}_n^{(0)}}{\vec{H}_n^{(1)}} \qquad (1.1)$$

Формула (1.1) показва, колко пъти се намалява интензитета на ЕМП след екрана в сравнение с интензитета на ЕМП, падащо на екраниращата повърхност.

По аналогичен начин се определя и ефективността на екраниране по интензитет на електрическото поле с отношението

$$E_E^{(S)} = \frac{\vec{E}_n^{(0)}}{\vec{E}_n^{(1)}} \qquad (1.2)$$

където $\vec{E}_n^{(1)}$ - интензитет на електрическото поле на ЕМП в равнината на екрана (по нормалата към повърхността на екрана)

С използването на екраниращите обвивки е възможно съществено да се намали интензитета на падащо ЕМП до желани стойности. Всички недостатъци на активните екрани е възможно да се отнесат и към пасивните екрани, а именно висока стойност, голямо тегло и габарити;

3. Намаляване на електромагнитното поле чрез рационално разположение на електрообзавеждането

Този метод се явява по-перспективен, макар и да е по-сложен в аналитично отношение, в сравнение с разгледаните методи в т. 1 и 2 .

Намаляване на ЕМП в зададени зони се постига за сметка на рационалното разположение на електрообзавеждането (ЕО-електрически машини, електрически апарати, трансформатори, токопроводи и др.) едно спрямо друго. За сметка на подходящо разположение на ЕО е възможно да се получи значителна взаимна компенсация на ЕМП.

Особено значение този подход придобива при необходимост от намаляване на ЕМП от няколко източника, намиращи вътре в затворена екраниращa обвивка. За поддържане параметрите на ЕМП в зададени (допустими) стойности чрез използването на активни или пасивни екрани е не винаги възможно поради големите габарити и тегло на последните и поради конструктивно- технологични трудности по тяхното създаване и разположение. Във връзка с това, допълнително към наличната екраниращa обвивка се провеждат мероприятията по разполагане на електрообзавеждането вътре в екраниращото помещение по такъв начин, при който сумарното ЕМП да удовлетворява предварително зададените характеристики и да отговарят на изискванията за електромагнитна съвместимост на електрообзавеждането. За решаването на подобни задачи е необходимо от една страна да се разполага с метод за изчисляване на електромагнитни полета от няколко източници на полета, разположени в границите на екраниращата обвивка и от друга страна, методи за формализация и алгоритми за решаване на оптимизационни задачи за разполагане на електрообзавеждането.

Изясняването на въпросите за оптимално разполагане на източниците на електромагнитни полета (ИЕМП), имащи определени геометрични и енергийни характеристики, имат важно значение за практиката на проектиране на електрообзавеждане. При това търсенето на най-доброто решение за разположението на източниците на ЕМП трябва да се осъществява с отчитане на ограниченията както на характера на ЕМП, така и на местоположението на източника на ЕМП в зададената област.

Следва да се отбележи, че задачата за намаляване на ЕМП чрез рационалното разместване на източниците на ЕМП е малко изследвана и разработвана, а получените резултати имат съществени недостатъци, като например: разположението на източниците на ЕМП е необходимо да се изчисляват на етап проектиране, когато е необходимо да удовлетворяват и голям брой други критерии, свързани с оптималното проектиране.

4. Филтри

Електрическите филтри, построени на базата на комбинацията на капацитивни C, и индуктивни L елементи се използват в електрическите схеми на електронните прибори, линиите за връзка и т.н., които задължително трябва да бъдат защитени от нежелателното проникване на токове с определен честотен диапазон, а също така и за изглаждане на интегралната токова характеристика на електрическата верига. Ако е необходимо да се покрият няколко честотни полюси, то е необходимо включването на каскадни филтри. В редки случаи филтрите се включват във веригата на силовото електрообзавеждане, но поради големите габарити и тегло на този тип филтри, използването им е възможно само в условията на стационарната енергетика.

Литература

1. Быков Ю.М , и др. Помехи в системах с вентилюними преобразувателями. М. Энергоатомиздат, 1986
2. Стоилов И, Джустров К. Висши хармонии в мощни вентилни преобразуватели. Год на МГУ “св. Иван Рилски”, том 53, св. III , 2010 г.
3. EN 50160:2000. Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems.
4. Иванов В. С. И др. Режимы потребления и качества электроэнергии систем электроснабжения промышленых .
5. Лазаров А.И. Електромагнитна съвместимост на средствата за измерване и управление. С., Ту 2004.
6. Иванов Е.Б. Електромагнитна съвместимост . С, 2011
7. Кърцелин Е. Р, Маринова Й. М и др. Електромагнитна съвместимост в електроснабдителните системи на промишлените предприятия. Международна научна конференция “БУЛКАМК-2011”, гр. София
8. Гроднев И. И. Электромагнитное экранирование в широком диапазоне частом, М., Связь, 1972.
9. Анев Г. А. и др. Вредни действия на електричеството и защитата от тях, С., Техника, 1987

ГОДИШНИК на Минно-геоложкия университет "Св. Иван Рилски", Том 55, Св.III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, 2012
ANNUAL of the University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Vol. 55, Part III, Mechanization, electrification and automation in mines, 2012

ОТВОДНЯВАНЕ НА ПОДЗЕМЕН РУДНИК „ ВЪРБА-БАТАНЦИ"

Румен Исталиянов [1], Петко Кюмурков[2], Юли Желев[2], Таньо Минчев[2]

[1] Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail rgi@mgu.bg
[2] „ИНСТИТУТ ПО СТРОИТЕЛСТВО И МИННО ДЕЛО" – АД

РЕЗЮМЕ: В статията са представени резултатите от проектирането на водоотливната уредба за отводняване на подземен рудник „ Върба-Батанци"

DRAINAGE OF UNDERGROUND MINE "VARBA-BATANTSI"

Rumen Istalianov[1], Petko Kumourkov[2], Juli Zhelev[2], Tanyo Minchev[2]
[1]University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Sofia, Republic of Bulgaria, E-mail rgi@mgu.bg
[2]"INSTITUTE OF CONSTRUCTION AND MINING" – AD, Sofia, Republic of Bulgaria

ABSTRACT: The article presents results from the design to the water drainage system of underground mine "Varba-Batantsi"

Кратки сведения за развитие на добивните дейности на находището.

Находище „Върба" е открито за добив през 1952 година и работи до 1999 година след което следва затваряне на рудника. През времето на експлоатация са добити 3363,4 х.т. руда. През 1968 г. шахтата пропада и добива е преустановен. Шахтата е запълнена с баластров материал и е прокарана отново.

Находище „Батанци" е открито през 1962 год. и е в експлоатация до 1999 година, като през годините на експлоатация са добити 1620,2 х.т. руда. Двете находища са обединени в един рудник през 1995 г. През 2007 година е извършен частичен ремонт на шахтата от к. 960 до хор.740. Сменени са дървените водачи и са закрепени пропаднали участъци по шахтата.

Двете находища са свързани хидравлично на хор. 590. Находище „Върба" е наводнено от хор.540 до хор.740. Находище „Батанци" е наводнено от хор 590 до хор. 740. Изчисленията направени на база иззетите под хор. 740 пространства показват, че те са 727 292 m^3 за находище „Върба" и 448 024 m^3 за находище „Батанци". Общо за двете находища отработените пространства са 1 175 316 m^3. Като се вземе предвид обема обрушовки и евентуално „изтичане" на част от запълващия материал /прилаган при системата със запълване на иззетото пространство/, може да се допусне че обема вода акумулиран в двете находища е около 1 милион m^3.

Водопритокък на двете находища е в пряка зависимост от валежите на повърхността,тъй като същите имат големи площи засегнати от обрушаване и напукване на параментите на жилата. Терциерния комплекс на конгломерато-брекчите действува като събирателна чаша и при проливни дъждове водопритока се увеличава многократно,като това се отразява до 10 дни след спиране на валежите. Поради пропуски по заустване на обрушовките и късане на отводнителните съоръжения на повърхността, р-к „Върба" е наводняван многократно през годините на експлоатация. Замереният водоприток на изхода на травербана Рудозем-Върба е 40l/s към 24.01.2012 г. и 70 l/s към 15.03.2012 г.

Отводняването на находището е една от най-важните задачи които трябва да се решат за да започнат нормалните добивни работи. Едва след това може да се даде задоволителна оценка за състоянието на шахтата, рудичните дворовете и подготвителните изработки. Възможно е в следствие на продължителното наводняване на участъците, част от запълващият материал да е „изтекъл" и затлачил добивните блокове на хор 540. Всичко това може да доведе до допълнителни разходи, които ще направят експлоатацията им не ефективна. След отводняването може да се започне зачистване на руддвора и полевата галерия на хор.590 /свързваща участък Батанци/, като се осигури транспортна и вентилационна връзка с разкриващата наклонена галерия от площадка „Хаджийски дол".

Основни технически решения

Приема се че отводняването на находището ще се извърши през съществуващата шахта Върба -1. В идейна фаза бяха разгледани и други варианти , но само варианта на отводняване през Върба-1 дава възможност за едновременно пропускане на няколко мощни високопроизводителни помпи при което срока на отводняване е 4-5 месеца.

Определяне на мощността на помпите

Изборът на помпа е направен възоснова на дълбочината на рудника и необходимия дебит.

Ще се използват многостъпални потопяеми помпи тип SP-215-8 на фирмата Grundfos със следните показатели:

-- производителност - 200 m³/h;
-- напор – 215 m;
-- брой на стъпалата – 8;
-- мощност на двигателя – 147 kW;
-- тегло – 680 kg;
-- диаметър на помпата без кожуха – 241 mm;
-- диаметър на помпата с кожуха – 500 mm.

Ще бъдат доставени 4 бр. помпи , като три ще бъдат включени в работа , а една в резерв.

Кабелна линия

Сечението на кабелната линия се определя по:

- допустимо-токово натоварване

$$I_{доп} \geq I_{н},$$

където $I_н$ е номинален ток, А; $I_{доп}$ - допустимият ток на проводника или кабела За един консуматор – помпа с мощност 147 kW номиналния ток е 315 А.

Избирам кабел NYCY 3X120 mm² с $I_{доп}$**=328 А**.
(ПБТ изисква задължително използване на брониран или екраниран кабел)

- загуба на напрежение

Максималната загуба на напрежение в трифазна линия се определя с израза:

$$\Delta U = \frac{\sum_{i=1}^{n} I_i.(P_{м.i}.r_i + Q_{м.i}.x_i).100}{U^2},\%$$

където $P_{м.i}$ и $Q_{м.i}$ са максималните активни и реактивни товари в ***i***-тия участък, kW и kVAr;
l_i е дължината на *i*-тия участък на линията, km;
r_i и x_i са активното и реактивното съпротивление за променлив ток за единица дължина на ***i***-тия участък, Ω/km;
U е напрежението на линията, V.

При дължина на кабелната линия от разпределителното табло до помпата 250 m се получава загуба на напрежение 9%. Поради тази причина избираме следващо сечение, което да отговаря на това изискване при допустима загуба на напрежение не по голяма от 5%.
На това условие отговаря сечение 185 mm². със следните параметри r_i = 0,1 Ω/km и x_i= *0,06* Ω/km.

Избор на апаратура за управление и защита

Условията на който трябва да отговаря апаратурата са:

$U_{н.а} \geq U_{н.мр}$
$I_{н.а} \geq I_н$;
$I_{изкл} \geq I_{к.с.макс}$.

където $U_{н.а}$ и $U_{н.мр}$ - номиналните напрежения съответно на автоматичния прекъсвач и на електрическата мрежа, V;
$I_{н.а}$ - номиналният ток на автоматичния прекъсвач, А;
$I_{м30}$;- номиналния ток на консуматора, А;
$I_{изкл}$ - токът на късо съединение, който може да изключи автоматичния прекъсвач (изключвателна способност), кА;
$I_{к.с.макс}$.- възможният максимален ток на късо съединение, който се определя за мястото на включване на автомата, кА.

Избирам автоматичен прекъсвач тип Compact NB400 3p 3d MX (с независим работен изключвател) със следните характеристики:

$U_{н.а}$**= 500 V**
$I_н$ **;= 400 А**
$I_{изкл}$**=18 кА**
$I_{мтз}$ **;= 4000 А**

Препоръката на фирмата производител за избор на защита от претоварване е за електронна защита тип MP 204. Същата се доставя и с комплект токови трансформатори 500/5 А, и готова (фирмена) настройка за защита на определен тип помпа.

За осъществявяне на нулева защита избирам контактори тип LC1-F225 за продължителен ток (в режим AC-1) 315 А .

За захранване на помпите ще се използват наличните 2 бр. (на кота 790) трансформатори 6/0,4 kV с мощност 400 kVA тип ТСВП с характеристики показани в табл.1:

Таблица 1
Характеристики на трансформатор тип ТСВП 400/6/0,4

$S_н$, **kVA**	400
$U_{н.тр1}$, **kV**	6±5%
$U_{н.тр2}$, **V**	690
$U_{к.с.}$, **%**	3,5
$I_{пр.х.}$, **%**	2,2
$P_{к.с.}$, **W**	3600
$P_{пр.х.}$, **W**	2070

Избираните по условията на нормален режим сечения на токопроводящите жила в кабела се проверяват и по условието на пускане на най-мощен и отдалечен двигател. Целта на проверката е да установи, дали в момента на пускането ще бъде осигурено достатъчно напрежение, за да може той да се развърти, а едновременно с това дали напрежението при отделните пускатели ще бъде в допустими граници ***(0,6-0,75)*** $U_н$, за да не се изключат останалите електродвигатели в периода на пускането. Проверката се извършва в случаите, когато мощността на електродвигателя е съизмерима с мощността на захранващия трансформатор (до ***1:4***). При голям брой консуматори, с малка мощност спрямо трансформатора, такава проверка не е необходима.

За захранване на два броя помпи отношението на мощност на помпа към мощност на трансформатор е приблизително 1:2,5 и тази проверка е задължителна.

Проверката ще се извършва в следния ред:

- излиза се от условието за допустим минимален пусков момент, който трябва да развива двигателят в момента на пускане при понижено напрежение. Минималното допустимо напрежение при пускане на електродвигателя е:

$$U_{п.min} = U_н\sqrt{\frac{K_{мин}}{K}} = 380.\sqrt{\frac{0,6}{2,0}} = 209 \text{ V};$$

където $K_{мин} = \frac{M_{п.мин}}{M_н}$ - минимална кратност на пусковия момент – за помпи $K_{мин} = 0,6$;

$K = \frac{M_п}{M_н}$ - кратност на минималния пусков момент на електродвигателя (от техническата характеристика на двигателя $K=2$)

Загубата на напрежение в гъвкавия кабел при пускане на най-мощния двигател при нормална работа на останалите двигатели се определя по израза:

$$\Delta U_{п.г.к} = \frac{\sqrt{3}.I_{п.дв}.L.K_{г.к}.\cos\varphi_{п.дв}}{\gamma.f} =$$

$$= \frac{\sqrt{3}.6,2.315.250.1,1.0,45}{53.185} = 43 \text{ V}$$

където: $I_{п.дв}$ - пусков ток на електродвигателя, А:
$k_п$ – кратност на пусковия ток ($k_п=6,2$)
$\cos\varphi_{п.дв}$ – факторът на мощността на двигателя при пускането (отчита се от техническата характеристика на двигателя $\cos\varphi_{п.дв} = 0,45$)).
$k_{г.к.}$ – коефициент отчитащ провисването на кабела, $k_{г.к.}=1,1$

Факторът на мощността на трансформатора при пускането е:

$$\cos\varphi_{п.ф.к} = \frac{(I_{р.тр} - I_{р.дв}).\cos\varphi_{р.тр} + I_{п.дв}.\cos\varphi_{п.дв}}{I_{п.тр.}} =$$

$$= \frac{(630 - 315).0,85 + 6,2.315.0,45}{2088} = 0,51$$

Токът на трансформатора при пускането е:

$$I_{п.тр} = \sqrt{\left[(I_{тр} - I_{р.дв})\cos\varphi_{тр} + (I_{п.дв}.\cos\varphi_{п.дв})\right]^2 + \left[(I_{тр} - I_{р.дв})\sin\varphi_{тр} + (I_{п.дв}\sin\varphi_{п.дв})\right]^2} =$$

$$= \sqrt{\left[(630 - 315).0,85 + 6,2.315.0,45\right]^2 + \left[(630 - 315).0,53 + 6,2.315.0,89\right]^2} = 2088 \text{ A}$$

- относителната стойност на активната загуба на напрежение във вторичната намотка на трансформатора-

$$\Delta U_а\% = \frac{P_{кс}.100}{1000.S_{н.тр}} = \frac{3600.100}{1000.400} = 0,9\%$$

- относителна стойност на реактивната загуба на напрежение

$$\Delta U_г\% = \sqrt{\Delta U^2_{кс}\% - \Delta U^2_а\%} = \sqrt{3,5^2 - 0,9^2} = 3,38\%$$

Относителната загуба на напрежение във вторичната намотка на трансформатора при пускане:

$$\Delta U_{п.тр}\% = \frac{I_{п.тр}}{I_{н.тр}}\left(\Delta U_а\%.\cos\varphi_{п.тр} + \Delta U_г.\sin\varphi_{п.тр}\right) =$$

$$= \frac{2088}{577}\left(0,9.0,51 + 3,38.0,86\right) = 12,1\%$$

Загубата на напрежение в трансформатора в абсолютни единици е:

$$\Delta U_{п.тр} = \frac{U_{н2тр}\Delta U_{тр}\%}{100} = \frac{400.12,1}{100} = 48,4 \text{ V}.$$

Допустимата загуба на напрежение в мрежата при пускане е:

$$\Delta U_{п.доп} = U_{п.тр} - U_{п.мин} \geq \Delta U_{п.тр} + \Delta U_{п.г.к}$$

$$\Delta U_{п.доп.} = 400 - 209 = 191 \geq 48,4 + 43 = 91,4 \text{ V}$$

За да не се изключват контакторните бобини на магнитните пускатели на останалите консуматори е необходимо да бъде спазено условието:

$$U_{н2тр} - \Delta U_{п.тр} = 400 - 48,4 =$$

$$= 351,6 \geq (0,6 \div 0,75)U_н = 0,75.380 = 285 \text{ V}$$

От направената проверка се установява, че това условие е изпълнено.

В горните формули са използвани следните означения:
$\cos\varphi_{п.тр}$ – факторът на мощността при пускане.
$I_{тр.к}$ - токът на трансформатора при нормален режим
$\cos\varphi_{тр.к}$ – факторът на мощността на трансформатора при нормален режим

Оразмеряване на тръбопровода

Вътрешния диаметър на тръбопровода се определя от производителността на помпата. За свеждане на загубите от налягане до целесъобразни стойностти скоростта на водата в тръбопровода се ограничава. За рудни рудници скоростта не трябва да надвишава 1,5-2,2 m/s.

$$D = \sqrt{\frac{4.Q_н}{3600.\pi.V}} = \sqrt{\frac{4.200}{3600.3,14.2}} = 0,19 \text{ , m}$$

където $Q_н$ номинална производителност m^3/h
V - скорост на движение на водата m/s

Определяне дебелината на стената на тръбопровода

Като използваме практически установената зависимост за дебелината на стената на тръбопровода се получава:

$$\delta = \frac{p_{max.раб}.D}{203} = \frac{3,5.0,19}{203} = 0,0033 \text{ m}$$

където $p_{max.раб}$ максималното работно налягане в тръбопровода в MPa

Избираме стандартна безшевна тръба с дължина 6 m , дебелина на стената 6 mm с диаметър 245 mm.

Характеристика на тръбопровода

Характеристиката на тръбопровода се построява като използваме уравнението:

$$H_{мр} = H_г + R_{тр}.Q^2 =$$

$$= H_г + \left[\frac{k_т.6,375.10^{-9}}{D^4_{вътр}}.\left(\lambda.\frac{L}{D_{вътр}} + \sum_1^n \xi_i + 1\right)\right].Q^2 =$$

$$= 200 + \left[\frac{1,1.6,375.10^{-9}}{0,238^4}.\left(0,032.\frac{250}{0,238} + 28 + 1\right)\right].Q^2 =$$

$$= 200 + 0,0001244.Q^2 \quad ,h^2 / m^5$$

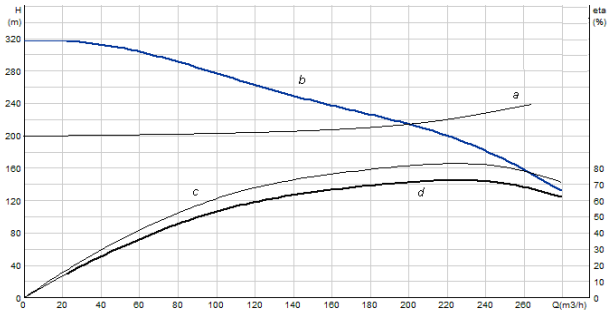
където L - дължина на тръбопровода;
λ - коефициент на линейно (хидравлично) съпротивление;
k_m коефициент отчитащ загубите от отлагане и полепване на механични частици по стените на тръбопровода;
ξ - коефициенти на съпротивление на арматурата и фасонните елементи (местни съпротивления).

В таблица 2 са показани коефициенти на съпротивление на арматурата и фасонните елементи

Таблица 2
Коефициенти на съпротивление на арматурата и фасонните елементи

Вид арматура	Стойност на ξ	брой
Смукателна решетка	7	1
Конусен преходник	1,3	2
Ъглови колена (45°)	0,15	3
Закръглени колена (90°)	0,25	2
Спирателен кран	0,25	1
Обратен клапан	14	1
Тройник (в отклонение)	1	2
Изход на тръбопровод	1	1

На фиг. 1 е показана характеристиките на тръбопровода и помпа тип SP-215-8



фиг. 1 характеристики на тръбопровода и помпа тип SP-215-8
a- характеристика на тръбопровода
b- характеристика помпа
c и d –зависимости на к.п.д. от дебита

Време за отводняване

Определяне продължителността на отводняване

Очакваният водоприток към началото на отводняване е около 50 l./s. или 180 m³./h

Акумулираните води в двата участъка „Върба" и „Батанци" е около 1 000 000 m³.

Отводняването ще се извърши от хор. 740 до хор. 540 т.е. участък с височина 200 m.

$$T = \frac{K.Q}{n.Q_н - q_в} = \frac{1,3.1000000}{3.200 - 200} = 3250 \text{ часа}$$

където Q – акумулирани води – m³;
n -- брой на помпите;
$Q_н$ – дебит на помпите – m³/h;
$q_в$ – дебит на водопритока – m³/h;
k—коефициент на неравномерност на водоотлива = 1,3

Очакван брой дни за отводняване при 24 часов режим на работа – ***3250:24 = 135 дни***

При нормална работа на водоотливната уредба отводняването може да се извърши за ***4,5*** месеца.

Литература

1. Исталиянов Р.Г., Повишаване енергийната ефективност на помпени уредби в минната промишленост, Дисерт. за получаване на образ. и научна степен „Доктор", 2010 г.,
2. Цветанов Цв., Руднични вентилаторни и водоотливни уредби, София, Авангард Прима, 2005.
3. Правилник по безопасността на труда при разработване на рудни и нерудни находища по подземен начин (В-01-02-04), Д.И. "Техника", София, 1971.
4. Нормативи и правила за технологично проектиране на подземни рудници Д.И "Техника", София, 1980
5. Наредба № 3 за устройството на електрическите уредби и електропроводните линии, обнародвана в ДВ, бр. 90 и 91 от 2004 г.

ГОДИШНИК на Минно-геоложкия университет "Св. Иван Рилски", Том 55, Св.III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, 2012
ANNUAL of the University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Vol. 55, Part III, Mechanization, electrification and automation in mines, 2012

ИЗИСКВАНИЯ КЪМ УПРАВЛЕНИЕТО НА НАНОТЕХНОЛОГИИ В ЕЛЕКТРОНИКАТА

Мила Илиева[1]

[1]Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, e-mail milailieva@abv.bg

РЕЗЮМЕ. В тази статия се синтезират изискванията на участниците в управлението на нанотехнологии в електрониката в рамките на един университет. За целта се прилага теорията на множествата. Изискванията към управлението се класифицират от гледна точка на: студент (дипломант), асистент (докторант), доцент (професор) и администратор на базата данни. Съществуващите модели дефинират специфични функции по функционални области, а тук се моделират функции за управление от високо ниво. Функциите са представени като случаи на използване на информационната система.

REQUIREMENTS TO ELECTRONICS NANOTECHNOLOGY MANAGEMENT

Mila Ilieva[1]

[1]Mining and Geology University "St. Iv. Rilski", 1700, Sofia, e-mail milailieva@abv.bg

ABSTRACT. In this paper are synthesized the requirements of actors in electronics nanotechnology management in an university. For this reason the theory of multitudes is applied. The management requirements are classified from the point of view of: student(graduate), assistant (PhD), professor and database manager. The current models define specific management functions in functional areas; here are modeled high level management functions. The functions are represented as information system use cases.

Въведение

Нанатехнология е област от приложните науки, която покрива широк диапазан от теми, като основните са контрол над веществото и създаване на устройства, съизмерими с размера на молекулите. Наноматериалите притежават характерни химико-физични свойства. Учените използват тези свойства за създаване на нови устройства и технологии. За тази цел трябва да има информационна система, която предоставя достъп до най-новите разработки.

Методология

Условията на работа на системата за управление на нанотехнологии в университет се определят от няколко вида действащи лица: студент (дипломант), асистент (докторант), доцент (професор) и администратор на базата данни(Ернандес, 2007; Date, 2000; Hector, 2002). Администраторът на базата дани управлява цялата система и достъпа до нея. Доцентът (професорът) управлява нанотехнологиите и има изисквания към администратора за предоставяне на ресурси – софтуер и хардуер. Асистентът (докторантът) има изисквания към доцента (професора) за предоставяне на нанотехнологии и възможности за управление. За да се използват възможностите на информационната система, асистентът (докторантът) трябва да има достъп до ресурсите. Студентът (дипломантът) има изисквания към ассистента. Той също трябва да има достъп до информационната система. За всяко действащо лице трябва да се синтезират услуги за управление. Изискванията на действащите лица към съответната услуга за управление се синтезират чрез теорията на множествата. На базата на изискванията на участниците се дефинират функции за управление, като се прилага унифициран език за моделиране – UML (Фаулър, 2004).

Диаграмите в UML са класифицирани в две категории:

- Диаграми на поведение
- Диаграми на структура

От диаграмите на поведение най-често се прилага диаграмата на случаи на използване. **Случай на използване** е техника за определяне на функционалните изисквания на една система. Случаите на употреба описват типичните взаимодействия между потребителите на системата и самата нея, предоставяйки описание на начина, по който тя се използва.

От диаграмите на структура най-често се прилага диаграмата на класове обекти.

Тук за синтезиране на функциите, предоставени на действащите лица, се използват диаграми на случаи на използване. Взаимодействията между случаите на използване са «include» (съдържа) и „extend" (разширява).

Функционалните области за управление на информационни системи са: инсталиране, предоставяне, конфигурация, защита, поддържане, технически характеристики, таксуване и потребителски контрол (Magedanz, 1994).

Резултати

Множествата с изискванията на действащите лица се означават както следва:

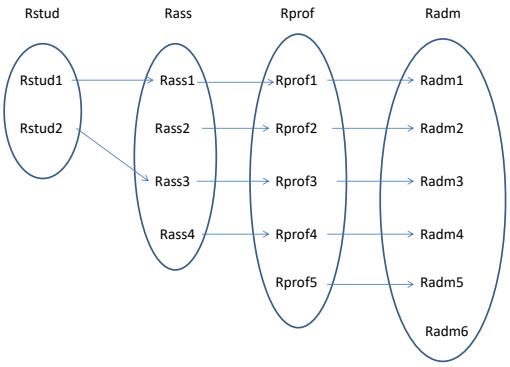
- R – множество с изисквания към цялата система;
- Radm – множество с изисквания на администратора на базата данни;
- Rprof – множество с изисквания на доцента (професора);
- Rass – множество с изисквания на асистента (докторанта);
- Rstud – множество с изисквания на студента (дипломанта).

Тогава според теорията на типовете може да се напише:

$R = Radm \cup Rprof \cup Rass \cup Rstud$ и

$Rstud \subset Rass \subset Rprof \subset Radm$

Между множествата с изисквания на участниците съществува инекция:



Фиг. 1: Инекция между елементите на множества Rstud, Rass, Rprof и Radm

Конкретните изисквания към управлението на информационната система са:

- Rstud – *изисквания на студента (дипломанта) към управлението на системата:*
  - Rstud1 – *Изисквания за визуализация на управлението;* Реализират се чрез функции за управление на профил на студент (дипломант);
  - Rstud2 – *Изисквания за взаимодействие на функционалните области на системата;* Реализират се чрез взаимодействие на функциите за управление на студент (дипломант);
- Rass – *изисквания на асистента (докторанта) към управлението на системата:*
  - Rass1 - *Изисквания за визуализация на управлението;* Реализират се чрез функции за управление на профил на асистент (докторант);
  - Rass2 – *Изисквания за взаимодействия с подчинени участници – студенти (дипломанти);*
  - Rass3 – *Изисквания за взаимодействие на функционалните области на системата;* Реализират се чрез взаимодействие на функциите за управление на асистент (докторант);
  - Rass4 – *Изисквания за взаимодействия между ниво управление на нанотехнологии и ниво управление на ресурси;* Реализират се чрез взаимодействие между функциите за управление на нанотехнологии, предоставени на асистент (докторант), и функциите за управление на ресурси, предоставени на администратора на базата данни;
- Rprof – *изисквания на доцента (професора) към управлението на системата:*
  - Rprof1 – *Изисквания за визуализация на управлението;* Реализират се чрез функции за управление на профил на доцент (професор);
  - Rprof2 – *Изисквания за взаимодействия с подчинени участници – асистенти (докторанти);* Реализират се чрез взаимодействие между функция за управление на профил на доцент (професор) и функция за управление на профил на асистент (докторант);
  - Rprof3 – *Изисквания за взаимодействие на функционалните области на системата;* Реализират се чрез взаимадействие на функциите за управление на доцент (професор);
  - Rprof4 – *Изисквания за взаимодействие между ниво управление на нанотехнологии и ниво управление на ресурси (хардуер);* Реализират се чрез взаимодействие между функциите за управление на нанотехнологии, предоставени на доцент (професор), и функциите за управление на ресурси, предоставени на администратора на базата данни;
  - Rprof5 – *Изисквания за взаимодействия между ниво управление на нанотехнологии и ниво управление на определен ресурс (софтуер);* Реализират се чрез функциите за управление на нанотехнологии, предоставени на доцент (професор), и функциите за управление на ресурси, предоставени на администратора на базата данни;
- Radm – *Изисквания на администратора на базата данни към управлението на системата:*
  - Radm1 – *Изисквания за визуализация на управлението;* Реализират се чрез функции за управление на профил на администратор на базата данни;
  - Radm2 – *Изисквания за взаимодействия с подчинени участници – доцент (професор);* Реализират се чрез взаимодействие между функция за управление на профил на администратор на база данни и функция за управление на профил на доцент (професор);
  - Radm3 – *Изисквания за взаимодействие на функционалните области на системата;* Реализират се чрез взаимодействие на функциите за управление на системата;

- Radm4 – *Изисквания за взаимодействия между ниво управление на ниво хардуерни ресурси и ниво управление на софтуерни ресурси;* Реализират се чрез взаимодействие между функциите за управление на хардуер за нанотехнологии и функциите за управление на хардуер изобщо;
- Radm5 – *Изисквания за взаимодействия между ниво управление на хардуер и ниво хардуер;* Реализират се чрез взаимодействие между функциите за управление на хардуер и функции, представящи определен хардуер;
- Radm6 – *Изисквания за визуализация на управлението на хардуер за нанотехнологии;* Реализира се чрез функция за конфигурация на хардуер за нанотехнологии.

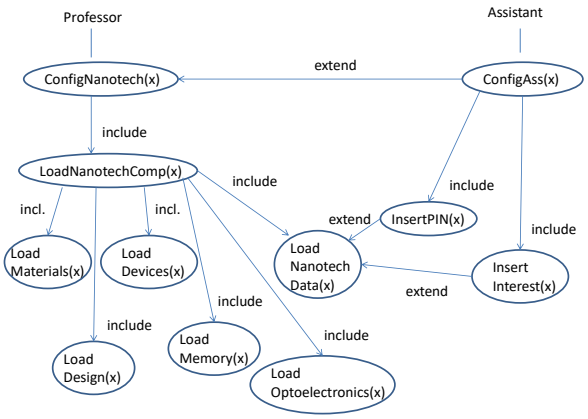
Дискусия

Синтезираните изисквания на участниците в управлението се трансформират във функции за управление. Всяка функция се представя като случай на използване, свързан с функционална област. Разработени са случаи на използване за функционални области Защита и Конфигурация. На **фигура 2** са показании случаи на използване за функционална област Конфигурация на нанотехнологии. Участниците са професор и асистент.

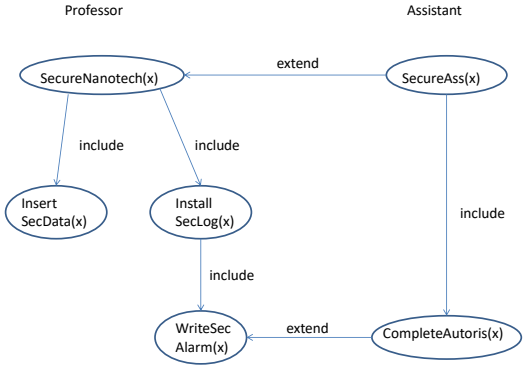
На професора са предоставени следните функции:
Функцията **ConfigNanotech(x)** служи за конфигуриране на нанотехнологиите.
Функцията **LoadNanotechComp(x)** служи за зареждане на компонент на нанотехнологиите в хардуера.
Функцията **LoadMaterials(x)** служи за зареждане на компонент Материали.
Функцията **LoadDesign(x)** служи за зареждане на компонент Технологии за производство.
Функцията **LoadDevices(x)** служи за зареждане на компонент Елементи.
Функцияна **LoadMemory(x)** служи за зареждане на компонент Памети.
Функцията **LoadOptoelectronics(x)** служи за зареждане на компонент Оптоелектроника.
Функцията **LoadNanotechData(x)** служи за зареждане на данни за нанотехнологиите.
На асистента са предоставени следните функции:
Функцията **ConfigAss(x)** служи за конфигуриране на асистента.
Функцията **InsertPIN(x)** служи за въвеждане на идентификационният код на асистента.
Функцията **InsertInterest(x)** служи за въвеждане на желана област от нанотехнологиите.

На **фигура 3** са показани случаи на използване за функционална област Защита на нанотехнологии. Участниците са професор и асистент.

На професора са предоставени следните функции:
Функцията **SecureNanotech(x)** служи за защита на нанотехнологиите.
Функцията **InsertSecData(x)** служи за въвеждане на данни за защита на нанотехнологиите.
Функцията **InstallSecLog(x)** служи за инсталиране на журнал за защита на нанотехнологиите.
Функцията **WriteSecAlarm(x)** служи за записване на аларми за защита в журнала.
На асистента са предоставени следните функции:
Функцията **SecureAss(x)** служи за защита на асистента.
Функцията **CompleteAutoris(x)** служи за оторизиране на асистента.



Фиг.2: UML диаграма на случаи на използване на Конфигурация на нанотехнологии



Фиг. 3: UML диаграма на случаи на използване на Защита на нанотехнологии

Изводи

В статията са синтезирани изисквания към управлението на нанотехнологии, съответстващи на отговорностите на всяко действащо лице: студент (дипломант), асистент (докторант), доцент (професор) и администратор на базата данни. Въз основа на изискванията към управлението са моделирани функции за управление от високо ниво. Въз основа на тези функции ще се моделират управлявани обекти с конкретни данни.

Литература

[1] Ернандес, Майкъл Х., *"Проектиране на бази от данни",* СофтПрес ООД, 2007
[2] Фаулър, М., *«UML. Основи»,* СофтПрес ООД, 2004г.
[3] Date, J. C., *"An Introduction to Database Systems",* Addison Wesley Longman, Inc., 2000

[4] Magedanz, T., *"In integrated management model for intelligent networks"*, Munchen, Wien: Oldenburg, 1994
[5] Hector Garcia-Molina, Jeffrey D. Ullman, Jennifer Widom, *"Database Systems: The complete book",* Prentice Hall, Inc., 2002

МОЛЕКУЛЯРНИ ЕЛЕКТРОННИ КЛЮЧОВЕ – МОЛЕКУЛЯРЕН СВЕТОДИОД

***Мила Илиева*[1]**

[1]Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, e-mail milailieva@abv.bg

РЕЗЮМЕ.Статията представя един вид молекулярен електронен ключ – молекулярен светодиод. Описва се методология, при която p-n преходът се заменя с органична молекула. Показва се структурата на молекулата, представят се графично етапите на производство и волт-амперните характеристики при различни условия. Дискутират се предизвикателствата пред технологиите за производство и предимствата на молекулярните светодиоди. Представя се следващата стъпка – гъвкави молекулярни светодиоди.

MOLECULAR ELECTRONIC SWITCHES – MOLECULAR LED

***Mila Ilieva*[1]**

[1]Mining and Geology University "St. Iv. Rilski", 1700, Sofia, e-mail milailieva@abv.bg

ABSTRACT. The paper represents a kind of electronic molecular switches – molecular LED. Described is a methodology, in which the p-n junction is replaced with organic molecule. The structure of the molecule is shown. The steps of manufacturing and volt-ampere characteristics are graphically designed. Discussed are the challenges before manufacturing technology, the advances of molecular LED and the next step: flexible molecular LED.

Въведение

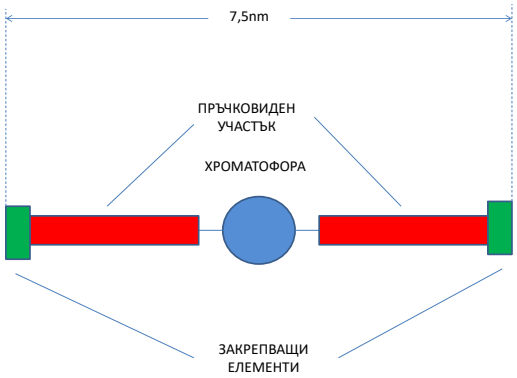
Електронният ключ е елемент, който има две състояния: включен или изключен, затворен или отворен, свързан или несвързан. Вид електронен ключ е светодиодът. Той се изработва от p-n преход с примеси, които променят забранената зона на полупроводника. Когато диодът е включен в права посока, електроните рекомбинират с дупките, реализирайки енергия под формата на фотони. Този ефект се нарича електролуминисценция. Цветът на светлината съответства на енергията на фотона и се определя от забранената зона.

Методология

Поради желанието за миниатюризация p-n преходът от полупроводници се заменя от органична молекула (Bardsley, 2004; Burroughes et al., 1990; MIT, 2011). Тя е проводима поради делокализацията на pi-електрони, предизвикана от конюгацията им върху цялата молекула или върху част от нея. Следователно молекулата функционира като органичен полупроводник. Тя може да бъде в кристална фаза или полимер.

Резултати

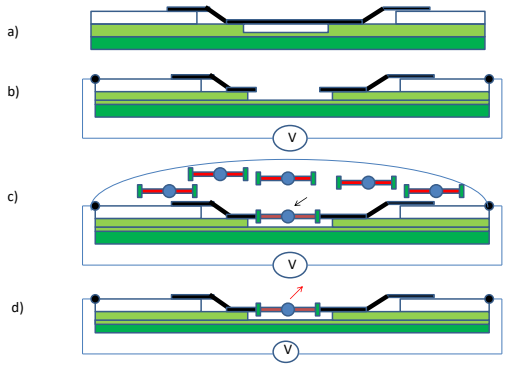
Една пръчковидна органична молекула е поставена между два електрода от метална едностенна въглеродна нанотръба (Christoph et al., 2010). **Фигура 1** показва структура на органична молекула, която се състои от хроматофора, разположена в центъра, две пръчковидни области и закрепващи елементи.



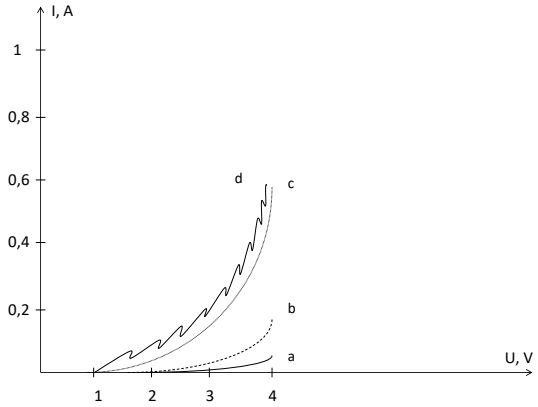
Фиг. 1: Структура на органична молекула: хроматофора, пръчковидни области и закрепващи елементи

Фигура 2 показва етапите на производство на елемента: a) диелектрофоретично нанасяне на метална нанотръба върху паладиеви електроди и силициев двуокис (SiO_2), b) електрическо въздействие във висок вакуум прекъсва нанотръбата, c) диелектрофоретично поставяне на поляризирана молекула от разтвор между двете нанотръби и формиране на преход нанотръба-молекула-нанотръба, d) излъчване на светлина от молекулата под напрежение.

Волт-амперната характеристика изразява напрежението, предизвикващо електролуминисценция. На **фигура 3** са показани волт-амперните характеристики на: a) една цяла въглеродна нанотръба, b) същата нанотръба след прекъсването ѝ, c) формирания преход нанотръба-молекула-нанотръба, d) производната на последната волт-амперна характеристика dI/dV.



Фиг. 2: Етапи на производството на молекулярен светодиод



Фиг.а 3: Волт-амперни характеристики на етапите на производство на молекулярен светодиод

Дискусия

Основното предизвикателство е да се интегрира един низшестоящ обект (молекула) в една висшестояща структура (електроди) и да се осъществи контрол върху критичните размери. Освен това електронните и оптичните свойства на молекулата и на електродите въглеродни нанотръби трябва да се проектират така, че да бъдат възможни транспорт на електрони и излъчване на светлина.

Потенциалните предимства на органичните светодиоди включват висок контраст, цветова гама, ниско управляващо напрежение и широк ъгъл на изгледа. Възможно приложение е евтин тънък дисплей. Този дисплей се използва за направата на преносими електронни устройства като клетъчни телефони, цифрови камери и MP3 плейъри, а възможната бъдеща употреба включва осветление и телевизия.

Гъвкавите органични светодиоди излъчват светлина поради електролуминисценцията на тънък филм органичен полупроводник, дебел приблизително 100nm. Конвенционалните органични светодиоди обикновено се произвеждат върху стъклена подложка, но чрез заместване на стъклото с гъвкава пластмаса като полиетилен терефталат(Gustaffson et al., 1992) органичният светодиод може да се направи огъваем и лек. Такива материали не са подходящи за елементи с неорганични полупроводници поради необходимостта от съответствие с кристалната решетка и високата температура на производствената технология(Burrows et al., 1997). За разлика от тях гъвкавите светодиоди могат да се произвеждат чрез нанасяне на органичен слой върху подложката, като се използва метод, заимстван от мастилено струйното принтиране (Bharathan et al., 1998; Hebner et al., 1998), позволяващо производство на нескъпа и огъваема печатна електроника.

Изводи

Тези резултати предлагат ново характеризиране на електронните ключове – на конвенционални и молекулярни и демонстрират потенциала на въглеродните нанотръби за прилагане в молекулярната електроника.

Литература

[1] Bardsley, J N (2004). "International OLED technology roadmap". *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics* **10** (1): 3–9. DOI:10.1109/JSTQE.2004.824077

[2] Bharathan, Jayesh; Yang, Yang (1998). "Polymer electroluminescent devices processed by inkjet printing: I. Polymer light-emitting logo". *Applied Physics Letters* **72**: 2660. Bibcode 1998ApPhL..72.2660B. DOI:10.1063/1.121090

[3] Burroughes, J H; Bradley, D D C; Brown, A R; Marks, R N; Friend, R H; Burns, P L; Holmes, A B; Holmes, A. B. (1990). "Light-emitting diodes based on conjugated polymers". *Nature* **347** (6293): 539–541. Bibcode 1990Natur.347..539B. DOI:10.1038/347539a0

[4] Burrows, P. E.; Gu, G.; Bulovic, V.; Shen, Z.; Forrest, S. R.; Thompson, M. E. (1997). "Achieving full-color organic light-emitting devices for lightweight, flat-panel displays". *IEEE Transactions on Electron Devices* **44**: 1188–1203. DOI:10.1109/16.605453

[5] Christoph W. Marquardt, Sergio Grunder, Alfred Baszczyk, Simone Dehm, Frank Hennrich, Hilbert v. Löhneysen, Marcel Mayor, Ralph Krupke, "Electroluminescence from a single nanotube–molecule–nanotube junction", *Nature Nanotechnology,* 2010, Volume: 5, Pages: 863–867

[6] Gustafsson, G.; Cao, Y.; Treacy, G. M.; Klavetter, F.; Colaneri, N.; Heeger, A. J. (1992). "Flexible light-emitting diodes made from soluble conducting polymers". *Nature* **357** (6378): 477. Bibcode 1992Natur.357..477G. DOI:10.1038/357477a0.

[7] Hebner, T. R.; Wu, C. C.; Marcy, D.; Lu, M. H.; Sturm, J. C. (1998). "Ink-jet printing of doped polymers for organic light emitting devices". *Applied Physics Letters* **72**: 519. Bibcode 1998ApPhL..72..519H. DOI:10.1063/1.120807.

[8] "Inventor of Long-Lasting, Low-Heat Light Source Awarded $500,00 Lemelson-MIT Prize for Invention". Massachusetts Institute of Technology. Washington, D.C.. April 21, 2004. http://web.mit.edu/invent/n-pressreleases/n-press-04LMP.html. Retrieved December 21, 2011

ВЪЗМОЖНОСТ ЗА ПОВИШАВАНЕ ЕФЕКТИВНОСТТА НА МАГНИТНИЯ ШУНТ

Тодор Върбев[1] ,Андрей Козаров[2]

[1]Минно-геоложки университет „Св.Ив.Рилски",София 1700, vat1955@abv.bg
[2]Минно-геоложки университет „Св.Ив.Рилски",София 1700

РЕЗЮМЕ: В статията се изследва теоритично една възможност за повишаване на ефективността на подвижен магнитен шунт използван в понижаващ трансформатор за ниско напрежение.

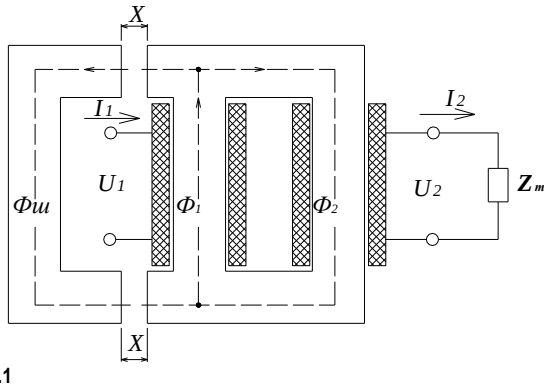
A POSSIBILITY TO INCREASE THE EFECTIVENESS OF A MAGNETIC SHUNT

Todor Varbev[1] Andrei Kozarov[2]
University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski',1700 Sofia,vat1955@abv.bg

ABSTRACT: The paper investigates theoretically one possibility to increase the effectiveness of a mobile magnetic shunt which is used in a step-down transformer for low voltage.

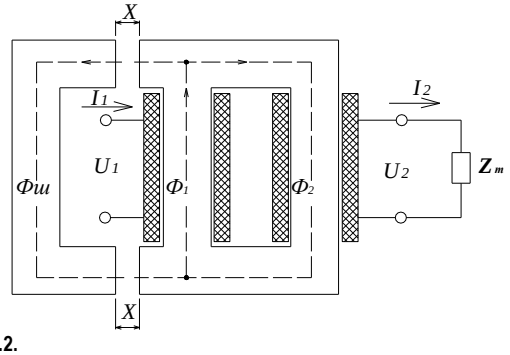
За захранване на електрически консуматори с ниско напрежение най-често се използват понижаващи трансформатори. Напрежението на вторичната страна на трансформато- рите се променя , както от изменението на товара, така и при отклонение на захранващото напрежение на първичната им страна. Върху напрежение на трансформатора оказва влияние и мястото му на захранване от разпределителната мрежа /по-близо или по-далеч от силовия трансформатор/ За нормално захранване на електрическите консуматори е необходимо неизменно напрежение/променящосе в определени граници/. За тази цел се използват различни по конструкция стабилизатори /електромагнитни ,електронни/.При електромагнитните стабилизатори един от начините за стабилизиране на изходното напрежение е чрез използването на подвижен магнитен шунт [1,2]. В [2] са показани различните възможности , които може да има едно такова устройство принципната схема на което е показана нафиг.1.

Една от възможностите е магнитният шунт да бъде използван ,като максималнотокова защита. В [3] е направен анализ на работата му в този режим. В [2] са изведени изрази, който дават зависимостта между изходящото напрежение U_2 от променливото разстояние x при различни товари, активен и индуктивен. От тях се вижда, че напрежението на вторичната намотка при $x = 0$ ще намалее значително спрямо $U_{2н}$, но не е равно на нула.Магнитното съпротивление на шунтиращата магнитна верига е от порядъка на $R_{мш}$.Към него трябва да се добави и магнит ното съпротивление на неизбежните въздушни междини , които съществуват между магнитния шунт и шунтираната магнитна верига. При това положение $Ф_ш$ теоритично ще бъде равен на половината от основния магнитен поток. Това ограничава възможностите за регулиране на магнитния поток чрез шунтиране.



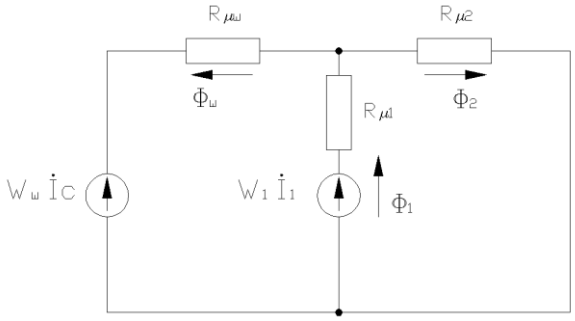
фиг.1

Един от начините за повишаване на възмож нос-тите на шунта е показан на фиг.2. Върху магнитния шунт е навита допълнителна намотка w_c и към нея е свързан кондензатор C .



фиг.2.

На фиг.3 е показана заместваща схема при допрян магнитен шунт, $x = 0$ и при условие ,че загубите в магнитопроводите и разсейването са пренебрегнати.Пренебрегвасе и токовата реакция на тока I_2 ,което е допустимо при чисто активен товар , включен към w_2 .



Фиг.3

За схемата на Фиг.3 магат да се напишат следните уравнения,

$$\dot{\Phi}_1 = \dot{\Phi}_2 + \dot{\Phi}_ш \qquad /1/$$

$$w_1 \dot{I}_1 - w_ш \dot{I}_c = \dot{\Phi}_1 R_{м1} + \dot{\Phi}_ш R_{мш} \qquad /2/$$

$$w_1 \dot{I}_1 = \dot{\Phi}_1 R_{м1} + \dot{\Phi}_2 R_{м2} \qquad /3/$$

$$\dot{I}_c = j\omega C . j\omega w_ш \dot{\Phi}_ш = -\omega^2 w_ш C \dot{\Phi}_ш \qquad /4/$$

След заместване на уравнения /3/ и /4/ в /2/ получаваме израза ,

$$R_{м2} \dot{\Phi}_2 = / R_{мш} - \omega^2 {w_ш}^2 C / \dot{\Phi}_ш$$

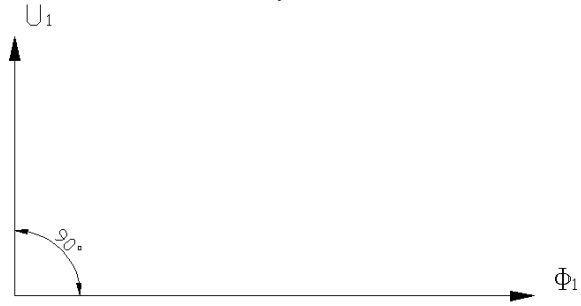
От тук за $\dot{\Phi}_2$ получаваме,

$$\dot{\Phi}_2 = \frac{/ R_{мш} - \omega^2 {w_ш}^2 C /}{R_{м2}} \dot{\Phi}_ш \qquad /5/$$

От получената зависимост се вижда ,че при зададена стойност на $\dot{\Phi}_1$,магнитния поток $\dot{\Phi}_2$ може да се нулира или дори да смени посоката си ,при подходящо подбрани стойности на $w_ш, C$ и $R_{мш}$.

Например ако $R_{мш} = \omega^2 {w_ш}^2 C$,то $\dot{\Phi}_2$ ще бъде равно на нула а $\dot{\Phi}_ш = \dot{\Phi}_1$, уравнение /1/

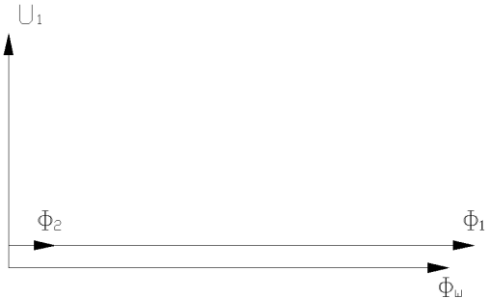
За илюстрация на казаното по-горе с помоща на векторни диаграми ще разгледаме няколко случая при допрян до основния магнитопровод магнитен щунт.На следващата фигура са показани векторите на напрежението U_1 ,основния магнитен поток $\dot{\Phi}_1$ и ъгъла на дефазиране между тях.От формула /5/ разликата $R_{мш} - \omega_ш^2 {w_ш}^2 C = R_{мшобщо}$ ще означим като общо съпротивление на магнитния шунт.



Фиг.4

В режим на празен ход, когато $R_m = \infty$ са възможни следните случаи

а/ Нека $\omega^2 {w_ш}^2 C < R_{мшобщо}$.Ако приемем ,че $R_{мшобщо} = 0.1 R_{м2}$ след заместване във формула /5/ ще получим за $\dot{\Phi}_2 = 0.1 \dot{\Phi}_ш$.След заместване в /1/ за $\dot{\Phi}_ш$ ще получим $\dot{\Phi}_ш = \frac{10}{11} \dot{\Phi}_1$ Това е показано на фиг.5.

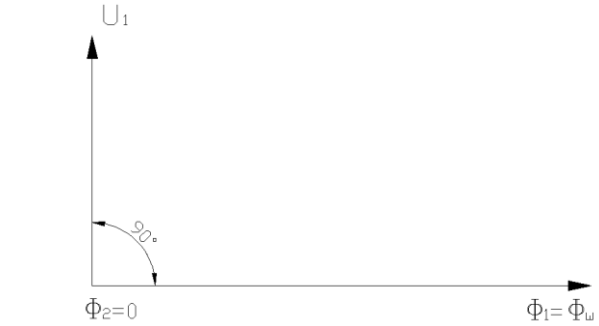


Фиг.5

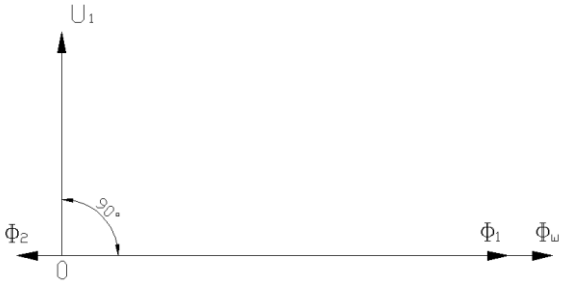
б/ Нека $\omega^2 {w_ш}^2 C = R_{мшобщо}$,то $R_{мшобщо} = 0$ а същотака и $\dot{\Phi}_2 = 0$.Следователно $\dot{\Phi}_1 = \dot{\Phi}_ш$.

Тогава напрежението на вторичната страна U_2 ще бъде равно на нула а векторната диаграма ще има вида показан на фиг.6.

в/ Ако $\omega^2 {w_ш}^2 C > R_{мшобщо}$,то $R_{мшобщо} < 0$ а $\dot{\Phi}_2$ ще има стойност различна от нула ,но ще има посока обратна на потоците $\dot{\Phi}_1$ и $\dot{\Phi}_ш$.Векторната диаграма ще има вида показан на фиг.7



Фиг.6



фиг.7

г/ Възможен е и следния случай.

Ако $\omega^2 w_ш{}^2 C > R_{мш}$ но $\left| \; R_{мшобщо} \; \right\| \to R_{м2}$.

Тогава за резултантното магнитно съпротивление между паралелно свързаните $R_{мшобщо}$ и $R_{м2}$ получаваме, че клони към ∞,

$$R_{мш2} = \frac{R_{мшобща} R_{м2}}{R_{мшобщо} + R_{м2}} \to \infty$$

Намагнитващия ток през w_1 нараства много а също така нарастват и потоците $\dot{\Phi}_2$ и. $\dot{\Phi}_ш$. На практика такъв режим може да се получи поради влиянието на пренебрегнатите фактори.

Изводи

1.От разгледаните случаи се вижда ,че при подходящи стойности на $w_ш$ и C напрежението на вторичната страна на на трансформатора може да бъде понижено значително. То може да бъде и равно на нула.

2.Това дава възможност без изключване на първичното захранващо напрежение да се работи по мрежата на вторичната страна на захранващият трансформатор.

Литература

1.Бонев С.Г.,Малки и специални трансформатори, С. Техника,1977г.
2.Козаров А.С,Т.А.Върбев,Възможност за подобряване на захранването на осветителния товар в подземните рудници,Минно дело и геология,бр.8,2004г.
3.Върбев Т.А, А. Козаров, Възможност за използване на трансформатор с магнитен шунт като максимално-токова защита.Годишник на МГУ"Св.Ив.Рилски

АНАЛИЗ НА ПРИЧИНИТЕ ЗА ПРЕГРЯВАНЕ НА ГЛАВНИЯ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ДВИГАТЕЛ НА ЕДНОКОФОВ БАГЕР "HITACHI" В РУДНИК "ЕЛАЦИТЕ"

Кирил Джустров

Минно-геоложки университет "Св. Ив. Рилски", 1700 София e-mail: justrov@mgu.bg

РЕЗЮМЕ: Направен е анализ на евентуални причини за прегряване на главният електрически двигател на еднокофов багер "Hitachi" с инв. №10 в рудник "Елаците".

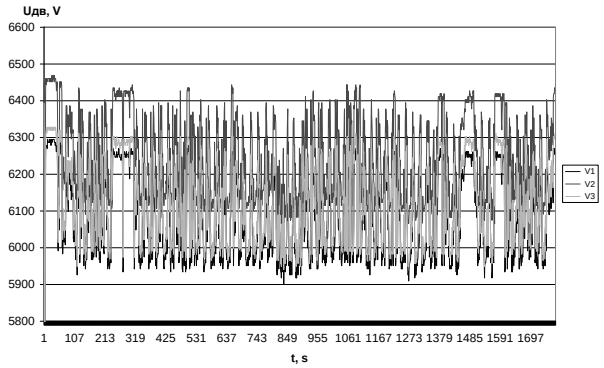
ANALYSIS OF THE CAUSES OF OVERHEATING OF THE MAIN ELECTRICAL MOTOR OF SINGLE-BUCKET EXCAVATOR "HITACHI" IN "ELLATZITE" MINE

Kiril Dzhustrov
University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia e-mail: justrov@mgu.bg

ABSTRACT. An analysis of possible causes for overheating of main electrical motor of single-bucket excavator "Hitachi" № 10 in "Ellatzite" mine.

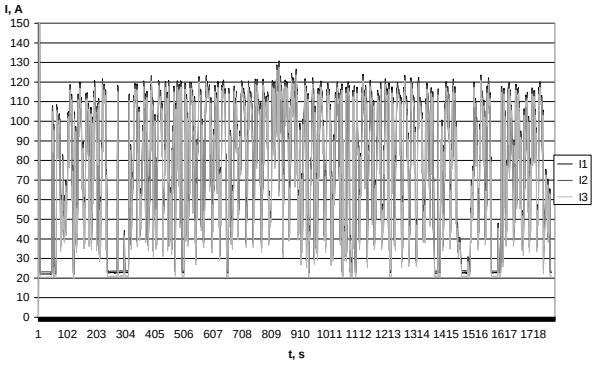
През летните месеци е забелязано прегряване на главният електрически двигател на еднокофов багер "Hitachi" с инв. №10 в рудник "Елаците", което води до сработване на топлинната му защита. В рудника работи още един багер от същия тип (с инв. №13), при който липсват проблеми в експлоатацията му. Серийното производство на багерите е за номинално напрежение 6600V, но конкретните двигатели са произведени за 6000V. Главният двигател задвижва хидравлични помпи, които от своя страна задвижват основните работни механизми на багера.

За анализ на причината, предизвикваща прегряването на багер №10 са измерени натоварванията на двигателите на двата багера в продължение на около 30 min за всеки, като с честота на запис 1s са снети трите фазни тока и напрежения.

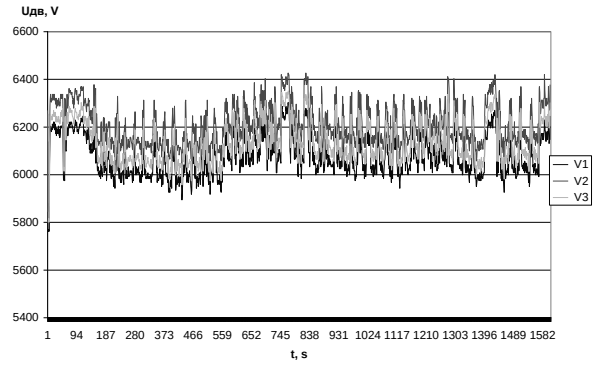


Фиг. 1. Напрежения на багер №10

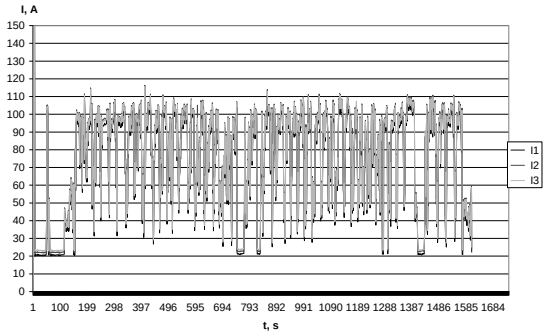
На фиг. 1 и фиг. 2 са дадени изменението на напреженията и съответно токовете на багер № 10, а на фиг. 3 и фиг. 4 – за багер № 13.



Фиг. 2. Фазни токове на багер №10



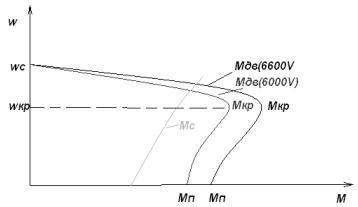
Фиг. 3. Напрежения на багер №13



Фиг. 4. Фазни токове на багер №13

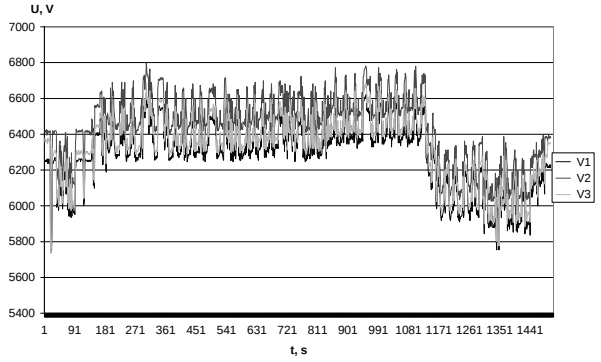
От направените измервания се вижда, че токът на празен ход на двигателите е приблизително еднакъв – около 21А за багер № 10 и около 22А за багер №13. Максимално регистрираните токове са съответно 130А за багер № 10 и 115,5А за багер № 13. Преобладаващите максимални стойности на токовете са: 120А за багер 10 и 108А за багер №13. Цитираните стойности са моментни и макар и надвишаващи номиналния ток на двигателите не са определящи за отделената топлина в двигателите. Меродавен за загубите в двигателя, респективно отделената топлина е еквивалентния (среднокрадратичен ток) на двигателя. За измервания период от време на багер № 10 той е в порядъка на 81,5÷84,1А (за отделните фази) и 75,6÷78,3А за багер №13. Ако се приеме, че двигателите са еднакви (по което може да се съди по табелките им) и активното съпротивление им е еднакво, то е видно, че отделеното количество топлина в багер №10 е с 13,32% по-голямо от отделената топлина в двигателя на багер №13. Въпреки това, еквивалентния ток на двигателя е значително по-малък от номиналния им (99А), което предполага, че при равни други условия температурата им няма да надвиши допустимата за двигателя.

От фиг. 1 и фиг. 3 е видно, че напрежението на клемите на двигателя е близко до номиналните 6000V. Както е известно моментът на двигателя е пропорционален на квадратът на захранващото напрежение. В случая, то е приблизително еднакво за двата двигателя, което означава, че те ще работят приблизително на една и съща точка от механичната характеристика (при еднакъв съпротивителен момент на двата агрегата), следователно и с еднакъв ток (по електро-механичната характеристика). За двигателя на багер № 10 този ток е с 11-12% по-голям, което може да се обясни с някоя от следните възможности: По-голям съпротивителен момент на багер №10 или по-малък момент на двигателя на същия багер. От фиг. 1 и фиг.3 е видно, че втората причина се изключва. Ако се допусне, че номиналното напрежение на двигателя на багер №10 е по-високо (напр. 6600V), то втората причина добива реален смисъл (фиг. 5).

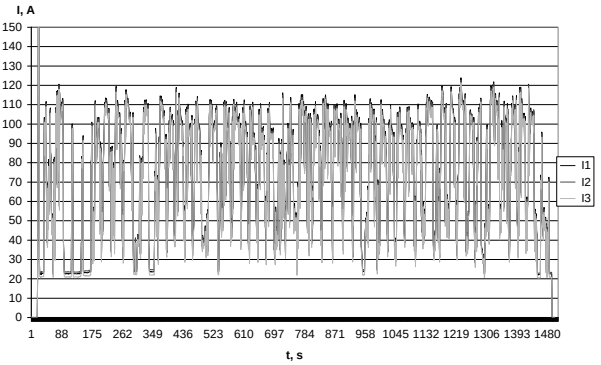


Фиг. 5. Механична характеристика на двигателя при различни захранващи напрежения

Направен е запис на токовете, напрежението и мощността на двигателя на багер Hitachi с инв. № 10 при повишено напрежение (до 6,6кV) от извода в подстанцията.



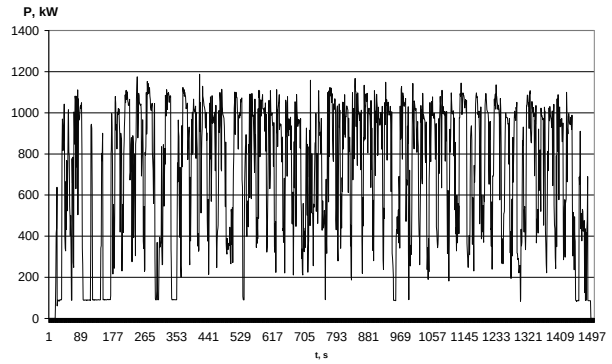
Фиг. 6. Напрежения на двигателя на багер Hitachi №10 при различни напрежения от подстанцията



Фиг. 7. Изменение на фазните токове на двигателя на багер № 10 при промяна на напрежението

От фиг. 6 и фиг. 7 е видно, че при повишаване на напрежението, черпеният от двигателя ток намалява. Така например за времето от 945-та до 1130-та секунда (максимално напрежение и пълен цикъл на товарене на самосвал) трите средни линейни напрежения са: 6440V; 6600V; 6490V. Средноквадратичните токове са между 77,4 до 79,8 А. Върховите стойности на тока са около 108 А, т.е. както при багер №13. От двете фигури се доказва, че с повишаване на напрежението на клемите на двигателя до 6600V, токовете ще бъдат подобни на тези на двигателя на багер Hitachi с инв. № 13 (78А), т.е. отделеното количество топлина и съответно прегряванията на двата двигателя ще бъдат съизмерими при равно активно съпротивление на двигателите. Тези измервания показват, че по всяка вероятност двата двигателя са за различно номинално напрежение. Не е изключена възможността двигателят на багер Hitachi с инв. № 10 да е конструиран за по-висока мрежова честота (напр. 60Hz). В този случай при честота 50Hz механичната му характеристика ще се транслира надолу, с по-малък момент и увеличен ток за запазване на необходимата механична мощност.

На фиг. 8 е дадена черпената от мрежата мощност на двигателя на багер Hitachi с инв. № 10 при изменение на напрежението. Видно е, че тя не зависи от големината на захранващото напрежение. Максималните мощности достигат до около 1100kW, а средната мощност е 713kW. Имайки в предвид, че и средноквадратичните токове не надвишават номиналния, възникват и други три теории:

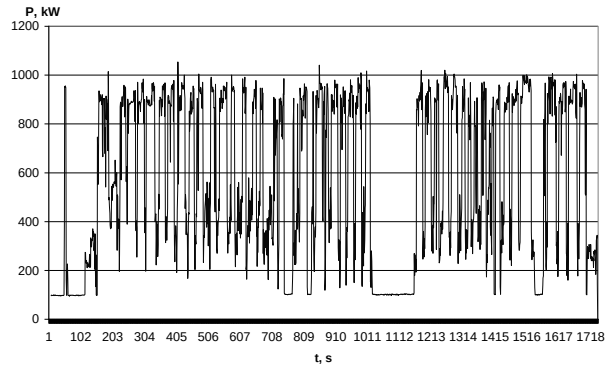


Фиг. 8. Консумирана от мрежата мощност на двигател на Hitachi №10

1. Двигателят не е предназначен за продължителен режим на работа R1, а например за повторно-кратковременен режим R4;

2. Недостатъчно охлаждане на двигателя;

3. По-висока допустима температура за двигателя, от обявената от производителя 130° C (отговаряща на клас на изолацията B). Обикновено двигателите се произвеждат с клас на изолацията F ($T_{доп}$=155°C) или H ($T_{доп}$=180°C). Експлоатационният живот на двигателите зависи от достиганите температури. Нормално е максимално достиганите температури да бъдат с около 15°C по-ниски от допустимите, при което живота на машината се запазва. С това може и да се обясни работата на двигателя в продължение на повече от 2 години, без изключвания. По всяка вероятност оригиналният аналогов елемент на температурната защита е бил настроен на по-висока температура.



Фиг. 9. Консумирана от мрежата мощност на двигател на Hitachi №13

На фиг. 9 е показана консумираната от мрежата мощност на двигателя на багер Hitachi с инв. № 13. Съпоставяйки я с тази на фиг. 8 се вижда, че е значително по-ниска от тази на багер №10. Максималните стойности не надвишават 1000 kW, а средната стойност между 200-та и 1000-та секунда е 605 kW. Видно е, че багер №13 работи при по-лек режим от багер №10. Това може да се дължи на някоя от следните две причини:

1. По-голямо натоварване на багер №10, следствие по-голям съпротивителен момент на хидравличните помпи;

2. По-голямо относително тегло на скалата по която работи багер №10.

Измерени са пълните съпротивления на намотките на двигателите по метода на волтамперметъра с променливо напрежение. Измерването е направено на изходящия кабел за двигателите. Поради това получените резултати са за двойки намотки при свързване в звезда. За багер № 10 е измерено и активното съпротивление на намотките, както и индуктивността им.

Таблица 1

Намотки	За изчисление на пълното съпротивление		Индуктивност, H	Изчислено пълно съпротивление, Ω	Активно съпротивление, Ω
	U, V	I, A			
№ 10					
I-II	247	11,70	48,5 . 10^{-3}	21,1	1,049
II-III	247	11,57	50,7 . 10^{-3}	21,3	1,042
I-III	247	11,80	50,7 . 10^{-3}	20,9	1,045
№ 13					
I-II	248	7,13		34,8	
II-III	248	7,50		33,1	
I-III	248	7,48		33,2	

Поради невъзможността за измерване на отделните намотки самостоятелно, стойностите на съпротивленията за отделните двойки намотки да се разглеждат по-скоро качествено, а не количествено (така напр. при свързване в звезда протичащият променлив ток за определяне на пълното съпротивление ще създава намагнитващо поле в едната намотка и размагнитващо в другата). Измереното активно съпротивление на намотките е само за статора и не е прибавено приведеното активно съпротивление на ротора. Въпреки това, те дават представа за качеството на двигателя. Те са приблизително равни и са в границите на допустимите грешки. Това е предпоставка да се твърди, че намотките са симетрични и няма междувитково късо съединение. Голямата разлика обаче в пълното съпротивлението на двата двигателя е смущаващо и може да се дължи на някой от следните фактори: разлика в конструкцията на двата двигателя; разлика в номиналните им захранващи напрежения; разлика в свързването на намотките (здезда-триъгълник). Не е изключена и друга причина.

За ориентировъчно изчисление на прегряването на двигателя са изчислени стойностите на активните съпротивления на двигателите по заводски данни за различни номинални напрежения, по формулите:

$$R_1 = \frac{U_н.(1-\eta_н)}{\sqrt{3}.k_{сх}.I_н}; \quad \Delta P_{ном1} = 3.I_н^2.R_1 \quad \Delta P_{ном2} = \frac{P_н.s_н.10^3}{1-s_н}$$

$$R_{дв} = \frac{\Delta P_{ном1} + \Delta P_{ном2}}{3.I_н^2},$$

където: $k_{сх}$ – коеф. на схемата, за звезда е равен на 1
$\Delta P_{ном1}$ – загубите на мощност в статора
$\Delta P_{ном2}$ – загубите на мощност в ротора
$s_н$ – номиналното хлъзгане

Прилагайки закона за отделеното количество топлина

$Q = I^2.R.t$

и опростеното уравнение на топлинния баланс

$S.\alpha.\theta = I^2.R$,

където: S – охлаждаща повърхност на двигателя
α – коефициент на топлоотдаване
$\theta = t_{дв} - t_{ос}$ - прегряване на двигателя
$t_{дв}$ – температура на двигателя
$t_{ос}$ – температура на околната среда

за варианти на двигатели и захранващи напрежения, се получават резултати, обобщени в следната таблица:

Таблица 2

	Багер № 13	Багер № 10			
величина	Uн=6kV, Uмр=6kV	Uн=6kV, Uмр=6kV	Uн=6kV, Uмр=6,6kV	Uн=6,6kV, Uмр=6,6kV	Uн=6,6kV, Uмр=6kV
1	2	3	4	5	6
съпротивление на двигателя Rдв, Ω	1,785	1,785	1,785	2,078	2,078
средноквадратичен ток Iск, A	78	84	78	78	84
отделено количество топлина Q, J	$39{,}1.10^6$	$45{,}3.10^6$	$39{,}1.10^6$	$45{,}5.10^6$	$52{,}8.10^6$
1) прегряване $\theta = t_{дв} - t_{ос}$, °C	100	116	100	116,4	135

Забележка: 1) – тъй като S и α на двигателя не са известни се полага, че за багер № 13 прегряването е например 100 °C и се преизчислява за двигателя на багер № 10. В този смисъл изчисленото прегряване дава само качествена оценка с цитираните числа, но лесно може да даде прегряването в относителни единици.

От резултатите в таблицата може да се обобщи следният съществен извод: По-ниското захранващо напрежение от номиналното за двигателя, води до по-голямо отделено количество топлина и съответно по-голямо прегряване.

Ако действително номиналното напрежение на двигателя е за 6,6kV, то увеличението на мрежовото напрежение до 6,6kV отделеното количество топлина, респективно прегряването на двигателя, в сравнение с двигател с Uн = 6kV и захранван с Uмр = 6kV (кол. 3 и 5 на табл.2), но ще доведе до по-ниско с 13,8% прегряване двигател за 6,6 kV, захранван с напрежение 6kV (кол. 5 и 6 на табл.2).

От направеният анализ може да се направят следните изводи:

1. От измереното пълно съпротивление на двата двигателя е вероятно те да са различни по конструкция, начин на свързване, захранващо напрежение и/или честота;

2. От измерените мощности може да се стигне до заключението, че багер №10 е в по-тежък режим от багер №13. Най-вероятно това се дължи на увеличен съпротивителен момент от хидравличните помпи (поради износване или друг дефект). И в двата случая средната мощност е по-малка от номиналната, което е допустимо за двигателите.

3. Увеличението на захранващото напрежение на багер №10 ще облекчи топлинно двигателя ако той е произведен за Uн = 6000V (кол. 4 на табл.2) и ще достигне температурите на багер №13.

4. Ако номиналното напрежение на двигателя е Uн = 6600V и се захрани с по-ниско напрежение (напр. 6000V), то отделената топлина и респективно прегряване ще бъде с 35% по-високо от това на багер № 13. Съдейки по достиганите температури от двата двигателя, може да се предположи, че случая е именно този. В същото време, ако се увеличи захранващото му напрежение до номиналното (до 6600V напр. с автотрансформатор), ще се намали прегряването с 13,8%.

5. В зависимост от класа на изолацията на намотките на двигателя, може да се увеличи настройката на температурната защита, без това да доведе до съществено скъсяване на експлоатационния живот на двигателя.

6. Категорично може да се твърди, че липсва вътрешна електрическа повреда в двигателя на багер №10.

Литература

1. Основы теории электрических аппаратов, под ред. Буткевича, “Высшая школа”, М, 1970
2. Джустров К., Отчет по задача “Измерване на електрически пареаметри”, 2010г., Архив МГУ “Инженеринг

ГОДИШНИК на Минно-геоложкия университет "Св. Иван Рилски", Том 55, Св.III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, 2012
ANNUAL of the University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Vol. 55, Part III, Mechanization, electrification and automation in mines, 2012

ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА ЕКРАНИРАЩИЯ ЕФЕКТ НА ПЛОСКИ ЕКРАНИ

***Йоана Маринова*[1]**

[1] Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700, София

РЕЗЮМЕ: Представена е методика за изчисляване на електромагнитен екран за намаляване интензивността на електромагнитните смущения.

CALCULATION OF ELECTROMAGNETIC SCREENS

***Joana Marinova*[1]**

1 University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski" , 1700 Sofia

ABSTRACT. Methodology for calculating electromagnetic screen to reduce the intensity of electromagnetic interference.

Въведение.

Електрообзавеждането (ЕО) на една електроенергийна система (ЕЕС), което включва различни видове електрически машини и електромагнитни апарати за променлив и постоянен ток, кабели с различно предназначение и сечение, разпределителни табла и устройства и др. се явява източник на електромагнитни полета (ЕМП). Тези ЕМП се разпространяват в околното пространство и оказват влияние на работата на високочувствителни елементи към различните видове автоматични устройства, на електропроводни линии за пренасяне на информация, на устройствата за релейна защита и противоаварийна автоматика, на електронно -изчислителни комплекси и телекомуникационни системи, а също така и на обслужващия персонал. Тези електромагнитни полета пораждат изключително остър проблем и задача за решаване, а именно: осигуряване на електромагнитна съвместимост (ЕМС) на всички електротехнически средства, които работят в границите на определено пространство, за осигуряване на електромагнитна екология (ЕМЕ) за човека и околната среда.

За осигуряване на електромагнитната съвместимост и електромагнитната екология в границите на даден обект (електроцентрала, подстанция, открита разпределителна уредба, електропровод, жилищен блок, административна сграда и др) е необходимо теоретично да се обосноват и експериментално да се докаже практическата приложимост на методи за решаването на определени задачи.

За спазване на санитарно-хигиенните норми и осигуряване работоспособност на различни видове електротехнически устройства, чувствителни към влиянието на външни електромагнитни полета е необходимо решаването на следните задачи:

1. Определяне напрегнатостта на електрическото E и на магнитното H поле или плътността на енергийния поток S в определена точка от околното пространство.

2. Определяне на коефициента на намаляване интензивността на електромагнитното поле при зададено разстояние между източника на ЕМП и определена точка от околното пространство (в която се намира човек или чувствително на въздействието на ЕМП техническото средство).

3. Определяне на необходимото разстояние, между източник на ЕМП и определена точка от околното пространство, в която може да се намира човек или чувствително на ЕМП техническо средство.

Поставените задачи изключително много се усложняват, когато в дадена точка от околното пространство на даден обект трябва да се определя интензивността на резултантното електромагнитно поле, което се явява сума от действието на електромагнитните полета на няколко източника.

Един от най-ефективните методи за намаляване на интензивността на ЕМП се явява екранирането.

В доклада е представен метод за изчисляването на екраниращия ефект плосък екран за намаляване интензивността на електромагнитното поле.

Метод за изчисляване на екраниращия ефект на плоски екрани.

За оценка качествата на екрана се използва понятието ефективност на екранирането [4]. Тази ефективност определя отношението на напрегнатостта на полето в произволна точка от дадено защитавано пространство при

отсъствието на екран към напрегнатостта на полето в същата точка при наличието на екран.

$$E_E = \frac{E_o}{E_{ек}} = \frac{E_{om}}{E_{ekm}}; \qquad E_H = \frac{H_0}{H_{ек}} = \frac{H_{om}}{H_{ekm}}, \qquad (2)$$

където E_E, E_H – ефективност на екранирането при действието на електрическо и магнитно поле;

E_o, H_o, E_{om}, H_{om} – ефективни стойности и амплитуди на напрегнатостта на електрическото и магнитното поле в разглежданата точка от пространството при отсъствие на екран;

$E_{ек}$, $H_{ек}$, E_{ekm}, H_{ekm} - ефективни и амплитудни стойности на напрегнатостта на електрическото и магнитно поле след екрана в същата точка.

Ефективността на екранирането зависи от размера и формата на екрана, дебелината и електрическите свойства на материала, от които е произведен, а също така и наличието на отвори с различна форма.

За решаване на поставената задача се разглежда плосък плътен неферомагнитен екран, върху които електромагнитните вълни падат нормално към повърхността му.

Разглежда се падането на плоска електромагнитна вълна върху екран с дебелина d. На фиг.1 е представен схематично безкраен проводящ плосък екран с комплексно вълново съпротивление на материала Z_2, разположен във въздушна среда с вълново съпротивление $Z_1=Z_3=Z_0$. На екрана е показана посоката на падане на електромагнитната вълна върху екрана.

Приемат се следните означения:

H_{mS1} – максимална стойност на напрегнатостта на магнитното поле, което преминава през повърхността 1 на екрана;

H_{mS2} - максимална стойност на напрегнатостта на магнитното поле на противоположната страна на екрана (повърхност 2), които има дебелина d.

Приема се, че H_{mS1} и H_{mS2} са комплексни стойности на амплитудите на напрегнатостта на тези полета. Съгласно резултатите, получени в [3], за отношението на комплесните амплитуди е в сила израза

$$\frac{\dot{H}_{mS1}}{\dot{H}_{mS2}} = \frac{Z_2 + Z_3}{2Z_2}.\left(e^{\alpha d} - M_1.M_2.e^{-\alpha d}\right), \qquad (2)$$

където $M_1 = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$ - комплексен коефициент на отразяване от повърхността 1 на екрана;

$M_2 = \frac{Z_2 - Z_3}{Z_2 + Z_3}$ - комплексен коефициент на отразяване от повърхността 2;

$Z_1 = Z_3 = Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} = 377\Omega$ - вълново съпротивление във вакуум (въздух);

$Z_2 = (1+j).\sqrt{\frac{\omega.\mu}{2.\gamma}}$ - вълново съпротивление на екрана;

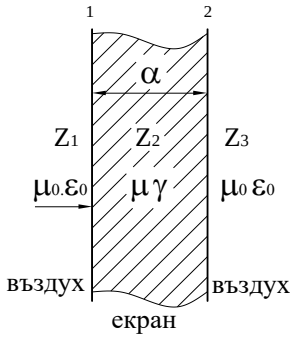
$a = (1+j).\frac{1}{\Delta}$ - честота, $\frac{rad}{s}$

μ - магнитна проницаемост на екрана (за неферомагнитни екрани от алуминий и мед);

γ - специфична проводимост на екрана;

$\mu_0 = 4.\pi.10^{-7}\ \frac{H}{m}$ - магнитна константа;

$\varepsilon_0 = 8{,}8542.10^{-12}\ \frac{\phi}{m}$ - електрическа константа;



Фиг.1

При внасянето на екран в електромагнитното поле, напрегнатостта на магнитното поле пред екрана се увеличава, а зад екрана се намалява. Електромагнитната вълна, която е съществувала в разглежданата област от пространството, до внасянето на екрана е възможно да се идентифицира с вълна, падаща на екрана при внасянето на екран в тази област. Ако вълната пада нормално на проводящата повърхност на екрана, то между амплитудата на падащата вълна H_{om} и амплитудата H_{ms1} съществува зависимостта [3,6]

$$\dot{H}_{ms1} = \frac{2Z_1}{Z_1 + Z_2}.\dot{H}_{om} \qquad (3)$$

където $\frac{2Z_1}{Z_1 + Z_2}$ – коефициент на преминаване на вълната.

Амплитудата H_{ms2} в резултат на непрекъснатост на тангенциалните съставящи на напрегнатостта на магнитното поле на границата “2” е равна на напрегнатостта на полето зад екрана H_{ekm}:

$$H_{ms2} = H_{ek.m} \qquad (4)$$

С използване на изразите (2), (3) и (4) се определя отношението

$$\frac{\dot{H}_{om}}{\dot{H}_{ek.m}} = \frac{(Z_2 + Z_1).(Z_2 + Z_3)}{4.Z_2.Z_1}.\left(e^{ad} - M_1.M_2.e^{-ad}\right) = \frac{(Z_2 + Z_1).(Z_2 + Z_3)e^{ad} - (Z_2 + Z_1).(Z_2 + Z_3)e^{-ad}}{4Z_1.Z_2} \qquad (5)$$

Замествайки в израз (5) стойностите $Z_1= Z_2= Z_0$; Z_2 и “a” и след подходящо преобразуване се получава израза

$$\frac{\dot{H}_{om}}{\dot{H}_{ek.m}} = \frac{(1+a+j)^2.e^{(1+j)\frac{d}{\Delta}} - (1-a+j)^2.e^{-(1+j)\frac{d}{\Delta}}}{4a.(1+j)}, \qquad (6)$$

$$a = \gamma.Z_0.\Delta = \sqrt{\frac{2\gamma}{\omega\varepsilon_0}}. \qquad (7)$$

За комплексно-спрегнатото число се записва израза

$$\frac{\overset{*}{H}_{om}}{\overset{*}{H}_{ek.m}} = \frac{(1+a-j)^2.e^{(1-j)\frac{d}{\Delta}} - (1-a-j)^2.e^{-(1-j)\frac{d}{\Delta}}}{4a.(1-j)} \qquad (8)$$

От (8) за отношението на модулите $\overset{*}{H}_{om}$ и $\overset{*}{H}_{ek.m}$ се получава израза

$$E_H = \frac{\dot{H}_{om}}{\dot{H}_{ek.m}} = \sqrt{\frac{\dot{H}_{om}}{\dot{H}_{ek.m}}.\frac{\overset{*}{H}_{om}}{\overset{*}{H}_{ek.m}}}. \qquad (9)$$

От съвместното решаване на (6), (8) и (9) и след преобразуване се получава израза

$$E_H = \frac{\dot{H}_{om}}{\dot{H}_{ek.m}} = \frac{1}{4}.\sqrt{\left[\left(\frac{2}{a}+a\right)^2+4\right].ch\frac{2d}{\Delta}+4\left(\frac{2}{a}+a\right).sh\frac{2d}{\Delta}} -$$

$$-\sqrt{\left[\left(\frac{2}{a}-a\right)^2-4\right].\cos\frac{2d}{\Delta}-4\left(\frac{2}{a}-a\right).\sin\frac{2d}{\Delta}} \qquad (10)$$

По формула (10) ефективността на екранирането е възможно да се изчислява и за много високи честоти (включително за рентгеново излъчване).

За радиочестоти и метални екрани $|Z_2| << Z_1 = Z_3 = Z_0$, при което $M_1 = M_2 = -1$. При тези условия формула (10) е възможно да се опрости. В този честотен диапазон стойността на коефициента „a" е много голяма. Така например, при честота $f \le 10^{10}$Hz, $\omega = 2\pi f \le 6{,}28.10^{10}$ rad/sec за алуминиев екран ($\gamma_{Al} = 36.10^6$ S/m) за стойността на коефициента "a" се получава:

$$a \ge \sqrt{\frac{2\gamma_{Al}}{\omega\varepsilon_0}} = \sqrt{\frac{2.36.10^6}{6{,}28.10^{10}.8{,}8542.10^{-12}}} = 11380$$

Подкоренният израз на формула (10) допуска разложение в ред по степени на "a"

$$E_H^2 = \frac{1}{4}.\left(ch\frac{2d}{\Delta}-\cos\frac{2d}{\Delta}\right).a^{-2}+\frac{1}{2}.\left(sh\frac{2d}{\Delta}-\sin\frac{2d}{\Delta}\right).a^{-1}+$$

$$+\frac{1}{2}.\left(ch\frac{2d}{\Delta}+\cos\frac{2d}{\Delta}\right)a^0+\frac{1}{4}.\left(sh\frac{2d}{\Delta}-\sin\frac{2d}{\Delta}\right).a++\frac{1}{16}.\left(ch\frac{2d}{\Delta}-\cos\frac{2d}{\Delta}\right).a^2 \qquad (11)$$

От (11) следва, че при големи стойности на „a" за всички екрани, с изключение на свръхтънките, за които се изпълнява условието $\frac{2a}{\Delta} \to 0$ ще бъде в сила формулата

$$E_H = \frac{a}{4}.\sqrt{ch\frac{2d}{\Delta}-\cos\frac{2d}{\Delta}} =$$

$$\sqrt{\frac{\gamma}{8\omega\varepsilon_0}\left[ch\left(d\sqrt{2\omega\mu_0\gamma}\right)-\cos\left(d\sqrt{2\omega\mu_0\gamma}\right)\right]} \qquad (12)$$

която е приложима за практически изчисления.

Интересни резултати се получават при разложение във формула (10) на фунциите $ch\frac{2d}{\Delta}$, $sh\frac{2d}{\Delta}$ $\cos\frac{2d}{\Delta}$, $\sin\frac{2d}{\Delta}$ в ред по степени на $\frac{2a}{\Delta}$. Ако се използват известните формули за разположение и ако се отчете, че

$$a.\frac{2d}{\Delta} = 2d.\gamma.Z_0; \frac{2d}{\Delta a} = \omega.d.\gamma.Z_0.\varepsilon_0 = \frac{\omega.d}{c} = \frac{2\pi.f.d}{c},$$

(където *c* – скорост на светлината), след преобразуване се получава израза

$$E_H = \left(1+\frac{d\gamma Z_0}{2}\right)^2+\left(\frac{\pi fd}{c}\right)^2 x$$

$$x\left[\frac{2}{21}+\frac{8}{31}.d\gamma Z_0+\frac{16}{41}.(d\gamma Z_0)^2+\frac{16}{51}.(d\gamma Z_0)^3+\frac{8}{6!}.(d\gamma Z_0)^4\right]+$$

$$+16.(d\gamma Z_0)^2.\left(\frac{\pi fd}{c}\right)^4 x$$

$$x\left[\frac{2}{6!}+\frac{8}{7!}.d\gamma Z_0+\frac{16}{8!}.(d\gamma Z_0)^2+\frac{16}{9!}.(d\gamma Z_0)^3+\frac{8}{10!}.(d\gamma Z_0)^4\right]+... \qquad (13)$$

При относително ниски честоти, когато се изпълняват условията $f < \frac{c}{d^2.\gamma.Z_0}$ и $d.\gamma.Z_0 >> 1$, членовете с множителите $\frac{\pi.f.d}{c}$ в израз (13) е възможно да се пренебрегнат и да се получи сравнително проста формула за определяне ефективността от използването на плоски екрани в следния вид

$$E_H \cong 1+\frac{d\gamma Z_0}{2} \qquad (14)$$

В голяма част от случайте в (14) „1" е възможно да се пренебрегне.

При изпълнение на условието $d\gamma Z_0 << 1$ (при свръх тънки екрани или за метали с малка стойност на проводимостта) и $\left(\frac{\pi.f.d}{c}\right)^2 >> d\gamma Z_0$, формула (13) се представя със следния приблизителен израз

$$E_H \cong \sqrt{\left(1+\frac{\pi.f.d}{c}\right)^2} \qquad (15)$$

Получените формули са приложими за плоски екрани и плоски електромагнитни вълни, които падат нормално към повърхността на екрана, при които съществуват само напречни съставящи на векторите E и H.

Получените формули за определяне ефективността на екрана са приложими и за магнитни екрани, когато относителната магнитна проницаемост на метала μ е възможно да се приеме за постоянна. В този случай в приведените формули е необходимо да се направи заместването

$$a = \sqrt{\frac{2\gamma}{\varepsilon_0\omega\mu}}; \qquad \Delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\gamma\mu_0\mu}}$$

при което параметъра $d\gamma Z_0$ не се променя, а вместо параметъра $\frac{\pi.f.d}{c}$ е необходимо да се използва параметъра $\frac{\pi.f.d.\mu}{c}$.

Тъй като за въздух

$\frac{\dot{E}_{om}}{\dot{H}_{om}} = \frac{\dot{E}_{ek.m}}{\dot{H}_{ek.m}} = Z_0$,

то $\frac{\dot{E}_{om}}{\dot{E}_{ek.m}} = \frac{\dot{H}_{om}}{\dot{H}_{ek.m}}$

и следователно, $E_E = E_H$, т.е. за изчисляване ефективността на екранирането на електрически полета е допустимо използването на формулите (10) и (12).

Литература

Иванов И.В., Велев Г.Ц. Измервания и контло в безопасността на труда. *Габрово, " Габро Принт", 2008*

Ненова З.П., Велев Г.Ц. Измервания и контрол в безопасността на труда. *Габрово, "Габро Принт" 2008*

Каден Г.Электромагнитные экраны.-*М.;Л: Госэнергоиздат, 1957-306 с.*

Нетушил А.В., Поливанов К.М основы электротехники-Ч.3.М; *Л;:Госполитиздат, 1956,-192с.*

Туровский Я. Техническая электродинамика- М: Энергия, 1974-488 с.

Франке В. А. Методика расчета экранов для рабочих индукторов и согласующих(к трансфоматоров плавилюно-закалочных высокочастотных установок-В кн.: Защита от действия электромагнитных полей и электрического тока в промышленности.-*Л ,1963, с. 91-97*

Шапира Д.Н. Расчет эффективности экранирующих камер. *М: Радиотехника, 195510,№4, с.36-47.*

ГОДИШНИК на Минно-геоложкия университет "Св. Иван Рилски", Том 55, Св.III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, 2012
ANNUAL of the University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Vol. 55, Part III, Mechanization, electrification and automation in mines, 2012

ЛОГИЧЕСКО-ВЕРОЯТНОСТНИ МЕТОДИ ЗА АНАЛИЗ НАДЕЖДНОСТТА НА СЛОЖНИ ЕЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИ СИСТЕМИ

Николай Лаков

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail emp@mgu.bg

РЕЗЮМЕ. В доклада са представени някой основни положения на логическо-вероятностния метод за определяне надеждността на сложни електротехнически системи.

THE LOGICAL- PROBABILISTIC METHODS FOR ANALYSIS OF COMPLEX RELIABILITY ELECTROTECHNICAL SYSTEMS

Nikolay Lakov

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail emp@mgu.bg

ABSTRACT. The paper presents some basic principles of logical-probabilistic method for determining the reliability of complex electrical systems.

Въведение

Всеки метод за определяне и анализ на надеждността на сложни електротехнически системи изисква определянето на условията за работоспособност на системата. Такива условия е възможно да се определят (формулират) с използването на следните методи:

1. Структурна схема за функциониране на системата (схема за изчисляване надеждността на системата).
2. Словесно описание за функциониране на системата.
3. Граф - схема.
4. Булева функция.

Логическо-вероятностният метод за определяне и анализ на надеждността на сложни електротехнически системи позволява да се формализира задачата за определяне на благоприятните хипотези.

Същността на този метод се състои в следното:

1. Състоянието на всеки елемент от техническата система се кодира с нула и единица:

$x_i = 0$, ако елемента се намира в състояние на отказ;

$x_i = 1$, ако елемента се намира в изправно състояние.

В булевата алгебра състоянието на елементите се представят в следния вид

- x_i - изправно състояние на елемента, което се означава с код 1;
- $\bar{x}_i$ - неизправно състояние на елемента, което се означава с код 0;

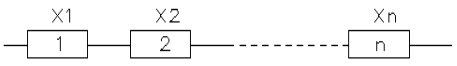
2. С помощта на булевата алгебра условието за работоспособност на системата се записва чрез работоспособните състояния на нейните елементи. Получената функция за работоспособност на системата се явява функция на двоични аргументи.

3. Получената булева функция се преобразува по такъв начин, при който в нея да са включени само членове, съответстващи на благоприятните хипотези за изправната работа на системата.

4. В булевата функция вместо двоичните променливи x_i и $\bar{x}_i$ се поставят вероятностите съответно за безотказна работа p_i и вероятностите за отказ q_i. Знаците за конюнкцията и дизюнкцията се заместват със знаците за алгебрично умножение и събиране.

Полученият израз е израз за определяне на вероятността за безотказна работа на системата $P_c(t)$.

Приложението на логическо-вероятностния метод за анализ на надеждността на сложни електротехнически системи се показва с разглеждането на следните примери. Структурната схема на система с последователно свързани елементи е показана на фиг.1.



фиг.1.

На структурната схема с x_i, $i = 1,2,...n$, се означава състоянието на $i-я$ елемент на системата, който се кодират с "0", ако елемента се намира в

състояние на "отказ" и с "1", ако елемента се намира в изправно състояние.

В разглеждания случай системата е изправна, ако са изправни всички нейни елементи. При това условие булевата функция се явява конюнкция на логическите променливи, т.е.

$$y = x_1 x_2 x_3 \ldots\ldots\ldots x_n \ .$$

Тази функция представлява съвършено дизюнктивна нормална форма на системата (СДНФ) .

Съвършено дизюнктивна нормална форма

Основните предимства на булевите функции са свързани с това, че те позволяват да се получат формално, без да се съставят таблиците за стойностите на аргументите и на функцията. СДНФ (съвършено дизюнктивна нормална форма) и на СКНФ (съвършено конюнктивна нормална форма). СДНФ и СКНФ осигуряват възможност да се получи вероятността за безотказна работа (вероятността за отказ) на системата посредством полагането (заместването) в булевите функции вместо логическите променливи на съответстващите им стойности на вероятността за безотказна работа, заменяйки операциите конюнкция и дизюнкция с алгебричните операции умножение и събиране.

За записването на една и съща булева функция е възможно да се използват различни форми. Форми, които представляват суми от елементарни произведения се наричат дизюнктивни нормални форми (ДНФ).

По елементарно се нарича такова произведение на булеви променливи, в което множителите се явяват отделните променливи или техните отрицания.

Очевидно е, че една и съща функция е възможно да бъде представена посредством различни ДНФ. Все пак съществуват такива видове ДНФ, в които функцията е възможно да бъде записана по един единствен начин. Тези форми се наричат съвършено дизюнктивни нормални форми (СДНФ). СДНФ се определя като сума от елементарни произведения, в които всяка променлива се среща само един път (или самата променлива, или нейното отрицание).

Нека булевата функция на три аргумента (x_1, x_2, x_3) има следното представяне:

$$f(x_1, x_2, x_3) = \bar{x}_2 \, x_3 \vee x_1 \, \bar{x}_2$$

В първото елементарно произведение липсва променливата $x_1 \, (\bar{x}_1)$ а във второто елементарно произведение липсва променливата $x_3 \, (\bar{x}_3)$.

За преобразуване на горния израз в СНДФ е необходимо всяко елементарно произведение да се допълни с недостигащата (липсваща) променлива така че да не се наруши тъждествеността на преобразуването. За целта функцията се записва във вида:

$$f(x_1, x_2, x_3) = \bar{x}_2 \, x_3 \vee x_1 \, \bar{x}_2 = \left(x_1 \vee \bar{x}_1 \right) \bar{x}_2 \, x_3 + x_1 \, \bar{x}_2 \left(x_3 \vee \bar{x}_3 \right)$$

В първия случай елементарното произведение е допълнено с множителя $\left(x_1 \vee \bar{x}_1 = 1 \right)$, а във втория случай $\left(x_3 \vee \bar{x}_3 = 1 \right)$. .

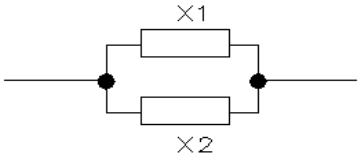
След разкриване на скобите и привеждането на подобните членове се получава функция, записана в СНДФ.

За получаването на СДНФ е необходимо всеки дизюнктивен член на булевата функция (БФ) да бъде умножен с израза $(x_i \vee \bar{x}_i)$, където x_i - недостигащ (липсващ) аргумент и да се разкрият скобите. Полученият отговор (израз) ще бъде израза за определяне на СДНФ.

Замествайки в получения израз вместо логическите променливи, вероятностите за изправното състояние на елементите и замествайки конюнкцията с алгебрическо умножение, се получава израз за определяне на вероятността за безотказна работа на системата:

$$P_c(t) = p_1(t)\, p_2(t) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots p_n(t)$$

На фиг.2 е представена структурната схема на система, с взаимнорезервиращите се подсистеми с различна надеждност, които са постоянно включени.



фиг.2.

На фиг.2 с x_1 и x_2 се означават елементите на системата. Съставя се Таблица 1. за стойностите на двете двоични променливи.

Таблица 1.

x_1	x_2	y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

В Таблица 1. с "0" се означава състоянието на отказ на елементите, а с "1" изправното състояние на елементите.
В разглеждания случай системата е изправна, ако са изправни и двата елемента (1,1), или единия от тях: (0,1) или (1,0). При тези условия работоспособното състояние на системата се описва с булевата функция:

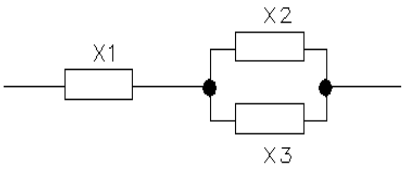
$$y = x_1 x_2 \vee \bar{x}_1 x_2 \vee x_1 \bar{x}_2$$

Тази функция се явява СДНФ.

Заместваики операциите дизюнкция и конюнкция с алгебричните операции умножаване и събиране, а логическите променливи със съответните вероятности за състоянията на елементите, се получава израза за определяне на вероятността за безотказната работа на системата

$$P_c(t) = p_1(t)\,p_2(t) + q_1(t)\,p_2(t) + p_1(t)q_2(t)$$

Разглежда се и задачата за определяне на вероятността за безотказна работа на система, чиято структурна схема е показана на фиг.3.



фиг.3.

В разглеждания пример системата се явява изправна при изпълнението на следните условия:

- изправни са всички елементи на системата;
- изправен е елемента x_1 и един от елементите на дублираната двойка $(x_2\ , x_3)$.

При тези условия за състоянието на елементите е съставена Таблица 2.

Таблица 2.

x_1	x_2	x_3	y
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

На основание на Таблица 2. се записва следната СДНФ за системата:

$$y = x_1 \bar{x}_2 x_3 \vee x_1 x_2 \bar{x}_3 \vee x_1 x_2 x_3$$

Заместваики двоичните променливи със съответните им вероятности, а вместо конюнкцията и дизюнкцията - с алгебрично умножаване и събиране, се получава следния израз за безотказна работа на системата:

$$P_c(t) = p_1(t)\,q_2(t)\,p_3(t) + p_1(t)\,p_2(t)\,q_3(t) + p_1(t)\,p_2(t)\,p_3(t)$$

Булевите функции е възможно да се представят в минимална форма, като се използват следните преобразувания:

- изнасяне на общ множител пред скоби:
$$y = x_1 x_2 + x_1 x_3 = x_1(x_1 + x_3)$$
- операция поглъщане:
$$y = x_1 + x_1 x_2 = x_1$$
- операцията "обединяване":

$$y = x_1 x_2 + x_1 \bar{x}_2 = x_1$$

$$x_2 + \bar{x}_2 = 1$$

Операцията "обединяване" се записва по два начина:

- $y = x_1 x_2 + x_1 \bar{x}_2 = x_1$
  защото:
  $$y = x_1 x_2 + x_1 \bar{x}_2 = x_1(x_2 + \bar{x}_2) = x_1.1$$
  $$x_2 + \bar{x}_2 = 1$$
- $y = (A + B)(A + \bar{B}) \equiv A$

Действително

$$A + AB = A(1 + B) \equiv A.1$$

$$AB + \bar{A}B \equiv A(B + \bar{B}) \equiv A$$

Операциите "поглъщане" и "обединяването" в алгебрата не са приложими. Във връзка с това е недопустимо получената булева функция да се минимизира, а след това вместо логическите операции да се заместват със стойностите на вероятностите. Вероятностите за състоянието на елементите следва да се поставят в СДНФ, а да се опростяват по правилата на алгебрата.

Недостатъкът на разглеждания метод е свързан с необходимостта от съставяне на таблицата за състоянието на елементите и на системата, което изисква последователното разглеждане на всички възможни състояния.

Функцията за работоспособност на една система е възможно да се опише с помощта (използването) на метода на най-краткия път за успешно функциониране на системата и метода на минималните сечения за отказ.

Тези методи за анализ надеждността на технически системи се разгледат от позициите на булевата алгебра.

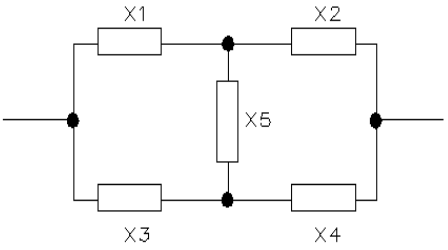
Метод на най- краткия път

Определение 1. Минимален път (най-кратък път) - това е такъв набор от елементи в структурата, при който системата е изправна, ако са изправни всички елементи от

този набор. Отказът на който и да е елемент от този набор води до отказ на системата.

Най-кратък път се нарича минималната конюкция за работоспособните състояния на елементите, образуващи работоспособност на системата.

Функцията за работоспособност на системата, чиято структурна схема е показана на фиг.4, ще се състави, като се използва метода на най-краткия път.



фиг.4.

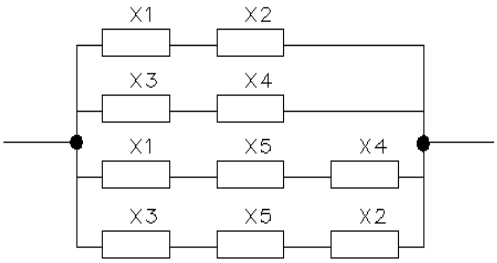
За разглежданата система най-кратките пътища, определящи работоспособното състояние на системата са както следва:

$$x_1x_2,\ x_3x_4,\ x_1x_5x_4,\ x_3x_5x_2.$$

При тези условия булевата функция за работоспособност на системата има следното представяне:

$$y = x_1x_2 \vee x_3x_4 \vee x_1x_5x_4 \vee x_3x_5x_2$$

В съответствие с тази булева функция структурната схема от фиг.4 е възможно да се представи със структурната схема на фиг.5.



фиг.5.

Метод на минималните сечения

Определение 2. Минимално сечение - това е такъв набор от елементи в структурата, при който системата е неизправна, ако са неизправни всички елементи от този набор. Изключването на който и да е елемент от този набор превежда системата в изправно състояние.

Минимално сечение се нарича минималната конюкция за неработоспособните състояния на елементите, образуващи неработоспособните състояния на системата.

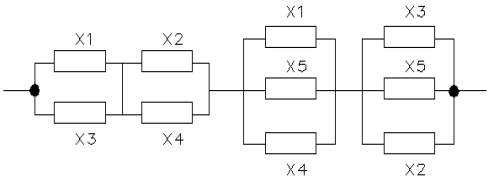
Минималните сечения, образуващи (определящи) неработоспособните състояния на системата, (от фиг.1) са както следва:

$$x_1x_3,\ x_2x_4,\ x_1x_5x_4,\ x_3x_5x_2.$$

При тези условия функцията за неработоспособност на системата се записва с булевата функция:

$$y = x_1x_3 \vee x_2x_4 \vee x_1x_5x_4 \vee x_3x_5x_2$$

В съответствие с тази булева функция структурната схемана системата е представена на фиг.6.



фиг.6.

Трябва да се отбележи, че структурните схеми на фиг.2 и фиг.3 не се явяват схеми за изчисляване на надеждността, а изразите за булевите функции, определящи работоспособното и неработоспособното състояние на системата не се явяват изрази за определяне на вероятността за безотказна работа и на вероятността за отказ, т.е.:

$P_c(t) \neq p_1p_2 + p_3p_4 + p_1p_5p_4 + p_3p_5p_2$ (булева функция за метода на най-краткия път).

$P_c(t) \neq p_1p_3 + p_2p_4 + p_1p_5p_4 + p_3p_5p_2$ (булева функция за метода на минималните сечения).

Приложението на този метод ще се използва за решаване на задачата за определяне на вероятността за безотказна работа на системата, чиято структурна схема е показана на фиг.4. Вероятността за безотказна работа на елементите на системата са равни на

$p_1\ , p_2\ , p_3\ , p_4\ , p_5.$

С използване на метода на най-краткия път:

Булевата функция за определяне работоспособното състояние на системата, получена по метода на най-краткия път, има вида:

$$y = x_1x_2 \vee x_3x_4 \vee x_1x_5x_4 \vee x_3x_5x_2$$

За получаване на СДНФ е необходимо дизюнктивните членове да се умножат на недостигащите (липсващите) членове $(x_i \vee \bar{x}_i)$:

$$y = x_1x_2(x_3 \vee \bar{x}_3)(x_4 \vee \bar{x}_4)(x_5 \vee \bar{x}_5) \vee$$

$$\vee\ x_3x_4(x_1 \vee \bar{x}_1)(x_2 \vee \bar{x}_2)(x_5 \vee \bar{x}_5) \vee$$

$$\vee\ x_1x_5x_4(x_2 \vee \bar{x}_2)(x_3 \vee \bar{x}_3) \vee$$

$$\vee\ x_3x_5x_2(x_1 \vee \bar{x}_1)(x_4 \vee \bar{x}_4).$$

Разкривайки скобите и изпълнение на необходимите преобразувания по правилата на булевата алгебра, (се получава СДНФ)

$$y = x_1x_2x_3x_4x_5 \vee x_1x_2x_3x_4\bar{x}_5 \vee x_1x_2x_3\bar{x}_4x_5 \vee$$

$$\vee x_1x_2x_3\bar{x}_4\bar{x}_5 \vee x_1x_2\bar{x}_3x_4x_5 \vee x_1x_2\bar{x}_3x_4\bar{x}_5 \vee$$

$$x_1x_2\bar{x}_3\bar{x}_4x_5 \vee x_1x_2\bar{x}_3\bar{x}_4\bar{x}_5 \vee x_1\bar{x}_2x_3x_4x_5 \vee$$

$$\vee x_1\bar{x}_2x_3x_4\bar{x}_5 \vee x_1\bar{x}_2x_3\bar{x}_4x_5 \vee \bar{x}_1x_2x_3x_4x_5 \vee \bar{x}_1x_2x_3x_4\bar{x}_5 \vee$$

$$\vee \bar{x}_1\bar{x}_2x_3x_4x_5 \vee x_1\bar{x}_2\bar{x}_3x_4x_5 \vee$$

$$\vee x_1\bar{x}_2\bar{x}_3\bar{x}_4x_5 \vee x_1\bar{x}_2x_3\bar{x}_4\bar{x}_5 \vee x_1\bar{x}_2\bar{x}_3\bar{x}_4\bar{x}_5.$$

Заместваики в СДНФ вместо x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, вероятността за безотказна работа на елементите p_1, p_2, p_3, p_4, p_5 и използвайки зависимостта:

$$q_i = 1 - p_i,$$

се получава следния израз за определяне на вероятността за безотказна работа на системата:

$$P_c(t) = 2p_1p_2p_3p_4p_5 - (p_1p_2p_3p_5 + p_1p_3p_4p_5 +$$
$$+ p_1p_2p_3p_4 + p_2p_3p_4p_5 + p_1p_2p_4p_5) +$$
$$+ p_2p_3p_5 + p_1p_4p_5 + p_1p_2 + p_3p_4$$

От приведения пример се вижда, че методът на най-краткия път не изисква предварително определяне на благоприятните хипотези. Същия резултат се получава и при използването на метода на минималните сечения.

Алгоритъм на разрязването

Алгоритъмът на разрязването позволява да се получи булева функция в която след заместване на логическите променливи с вероятността за безотказна работа (вероятността за отказ) на елементите да се определи вероятността за безотказна работа на системата. За решаването на тази задача в този случай не е необходимо получаването на СДНФ.

Алгоритъма на разрязването се основава на следната теорема от булевата алгебра:

Логическата функция $y(x_1, x_2, ..., x_n)$, е възможно да се представи в следната форма:

$$y(x_1, x_2, ...x_i ...., x_n) = x_i y(x_1, x_2, ..., 1, ...x_n) \vee$$

$$\vee \bar{x}_i\, y(x_1, x_2, ..., 0, ...x_n)$$

Приложимостта на тази теорема ще се покаже на следните примери:

1. $$y = x_1 \vee x_2 \vee x_3 = x_1(1 \vee x_2 \vee x_3) \vee$$
$$\vee \bar{x}_1(0 \vee x_2 \vee x_3) = x_1 \vee \bar{x}_1(x_2 \vee x_3)$$

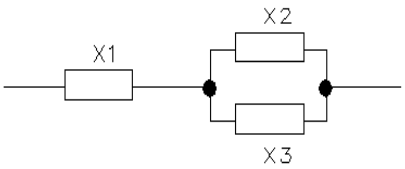
Използвайки втория разпределителен закон на булевата алгебра се получава израза:

$$y = x_1 \vee \bar{x}_1(x_2 \vee x_3) = (x_1 \vee \bar{x}_1)(x_1 \vee x_2 \vee x_3) = x_1 \vee x_2 \vee x_3$$

2. $$y = x_1x_2x_3 = x_1(1x_2x_3) \vee \bar{x}_1(0x_2x_3) = x_1x_2x_3$$

3. $$y = x_1x_2 \vee x_3x_4 = x_1(1x_2 \vee x_3x_4) \vee$$
$$\vee \bar{x}_1(0x_2 \vee x_3x_4) = x_1x_2 \vee x_1x_3x_4 \vee \bar{x}_1x_3x_4 =$$
$$= x_1x_2 \vee x_3x_4(x_1 \vee \bar{x}_1) = x_1x_2 \vee x_3x_4$$

Определяне на вероятността за безотказна работа на системата, чиято структурна схема е представена на фиг.7, като се използва алгоритъма на разрязването.



фиг.7.

Използвайки метода на най-краткия път се получава булева функция

$$y = x_1x_2 \vee x_1x_3$$

Използвайки алгоритъма на разрязването се получава булева функция:

$$y = x_1x_2 \vee x_1x_3 = x_2(x_1 1 \vee x_1x_3) \vee \bar{x}_2(x_1 0 \vee x_1x_3) =$$
$$= x_1x_2 \vee x_1x_2x_3 \vee x_1\bar{x}_2x_3 =$$
$$= x_1x_2(1 \vee x_3) \vee x_1\bar{x}_2x_3 = x_1x_2 \vee x_1\bar{x}_2x_3$$

Заместваики в получения израз вместо логическите променливи с вероятности и заменяйки логическите операции конюнкция и дизюнкция с алгебрическите операции умножаване и събиране се получава израза

$$P_c(t) = p_1p_2 + p_1q_2p_3 = p_1p_2 + p_1p_3(1 - p_2) =$$
$$= p_1p_2 + p_1p_3 - p_1p_2p_3$$

Определяне на вероятността за безотказна работа на системата, чиято структурна схема е представена на фиг.4, като се използва алгоритъма на разрязването.

С използване на метода на минималните сечения се получава булева функция

$$y = x_1x_2 \vee x_3x_4 \vee x_1x_5x_4 \vee x_3x_5x_2$$

Алгоритъма на разрязването спрямо x_5 има следното представяне:

$$y = x_5(x_1x_2 \vee x_3x_4 \vee x_1 1 x_4 \vee x_3 1 x_2) \vee$$
$$\vee \bar{x}_5(x_1x_2 \vee x_3x_4 \vee x_1 0 x_4 \vee x_3 0 x_2) =$$
$$= x_5(x_1x_2 \vee x_3x_4 \vee x_1x_4 \vee x_3x_2) \vee$$
$$\vee \bar{x}_5(x_1x_2 \vee x_3x_4) \ .$$

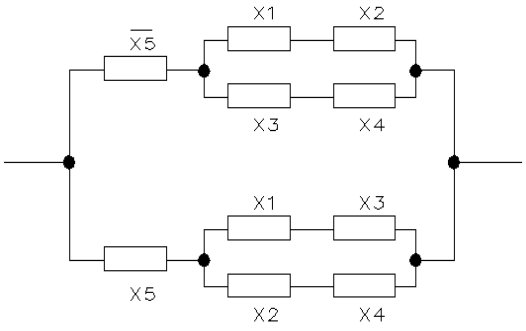
Полученият израз се опростява като се използват законите на булевата алгебра. Израза в първите скоби се опростява, като се използва правилото за изнасяне пред скоби

$$x_1x_2 \vee x_3x_4 \vee x_1x_4 \vee x_3x_2 = x_1(x_2 \vee x_4) \vee$$
$$\vee x_3(x_2 \vee x_4) = (x_1 \vee x_3)(x_2 \vee x_4)$$

За булевата функция се получава израза

$$y = x_5(x_1 \vee x_3)(x_2 \vee x_4) \vee \bar{x}_5(x_1x_2 \vee x_3x_4)$$

На получения израз съответства структурната схема, показана на фиг.8.



фиг.8.

Получената схема се явява също така и схема за изчисляване на надеждността, ако логическите променливи се заменят с вероятностите за безотказна работа на елементите p_1 , p_2 , p_3 , p_4 , p_5, а променливата $\bar{x}_5$ - с вероятността за отказ q_5 . От фиг.10 се вижда, че структурната схема на системата е сведена до последователно - паралелна схема.

Вероятността за безотказна работа се определя по формула

$$P_c(t) = 1 - (1 - (1 - p_1p_2)(1 - p_3p_4))(1 - p_5)).$$
$$.(1 - (1 - (1 - p_1)(1 - p_2))(1 - (1 - p_3)(1 - p_4))p_5)$$

Тази формула е записана непосредствено по структурната схема.

Алгоритъм на ортогонолизацията

Алгоритъмът на ортогонолизацията, както и алгоритъма на разрязването, позволява с формални процедури да се образува (получи) булевата функция, в която след заместване на логическите променливи с вероятностите, а вместо дизюнкциите и конюнкциите – алгебрическо събиране и умножение, да се получи вероятността за безотказна работа на системата.

Алгоритъма е основан на преобразуването на булевата функция в ортогонална дизюнктивна нормална форма (ОДНФ), която е съществено по-кратка от СДНФ. Преди да се изложи същността на методиката се привеждат следните определения и примери.

Определение 1. Две конюнкции се наричат ортогонални, ако тяхното произведение е тъждествено равно на нула.

Определение 2. Дизюнктивната нормална форма се нарича ортогонална, ако всички нейни членове са ортогонални.

СДНФ се явява ортогонална, но е най-дългата от всички възможни ортогонални функции.

Ортогоналната ДНФ се получава с помощта на следните формули:

- ако $y(x_1, x_2, ..., x_n) = x_1x_2....x_n$, то

$$y = x_1 \vee \bar{x}_1x_2 \vee \bar{x}_1\bar{x}_2x_3 \vee .... \vee \bar{x}_1\bar{x}_2x_{3....}\bar{x}_{n-1}x_n \qquad \textbf{(1)}$$

- ако $y(x_1, x_2, .., x_n) = x_1 \vee x_2 \vee ... \vee x_n$, то

$$y(x_1, x_2, ..., x_n) = x_1 \vee \bar{x}_1x_2 \vee \bar{x}_1\bar{x}_2x_3 \vee ..... \qquad \textbf{(2)}$$
$$.... \vee \bar{x}_1\bar{x}_2 .....\bar{x}_{n-1}x_n$$

Тези формули лесно се доказват, ако се използва втория разпределителен закон на булевата алгебра и теоремата на Де Морган. Алгоритъма за получаването на ортогонална дизюнктивна нормална форма се представя със следната процедура за преобразуване на функцията $y(x_1, x_2, ..., x_n)$ в ОДНФ:

1. Функцията $y(x_1, x_2, ..., x_n)$ се преобразува в ДНФ с помощта на метода на най-краткия път или метода на минималните сечения.
2. Определяне на ортогоналната дизюнктивна нормална форма с помощта на формулите (1) и (2).
3. Минимизиране на функцията чрез приравняването на нула на ортогоналните членове на ОДНФ.
4. Логическите променливи се заменят с вероятностите за безотказна работа (вероятностите за отказ) на елементите на системата.
5. Получаване на окончателното решение след опростяването на получения израз в точка 4.

Използването на предложената методика ще се използва за определяне на вероятността за безотказна работа на система , чиято структурна схема е показана на фиг.4 като се използва метода за ортогонолизация.

В разглеждания случай функционирането на системата се описва със следната булева функция, получена с метода на минималните сечения

$$y = x_1x_2 \vee x_3x_4 \vee x_1x_5x_4 \vee x_3x_5x_2$$

Приемат се следните означения:

$K_1 = x_1 x_2$, $K_2 = x_3 x_4$, $K_3 = x_1 x_5 x_4$, $K_4 = x_3 x_5 x_2$

С приетите означения ОДНФ се записва в следния вид:

$$y = K_1 \vee \bar{K}_1 K_2 \vee \bar{K}_1 \bar{K}_2 K_3 \vee \bar{K}_1 \bar{K}_2 \bar{K}_3 K_4 \qquad (3)$$

Стойностите $\bar{K}_i$, $i = 1,2,3$, на основата на формула (1) ще имат вида

$$\bar{K}_1 = \bar{x}_1 \vee x_1 \bar{x}_2 \ , \bar{K}_2 = \bar{x}_3 \vee x_3 \bar{x}_4 \ , \bar{K}_3 = \bar{x}_1 \vee x_1 \bar{x}_5 \vee x_1 x_5 \bar{x}_4$$

$$\bar{K}_1 K_2 = (\bar{x}_1 \vee x_1 \bar{x}_2) x_3 x_4 = \bar{x}_1 x_3 x_4 \vee x_1 \bar{x}_2 x_3 x_4 \ ,$$

$$\bar{K}_1 \bar{K}_2 K_3 = (\bar{x}_1 \vee x_1 \bar{x}_2)(\bar{x}_3 \vee x_3 \bar{x}_4) x_1 x_5 x_4 = x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 x_4 x_5 \ ,$$

$$\bar{K}_1 \bar{K}_2 \bar{K}_3 K_4 = (\bar{x}_1 \vee x_1 \bar{x}_2)(\bar{x}_3 \vee x_3 \bar{x}_4)(\bar{x}_1 \vee x_1 \bar{x}_5 \vee x_1 x_5 \bar{x}_4).$$

$$.x_2 x_3 x_5 = \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3 x_4 x_5 \ .$$

Замествайки получените изрази в (3) се получава

$$y = x_1 x_2 \vee \bar{x}_1 x_3 x_4 \vee x_1 \bar{x}_2 x_3 x_4 \vee x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 x_5 \vee x_1 x_2 \bar{x}_3 \bar{x}_4 x_5 \ ,$$

Замествайки в получения израз логическите променливи със съответствуващите им вероятности и изпълнявайки алгебрическите операции събиране и умножение, се получава вероятността за безотказната работа на системата:

$$P_c(t) = 2p_1 p_2 p_3 p_4 p_5 - (p_1 p_2 p_3 p_4 + p_1 p_2 p_3 p_5 + \\ + p_1 p_2 p_4 p_5 + p_1 p_3 p_4 p_5 + p_2 p_3 p_4 p_5) + \\ + p_1 p_4 p_5 + p_2 p_3 p_5 + p_1 p_2 + p_3 p_4$$

От приведения пример се вижда, че алгоритъма за ортогонолизация е по-производителен в сравнение с разглежданите вече методи.

Заключение

Представени са някои основни зависимости от теорията на логическо-вероятностните методи за определяне и изследване надеждността и безопасността на сложни електротехнически системи.

Литература

1.Половко, А.М. и др. Основы теории надежности. СПБ „Б.Х.П- Петербург", 2006.

2.Соложенцев,Е.Д. Сценарное логико-вероятностное управление риском в бизнесе и технике. СПБ изд. дом „Бизнес-пресса", 2004.

3. Камур, К. и др. Надежность и проектирование систем. М, Мир, 1980.

4. Лихтциндер, Б.Я., Кузнецов,В.Н. Микропроцессоры и вычислительные устройства в радиотехнике. Киев, ВШ, 1988.

5.Анисимов, О.,Ю. и др. Изпользование логико-вероятностного метода при расчете безопасности систем электрической части электростанции, Сб. Науч. изд., 2010.

6. Малчев, К.М. Надежност в електроенергетика.С., ТУ, 2010.

7. Макаров, М. И., Кърцелин, Е.Р. Надежность шахтных подъемных машин. Донецк, ДонНТУ, 1996.

ГОДИШНИК на Минно-геоложкия университет "Св. Иван Рилски", Том 55, Св.III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, 2012
ANNUAL of the University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Vol. 55, Part III, Mechanization, electrification and automation in mines, 2012

ДОПУСТИМО ТОКОВО НАТОВАРВАНЕ В НЕИЗОЛИРАНИ ШИНИ, РАБОТЕЩИ В СРЕДА С ТЕМПЕРАТУРА РАЗЛИЧНА ОТ ОБЯВЕНАТА

Стефан Чобанов

СМС-С ЕООД, 2070 Пирдоп; e-mail: office@cmc-c.com

РЕЗЮМЕ: Предложена е методика за определяне на допустимото токово натоварване за практическо приложение на неизолирани шини при различна температура на работната среда в зависимост от допустимия ток обявен за съответна температура. Разгледани са примери за практическо приложение.

.

ACCEPTABLE CURRENT LOADING IN THE UN-INSOLATED BUSBARS, WORKING IN AN AREA WITH TEMPERATURE DIFFERENT THAN THE ANNOUNCED

Stefan Chobanov
CMC-C Ltd., 2070 Pirdop, e-mail: office@cmc-c.com

ABSTRACT: A methodology for determining the acceptable current loading for practical application of un- isolated busbars at different temperatures of the working area in accordance with the acceptable current which is announced for the appropriate temperature is proposed.
Examples of practical application are discussed.

Необходимост

В нормативните документи, в справочната литература и в данните на производителите, допустимите токови натоварвания на проводници, кабели и шини са дадени с фиксирана допустима стойност на тока при обявена температура .

Например, таблиците за допустимите токови натоварвания на неизолирани шини, регламентирани в Наредба №3 за устройството на електрическите уредби и електропроводните линии, посочените стойности се отнасят при максимална степен на загряване в продължителен режим – 70°C и температура на работната среда -25°C.

На практика температурата на околната среда (работното пространство) се променя в широки граници, както при различните сезони, така и от генерираната топлина от тоководящите части – проводници, кабели, шини, неподвижни и подвижни контактни съединения, бобини от магнитопроводи, от нагреватели и др.

Диапазонът на тези изменения може да бъде оценен сравнително лесно и достатъчно точно чрез измервания или с експертна оценка

Необходимо е, и това е по-трудно да се уточни количествено влиянието на екстремните гранични, установени стойности на температурата за нормалното функциониране на електрическите съоръжения.

Основен показател, характеризиращ и гарантиращ нормалната работа е допустимото токово натоварване. Предложен е подход за редуциране (коригиране) на допустимото токово натоварване на неизолирани шини във функция от температурата на околната среда.

При неизолираните шини има достатъчно основание да се приеме, че топлинната мощност,разсейвана в околното пространство е резултат от топлообмена чрез конвекция и лъчение. Разглеждайки шината като еднородно тяло, тази мощност се определя по формулата на Нютон [1]:

$$P_{охл} = K_{то}S(\theta_{Ш} - \theta_{ср}), \quad (1)$$

където:
$K_{то}$ е коефициент на топлообмена, отчитащ конвекцията и лъченето
S – нагрятата повърхност
$\theta_{Ш}$ температурата на повърхността на шината
$\theta_{ср}$ – температурата на околната среда

В установен (или квази-установен) режим, цялата топлинна мощност $P_{нагр} = I^2R_{ш}$ се отделя в околното пространство, а температурата на шината, (или нейната стойност) не се променя, т.е.:

$$P_{нагр.} = P_{охл} \quad (2)$$

Съгласно нормативите [2], температурата на шините трябва да се ограничи до 70°C и това ще се случи, ако тока в шината, със съпротивление $R_{ш}$, е ограничен до допустимата стойност посочена в таблиците, при температура на околната среда 25°C.

Тогава, съгласно 1 и 2:

$P_{нагр} = I^2_{доп25} R_Ш = P_{охл} = K_{то} S (70-25)$ (3)

За всяка стойност на температурата на околната среда θ_o очевидно ще има съответен допустим ток $I_{доп}(\theta_o)$, при който шината няма да надвиши регламентираната температура 70°C.

$I^2_{доп25} R_Ш = K_{то} S (70-\theta_o)$ (4)

От (3) и (4) следва, че допустимата стойност на тока може да се определи с уравнението:

$$I_{доп(\theta o)} = I_{доп(25)} \sqrt{\frac{70-\theta o}{45}} \quad (5)$$

Пример: Al. шина 100/5mm е с допустим ток 1820A [2], при θ_{max} = 70°C и θ_Q = 25°C.

Стойностите на допустимия ток за посочената шина при температурата на околната среда в интервала $I_{ср} \in$ (20-50)^{O}C, изчислени по (5), са дадени в таблица 1:

Таблица 1

Температурата на околната среда, ^{o}C	20	25	30	35	40	45	50
Допустим ток, А	1918	1820	1716	1605	1486	1356	1213
Изменения на допустимия ток, %	-5,38	0	5,71	11,81	18,35	25,46	33,35

В последния хоризонтален ред на табл. 1 са изчислени нарастването (при θ_o<25°C) и намаляването (при θ_O>25°C) на допустимия ток за шината. Например при температура на околната среда 45°C допустимия ток намалява с повече от 25%.

Зависимостта (1) може да се запише по-общо, за да може да се използва и при зададени стойности на допустимия ток $I_{доп(H)}$ при други фиксирани условия: максимална допустима температура $I_{доп}$ и температура на средата, за която е даден $I_{доп\ (H)}$, $\theta_{o(H)}$

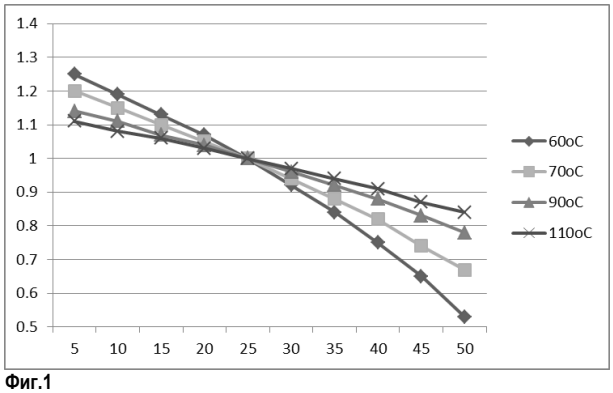
$$I_{доп(\theta)} = I_{доп(H)} \sqrt{\frac{\theta_{доп(H)} - \theta_o}{\theta_{доп(H)} - \theta_{ср(H)}}} = I_{доп.}K \quad (6)$$

За практически цели, когато трябва да се определи допустимият ток, е целесъобразно, зависимостите (5) и (6) да се табулират или да се изразят графично (фиг.1).

Така например, данните за допустимите продължителни токови натоварвания на неизолирани шини лимитирани в Наредба №3 за устройството на електрическите уредби и електропроводните линии [2], отнасяши се за $\theta_{gon(H)}$= 70°C и $\theta_{O(H)}$ = 25°C., могат да се коригират при $\theta_{o(H)} \neq$ 25°C и $\theta_{доп(H)} \neq$ 70°C:

$K = f(\theta_o)$ (7)

с коефициент, който може да се определи от крива 70°C K=(θ_o), дадена на фиг.1.



Фиг.1

Пример: медна шина състояща се от 2 ленти с размери 80/6 всяка, за фаза по табл. 11 на НУЕУЕЛ има допустим ток 2110A (при 25°C). Шината е монтирана на КРУ за открит монтаж. През лятото температурата в КРУ достига 40°C. Да се определи допустимият ток при продължително натоварване на шините:

$I_{доп(40)} = I_{доп(25)}K = 2110.0.82 = 1730A$ (8)

където K е определен по фиг.1, крива 70°C. За θ_o=40°C отчитаме K = 0,82, както се вижда от резултата, допустимият ток, който се използва при проверката по нагряване е, с 18% по-малък спрямо обявената стойност, определена при 25° – $I_{доп(25)}$ = 2110A.

С изчисление коефициентът има стойност:

$$K = \frac{\sqrt{70-40}}{45} = 0{,}816 \text{ и } I_{доп} = 1723A. \quad (9)$$

Грешката при определяне на допустимия ток с използване на кривата от фиг.1 е $\frac{1730-1723}{1723}$ 100 = 0,4%, която е пренебрежимо малка.

Този подход за преизчисляване на допустимото токово натоварване в зависимост от различни обявени максимални стойности за тока при съответни максимални температури, и температурата на околната среда е коректен и достатъчно точен . Спестява време и дава точни количествени представи за измененията, които на практика, често се определят с експертно определен резерв.

Допустимата температура при натоварване на шините зависи от материала и конструктивните им особености (профил, сечение)..

На таблица 2 са дадени стойности на корегиращия коефициент K при шини с различен допустим ток за обявена различна температура (от 60 до 110°C за диапазон на температурата на работната (околна) среда.от 5 до 50°C

Таблица 2

θоС / θдоп оС	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
60	1.25	1.19	1.13	1.07	1	0.92	0.84	0.75	0.65	0.53
70	1.2	1.15	1.1	1.05	1	0.94	0.88	0.82	0.74	0.67
90	1.14	1.11	1.07	1.04	1	0.96	0.92	0.88	0.83	0.78
110	1.11	1.08	1.06	1.03	1	0.97	0.94	0.91	0.87	0.84

При околна температура достигаща 50°C, допустимо токово натоварване се редуцира (намалява) до 47%, а при $\theta_{ср}$ = 5°C, токовото натоварване може да нарастне значително от 10 до 25%.

По абсолютна стойност, отклоненията намаляват с нарастване на допустимата температура за шините (при 25°C)

Заключение

Разработената методика дава възможност точно да се оценят измененията в допустимия ток при температура на околната среда различна от обявената и по този начин да се избегнат експертните оценки , които при определени обстоятелства може да доведат до значителни грешки и в някои случай до прегряване на шините.

Литература

1. Буль Б.К., Г.В. Буткевич и др. Основьі теории електрических аппаратов „Вьісшая школа“, М., 1970.
2. Наредба №3 за устройството на електрическите уредби и електровпроводните линии, АБС техника, С., 2004.

ГОДИШНИК на Минно-геоложкия университет "Св. Иван Рилски", Том 55, Св.III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, 2012
ANNUAL of the University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Vol. 55, Part III, Mechanization, electrification and automation in mines, 2012

ЗАЩИТИ ОТ ТОКОВИ УТЕЧКИ В РУДНИЧНИ IT МРЕЖИ НН С ПОВИШЕНА НАДЕЖДНОСТ

Стефан Чобанов[1], Кирил Джустров[2], Драголюб Костов[3], Менто Ментешев[4]

[1] СМС-С ЕООД, Пирдоп e-mail: stefan.chobanov@cmc-c.com
[2] Минно-геоложки университет "Св. Ив. Рилски", 1700 София e-mail: justrov@mgu.bg
[3] Минно-геоложки университет "Св. Ив. Рилски", 1700 София e-mail drago@mgu.bg
[4] СМС-С ЕООД, Пирдоп e-mail: mento.menteshev@cmc-c.com

РЕЗЮМЕ: Описани са функционални блокови схеми и основни технически параметри на апарати за защита от токови утечки с непрекъснат и предварителен контрол на изолационното съпротивление в рудничните IT мрежи за ниско напрежение.
Апаратите са разработени на хибриден принцип-комбинация от съвременни електромеханични елементи и електроника, синтезирана от елементи със средна и висока степен на интеграция.
Произвеждат се в СМС-С ЕООД и се прилагат в минната промишленост.

PROTECTION AGAINST LEAKAGE CURRENTS IN LV MINING IP NETWORKS WITH INCREASED RELIABILITY

Stefan Chobanov[1], Kiril Djustrov[2], Dragoliub Kostov[3], Mento Menteshev[4]

[1] CMC-C Ltd, Пирдоп e-mail: stefan.chobanov@cmc-c.com
[2] University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia e-mail: justrov@mgu.bg
[3] University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia e-mail: drago@mgu.bg
[4] CMC-C Ltd, Пирдоп e-mail: mento.menteshev@cmc-c.com

ABSTRACT: The functional block diagrams and basic technical parameters of devices for protection against current leakages with continuous and preliminary control of insulation resistance in mining IT networks for LV are described.
Devices are developed on a hybrid principle- combination of modern electromechanical elements and electronic, synthesized from the elements with intermediate and high level of integration.
The devices are produced by CMC-C Ltd. and are applied in mining industry.

Рудничните мрежи за ниско напрежение (НН) с изолирана неутрала (звезден център) са еднозначно регламентирани в много страни от всички континенти, оценени с повишената си безопасност [1,2,3,5]. Изолирани спрямо земя, IT мрежите създават обективни предпоставки за намаляване степента на риска при директен и индиректен допир, от възникване на пожари и експлозии (в рудници с взривоопасна атмосфера). Това се свързва с ограничаване на електрическата енергия, като мощност и време, съпътстващи посочените процеси и явления. Намаляването на мощността и времето са пряко свързани с технологичните постижения в създаването на електронни елементи със значително повишена плътност и в минимизиране на размерите при нарастване на надеждността на електромеханичните устройства. Посочените обстоятелства създадоха така необходимата среда за синтез на качествено нови апарати, характеризиращи се с ограничени размери и с многократно (в степени) повишена ефективност и надеждност.

В електроинженеринговата фирма СМС-С ЕООД, в сътрудничество с преподаватели от МГУ „Св. Св. Рилски", възползвайки се от изтъкнатите по-горе обстоятелства, са разработени и се произвеждат съвременни апарати за защита от токови утечки за руднични (IT) мрежи НН с непрекъснат и предварителен контрол на изолационното съпротивление [6,7].

Апаратите с непрекъснат контрол на изолационното съпротивление (АЗУ) са предназначени за общомрежова защита от токови утечки. Те са с неселективно действие. При утечка, възникнала независимо в коя част от мрежата, апаратът изключва захранващото напрежение от главния прекъсвач и всички машини и съоръжения в рудника (участъка) преустановяват работа. За търсене, откриване и отстраняване на утечката, обикновено се изисква часове, които нерядко надхвърлят и една работна смяна. Това е неприятно и непродуктивно.

Апаратите за защита от утечки с предварителен контрол на изолационното съпротивление (ПКИ), в значителна степен компенсират неселективността на общомрежовата защита. Тези апарати контролират изолационното съпротивление в отделни зони на рудничната мрежа преди възстановяване на захранващото напрежение в контролираната зона. Ако се открие утечка в съответната зона, не се допуска включването (блокира се) съответния прекъсвач и в останалата част от мрежата напрежението

може да се възстанови, а машините и съоръженията в нея може да работят нормално.

Съчетавайки действието на апаратите за общомрежова защита от утечки с непрекъснат и предварителен контрол на изолационното съпротивление, системата придобива квази-селективно качество. При утечка в мрежата реакцията на АЗУ е неселективна – изключва се напрежението от главния прекъсвач към всички потребители, но при възстановяване на напрежението, благодарение на ПКИ, селективно се блокира включването на прекъсвача (контактора), захранващ зоната от мрежата с утечка.

Ефектът от комбинирането на защитите с непрекъснат и предварителен контрол на изолационното съпротивление е толкова по-голям и забележим, колкото е по-разклонена мрежата и е по-голям броя на електрифицираните машини и съоръжения. Инвестицията за апаратите за предварителен контрол (ПКИ) многократно се компенсира в тези случаи от намаляването (ликвидирането) на престоите от на селективното изключване и проблемите с търсене и отстраняването на възникналите утечки.

Разработените и произвежданите в СМС-С ЕООД апарати за защита от токови утечки са в съответствие с нормативните изисквания в Република България: Правилниците за безопасност и здраве [1,2,3] и БДС-10880-83 [4].

Апарати за общомрежова защита от токове на утечки с непрекъснат контрол на изолационното съпротивление.

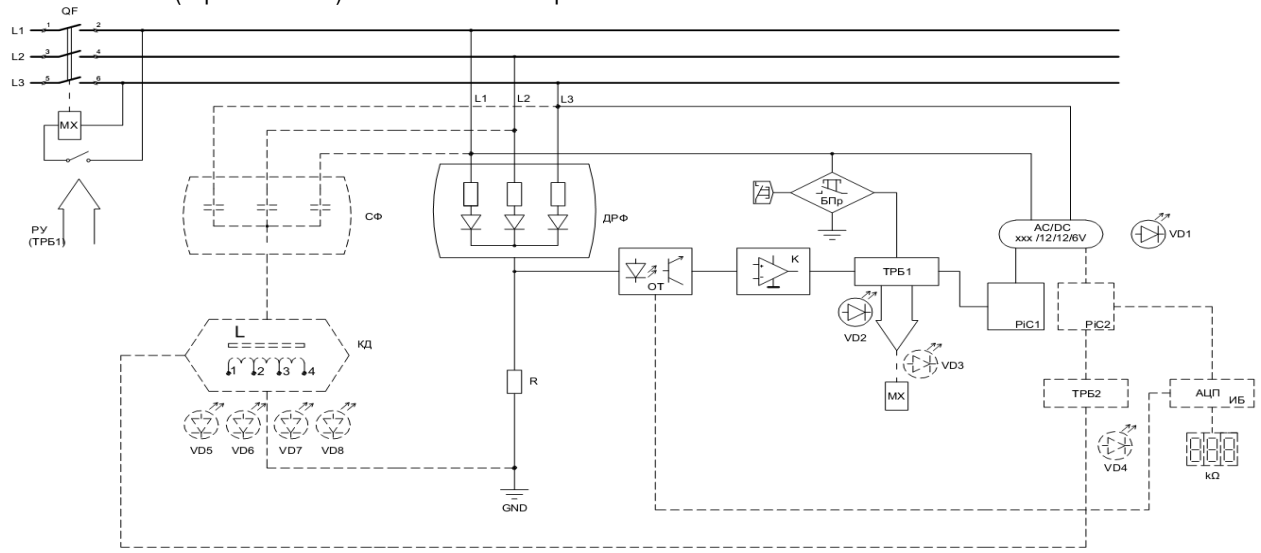
Обобщената структура на защитите с непрекъснат контрол на изолационното съпротивление в руднични IT мрежи до 1000V е показана на фиг.1.

За апаратите за защита от утечки с непрекъснат контрол на изолацията в трифазни и еднофазни мрежи с напрежение 220V AC (серии АЗУ-220) не се изисква измерване на изолационното съпротивление и компенсация на капацитета спрямо земята [4]. Това опростява схемите им, чиято структура е показана с плътни линии на фиг. 1.

Първоначално се разработиха и продължават да се произвеждат апаратите АЗУ-220-3/2, в които не е въведен автоматичен тест за изправност на устройството: Захранващият блок AC/DC е опростен, а не се използват микропроцесорният елемент PiC (PiC1 и PiC2).

Оперативното напрежение е постоянно, получено с диодно резистивния филтър (ДРФ), присъединен към мрежата. Оперативният ток, който е функция от изолационното съпротивление на мрежата спрямо земя, създава спад на напрежение в резистор R. За галванично разделение на сигнала от контролираната мрежа се използва оптрона (ОТ). Аналоговият сигнал от изхода на ОТ се подава към операционния усилвател с функция на компаратор К, който го сравнява с въведената настройка за задействане $R_{зад}$. Разликата от двата сигнала се усилва от транзистор и предизвиква задействане на бързодействащо изходящо реле от транзисторно – релейния блок ТРБ1. Нормално отворен контакт при задействане на релето затваря веригата на независимия изключвател МХ и главният прекъсвач QF прекъсва напрежението към защитаваната мрежа . С вграден в обвивката на апарата бутон TEST, може да се проверят функционалните качества на АЗУ. Тази проверка, ако се извършва ежесменно гарантира вероятност за отказ 10-3. На практика поради обективни фактори (отдаленост, която изисква време и усилия) и субективни причини (недисциплинираност и недооценка за последствията) това не се спазва и вероятността за отказ от практика достига недопустимо голяма стойност 10-1.

Забележка: При еднофазна защитавана мрежа, апаратът се присъединява към клеми L1 и L3.



Фиг. 1 Блокова схема на апарат за общомрежова защита от тока на утечка с непрекъснат контрол на изолационното съпротивление в IT мрежи

От две години се произвежда апарат с непрекъснат контрол на изолационното съпротивление АЗУ-220 АТ PiC с автоматично тестване на функционалните качества, при което вероятността да се работи с незащитена от утечка мрежа се намали с 3-4 степени и достига 10-7, с което се гарантира съответен, наистина минимален риск за поражения от електрически ток.

Благодарение на използван микропроцесорен чип Pic1, времето за тестване се синхронизира в интервала до 0,5s., а периода за автоматичната проверка е програмируем от 1 до 480min.

В апаратите за общомрежова защита на трифазна руднична IT мрежа с напрежение над 220V, например RU-380, са въведени допълнително означени с пунктирана линия функционални блокове:

Микропроцесор Pic2, се използва за измерване на изолационното съпротивление в кΩ, измервателен блок ИБ и триелементен цифров индикатор; периодичен автоматичен избор за големината на компенсиращата капацитета на мрежата индуктивност L посредством дросела КД присъединен към мрежата с капацитивния филтър СФ.

Критерият за избор на компенсиращ индуктивност (позиция от 1 до 4) е минимален ток при еднофазна утечка (при еднополюсен допир на човек). Оптимизационната задача се решава отново от Pic2 след предварително преобразуване на аналоговия сигнал от оптрона в цифров от АЦП. Избраната индуктивност 0-X1-X2-X3 се избира и фиксира през транзистърно – релейния блок ТРБ2 и се индикира от светодиодите VD5, VD6, VD7 и VD8.

Изборът на компенсиращиата индуктивност става по следния начин. Pic2 задава периода на последователно включване на всички индуктивности, като запомня измерените стойности на тока при еднофазна утечка. След това се избира минималната стойност (или най-близката до нея) и ТРБ2 трайно фиксира избраната стойност. Продължителността на избора е до 30s. Периодът за избор на компенсиращата индуктивност е програмируем от 10min до 24h. Индикира се от светодиода VD4.

След приключване на избора на компенсиращата индуктивност се инициира измерва изолационното съпротивление, което се отчита от цифровия индикатор в КΩ.

Апаратите за общомрежова защита от утечки е напрежение над 220V AC от по-новото поколение притежават унифицирана система за автоматично тестване на функционалност, изпълнявана от Pic 1 и ТРБ1. Тестът е с продължителност 0.5s, а периодът на тестване е програмируем от 1 min до 480min.

В апаратите съдържащи микропроцесори Pic е въведен контрол за целостта на веригата на независимия изключвател. Ако тя е прекъсната, свети червен светодиод VD3.

Още една особеност на техническото решение е насочена към повишаване на надеждността. Изходният сигнал от ТРБ1, задействащ изключвател МХ е дублиран със сигнал от микропроцесора Pic1.

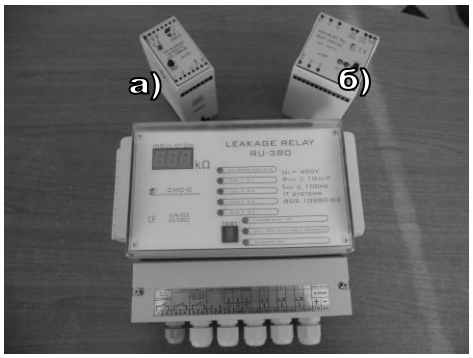
Освен описаните оптични сигнали, зелен светодиод VD2 сигнализира за наличието на стабилизирано напрежение от захранващите източници.

В апаратите за общомрежова защита от утечки е предвидена възможност за контрол на заземяването на уреда: за тестване се използва допълнителен заземител ADDGND, който е изолиран спрямо основния заземител GND, респективно към защитния проводник PE.

На фиг. 2 е показан външният вид на най-често използваните апарати за защита от утечки с непрекъснат контрол на изолационното съпротивление, а на таблица 1 са дадени технически параметри.

Таблица 1

№	Тарометър	RU 380V	АЗУ-М 220V	АЗУ-М-АТ PiC 220V
1	Обявено напрежение, V	400	230	230
2	Съпротивление при на задействане при еднофазна утечка, kΩ, не по-малко от :	10	7	7
3	Съпротивление на задействане при трифазна утечка, kΩ, не по-малко от:	30	21	21
4	Измервателен ток, mA, не по-голям от:	5	5	5
5	Продължителен ток, mA, не по-голям от:	25	15	15
6	Собствено време на изключване, ms	<80	<80	<80
7	Максимален капацитет на мрежата на фаза, μF	1.5	0.01	0.01
8	Устройства за автоматична компенсация на капацитета на мрежата:	Да	Не	Не
	• Време за избор на компенсираната индуктивност в, s:	30	-	-
	• Периодичност на теста (програмируема), h:	1÷24	-	-
	Автоматичен тест за самоконтрол:	Да	Не	Да
	• Продължителност на тестването, ms:	<0,5	-	<0,5
	• Периодичност на тестването (програмируема), min:	1÷480	-	1,25-480
10	LED индикатор за измерване на изолационното съпротивление, kΩ , с обхват до:	999	-	-
11	Размери на обвивката, mm:	185/ 213/ 105	45/ 75/ 110	70/ 75/ 110
12	Маса, kg:	2,500	0,300	0,450



Фиг.2. Апарат за защита от утечки с непрекъснат контрол на изолационното съпротивление:
а) АЗУ-М 220V02/3; б) АЗУ-М-АТ PIC с автоматичен тест за функционалност; в) RU-380 V-с автоматичен тест за функционалност, с измерване на изолационното съпротивление и с автоматична компенсация на капацитета на мрежата

Апарати за защита от токови утечки с предварителен контрол на изолационното съпротивление

Структурата на апаратите за защита от токови утечки с предварителен контрол на изолационното съпротивление спрямо земя ПКИ (PCI) е дадена на фиг.3. Захранването е с 24VAC, което се изправя (≈/=) и стабилизира (СТ). Операционият усилвател в режим на компаратор (К) сравнява зададената стойност на изолационното съпротивление с действителната (измерената). При измерена стойност по-малка от зададената, задейства транзистора в релейна схема (ТРБ1) и Н.З контакт не допуска включването на комутационния апарат – прекъсвач за фидерен кабел и контактор за потребител (двигател). Предварителният контрол се осъществява благодарение на Н.З. контакт на прекъсвача (QF)(контактора (К)), който допуска присъединяване към контролираната зона на транзисторно-релейния блок ТРБ2 с известно закъснение (3-4 s), за да се избегне влиянието на преходните процеси, съпътстващи изключването на фидерните кабели или на двигателите.

Присъединяването на трите фази на оперативното напрежение към зоната за контрол е осъществено по следните начини: към една от фазите за двигателите IN (за ПКИ-К (PCI-C); с трифазен резистивен филтър (РФ) за контрол на изолациите на фидерните кабели.

Функционалните качества се тестват с присъединен с бутон за проверка, вграден в кутията на апарата (Б Пр) или изнесен дистанционно.

Състоянието на ПКИ (PCI) се регистрира със светодиоди VD2 за наличие на стабилизирано напрежение и VD1 при задействане на апарата.

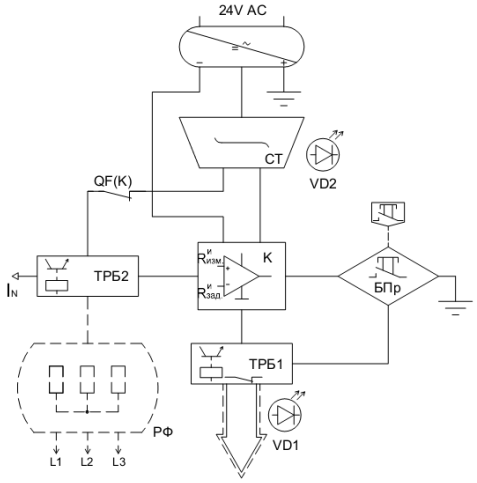
Зоните за контрол на двата типа апарати: ПКИФ (PCI-F) – за контрол на фидерни кабели и ПКИ-К (PCI-C) – за контрол на консуматори (изолацията на на двигатели и захранващи ги кабели, са показани на фиг.4.

За предварителен контрол на изолационното съпротивление на фидерните кабели с ПКИ-Ф (PCI-F) е необходимо:

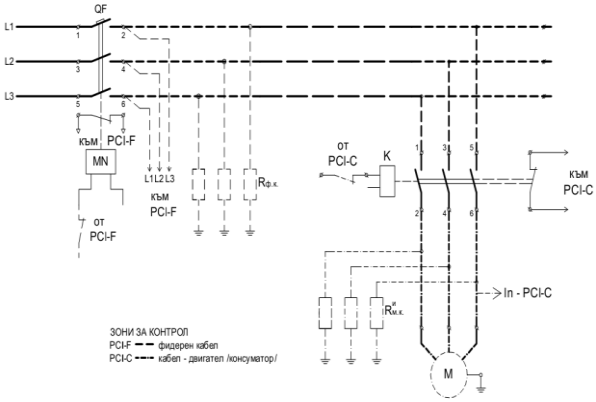
- Осъществяване на галванична връзка между трите жила на кабела с резистивният филтър РФ, присъединен към L1, L2 и L3;
- Прекъсвачът QF да притежава помощен Н.З. контакт и минимално напрежителен изключвател MN, във веригата, на който въздейства Н.З.К. на PCI-F.

За предварителен контрол на изолационното съпротивление на двигател и захранващия го кабел с ПКИ-К (PCI-C) Е необходимо:

- Присъединяване на апарата към една от фазите (с IN);
- Контакторът да има помощен Н.З. контакт, позволяващ само предварителен контрол, а във веригата на бобината му се свързва Н.З.К. на ПКИ-К (PCI-C);



Фиг.3. Блокова схема на апарат за защита от токови утечки с предварителен контрол на изолационно съпротивление



Фиг.4. Зони за предварителен контрол на изолационното съпротивление на фидерни кабели с ПКИ-Ф (PCI-F) и на двигатели с ПКИ-К (PCI-C) за трифазна IT мрежа НН

Необходимите условия за функциониране на предварителния контрол на изолационнотото съпротивление са две:

- Наличие на захранващото напрежение 24 V AC;
- Изключено състояние на прекъсвача QF за контрол на изолацията на фидерния кабел и на контактора К- за контрол на изолацията на двигателите.;

  Електрическите схеми, съставните компоненти, платки и обвивки за апаратите от типа ПКИ-Ф (PCI-F) и ПКИ-К (PCI-C) са в максимална степен унифицирани. Техническите им параметри са систематизирани в таблица 2.

На фиг.5 е даден външния вид на устройствата за предварителен контрол на изолационното съпротивление PCI-F и PCI-C, произвеждани в СМС-С ЕООД

Фиг.5 Апарати за защита от токови утечки ПКИ (PCI) с .Предварителен контрол на изолационното съпротивление: а) на фидерни кабели: ПКИ –Ф (PCI-F) и б) на консуматори: ПКИ-К (PCI-C).

Таблица 2

Напрежение на мрежата V	**до 220**	**500**	**380 и 660**	**1000**	**1140**
Съпротивление на блокиране, kΩ, не по-малко от:	15	25	30	50	100
Захранващо напрежение, V AC	24				
Оперативно напрежение, V DC	34				
Оперативен ток, mA, DC	<5				
Параметри на превключващите контакти	8A/400 V AC			6A/800 V AC	
Параметри на блокиращите контакти	8a/250 VAC				
Габарити, mm:	50/75/110			70/75/110	
Маса, kg	0.25			0.3	

Заключение

Описаните апарати за защита от токови утечки с непрекъснат и предварителен контрол на изолацията в руднични мрежи НН с изолирана неутрала са съвременни технически решения, синтезирани в хибридни схеми, съчетаващи положителните качества на електромеханични елементи от ново поколение и на електронни елементи със средна и висока степен на интеграция.

Литература

1. Правилник за безопасността на труда в подземните въглищни рудници, София 1992г.
2. Правилник по безопасността на труда при разработване на находища по подземен начин. ДИ „Техника“, София, 1971.
3. Правилник за безопасността на труда при разработване на находища по открит начин. София 1996.
4. БДС 10880 Съоръжения електрически руднични . Апарати за защита от токовете ма утечка за мрежи с напрежение до 1200V с изолиран.Технически изисквания и методи за изпитване. София, 1983.
5. Ментешев М. Безопасно използване на електрическата енергия и контрол на изолацията в рудничните електрически мрежи за ниско напрежение. Дисертация за получаване на научна степен. Доктор на техническите науки, София, 1983.
6. Архив на СМС-С ЕООД. Апарати за защита от утечка с непрекъснат контрол на изолационното съпротивление. 2001-2012г.
7. Архив на СМС-С ЕООД. Апарат за защита от утечки с предварителен контрол на изолационното съпротивление ПКИ (PCI) – 2012г.

ОТНОСНО ЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ПЕЩИ РАБОТЕЩИ С НАМАЛЕН БРОЙ НАГРЕВАТЕЛИ

Стефан Чобанов[1], Кирил Джустров[2], Менто Ментешев[3]

[1] СМС-С ЕООД, Пирдоп e-mail: stefan.chobanov@cmc-c.com
[2] Минно-геоложки университет "Св. Ив. Рилски", 1700 София e-mail: justrov@mgu.bg
[3] СМС-С ЕООД, Пирдоп e-mail: mento.menteshev@cmc-c.com

РЕЗЮМЕ: В статията е анализирана енергийната ефективност на електрически пещи, работещи с намален брой нагреватели. Направени са теоретичен и теоретично-експериментален анализ на технологичния цикъл на работа на пещите. Теоретично и експериментално е доказана ниската енергийна ефективност при работа с намалена мощност.

REGARDING ELECTRICAL EFECTIVITY OF ELECTRICAL FURNACES OPERATING WITH REDUCES NUMBER OF HEATERS

Stefan Chobanov [1], Kiril Dzhustrov[2], Mento Menteshev [3]
[1] CMC-C Ltd, Пирдоп e-mail: stefan.chobanov@cmc-c.com
[2] University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia e-mail: justrov@mgu.bg
[3] CMC-C Ltd, Пирдоп e-mail: mento.menteshev@cmc-c.com

ABSTRACT. In this article is analyzed the energy efficiency of electric furnaces, operating with a reduced number of heaters. Theoretical and theoretic-experimental analysis of the technological cycle of operation of the furnace is prepared. Theoretically and experimentally is proved the low energy efficiency when operating with reduced power output

В зависимост от необходимата температура, електрическите пещи могат да изпълняват своите функции и с по-малък брой нагреватели. Най-често това се случва при прекъснати (изгорели) нагреватели, когато с работещите е възможно да се достигне технологично необходимия температурен режим. Но тази възможност се осъществява с цената на повишен разход на електрическа енергия, както по абсолютна стойност така и относително, с нарастването на специфичното потребление на ел. енергия за термичната обработка на технологичния продукт.

Идеята за настоящият анализ възникна при обследване на енергийна ефективност в промишлена система [2], в която се използуват пещи и сушилни с електрически нагреватели. Експериментално се доказа, че при работа със 75% от нагревателите, специфичният и абсолютният разход на електрическа енергия са почти с 22% по-високи. При това в процеса на първоначалното загряване за достигане на технологично необходимата температура се изразходва около три пъти повече ел. енергия, а в квазистационарния процес, когато регулаторът поддържа температура в зададен интервал $\theta_{max} - \theta_{min}$, разхода на енергия се увеличава с около 11% [2].

Теоретичен анализ

Анализът е направен при следните допускания:

- пещта (сушилнята) се разглежда като хомогенно в топлинно отношение тяло
- отделената топлинна енергия е от електрически нагреватели с еднаква мощност P_1. Техният брой е n, а броя на работещите е m. Така електрическата мощност, която загрява в общия случай е

$$P = \frac{m}{n} P_н = k_н P_н \qquad (01)$$

където $P_н$ е общата номинална инсталирана мощност,

$$P_н = nP_1 \qquad (02)$$

- топлинната времеконстанта при загряване $T_н$ и охлаждане $T_{охл}$ са еднакви

$$T_н = T_{охл} = T \qquad (03)$$

- топлинният капацитет C и топлообменът (G_T) не зависят от броя на работещите нагреватели

Така топлинният процес се описва достатъчно точно с диференциалното уравнение [1], приемайки, че се осъществява с лъчение и конвекция

$$P = C_T \frac{d\theta}{dt} + G_T \theta \qquad (1)$$

където:

C_T е топлинния капацитет
G_T – топлинната проводимост
θ – прегряването (над температурата на околната среда)

При нормални условия ($t=0$ и $\theta = \theta_0$) и отчитайки (1) решението е:

$$\theta = \frac{k_н P_н}{G_T}\left(1 - e^{-\frac{G_T}{C_T}t}\right) + \theta_0 e^{-\frac{G_T}{C_T}t} \qquad (2)$$

при $t \to \infty$, температурата се установява

$$\theta = \frac{k_н P_н}{G_T} = \theta_{уст} \qquad (3)$$

а ако се означи $\frac{C_T}{G_T} = T$ – топлинна времеконстанта, чиято стойност е числено равна на времето за достигане на $\theta_{уст}$ без топлообмен с околната среда

$$\theta = \theta_{уст}\left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right) + \theta_0 e^{-\frac{t}{T}} \qquad (4)$$

Ако пещта (сушилната) се включва, след като е придобила температурата на околната среда, т.е. $\Delta\theta_0 = 0$, температурата ще нараства по

$$\theta = \frac{k_Н P_Н}{G_T}\left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right), \qquad (5)$$

и когато достигне до максималната температура, зададена от регулатора $\theta_{\max.p.}$, за време $t = t_{нагр.}$ уравнение (5) придобива вида

$$\theta_{\max.p.} = \frac{k_Н P_Н}{G_T}\left(1 - e^{-\frac{t_{нагр.}}{T}}\right) \qquad (6)$$

от където може да се определи времето за достигане на $\theta_{\max.p.}$

$$t_{нагр.н} = T \ln \frac{1}{1 - \frac{\theta_{\max.p.} G_T}{k_н P_н}} = T \ln \frac{1}{1 - \frac{\theta_{\max.p.}}{\theta_{уст}}} \qquad (7)$$

Електрическата енергия, потребена за достигане на $\theta_{\max.p.}$ е:

$$W_{н.н.} = k_н P_н t_{нагр.н} = k_н P_н T \ln \frac{1}{1 - \frac{\theta_{\max.p.}}{\theta_{уст}}} \qquad (8)$$

Или

$$W_{н.н.} = k_н P_н \frac{C_T}{G_T} \ln \frac{1}{1 - \frac{\theta_{\max.p.} G_T}{k_н P_н}} \qquad (9)$$

От (9) се вижда, че зависимостта на изразходваната енергия за достигане на $\theta = \theta_{\max.p.}$ от $k_н$, т.е. от броя на работещите нагреватели е в неявен вид, тъй като зависи и от времето $t_{нагр.}$

След достигане на $\theta_{\max.p.}$, регулаторът изключва нагревателите и започва процес на намаляване на температурата (охлаждане), описан с уравнението

$$\theta = \theta_{\max.p.} e^{-\frac{t}{T}} = \frac{k_н P_н}{G_T}\left(1 - e^{-\frac{t_{нагр.н}}{T}}\right) e^{-\frac{t}{T}} \qquad (10)$$

и достигайки настройката на регулатора $\theta_{\min.p.}$ за време $t_{охл}$

$$\theta = \frac{k_н P_н}{G_T}\left(1 - e^{-\frac{t_{нагр.н}}{T}}\right) . e^{-\frac{t_{охл}}{T}} = \theta_{\max.p} . e^{-\frac{t_{охл}}{T}} \qquad (11)$$

откъдето може да се определи и времето за достигане на $\theta_{\min.p.}$

$$t_{охл} = T \ln \frac{\theta_{\max.p}}{\theta_{\min.p}} = \frac{C_T}{G_T} \ln \frac{\theta_{\max.p}}{\theta_{\min.p}} \qquad (12)$$

След няколко цикъла пещта (сушилната) преминава в квазистационарен режим, при което превишението на температурата се движи в границите от $\theta_{\min.p.}$ до $\theta_{\max.p.}$

Тогава $\theta_{\max}$ ще се достигне за време $t_{нагр}$

$$\theta_{\max} = \frac{k_н P_н}{G_T}\left(1 - e^{-\frac{t_{нагр}}{T}}\right) + \theta_{\min.p} . e^{-\frac{t_{нагр}}{T}} \qquad (13)$$

нагревателите са включени за време

$$t_{нагр} = \frac{C_T}{G_T} \ln \frac{G_T \theta_{\min.p} - k_н P_н}{C_T \theta_{\max.p} - k_н P_н} \qquad (14)$$

Относителната продължителност на нагряване от (12) и (14) е:

$$ПВ_{ст} = \frac{t_{нагр}}{t_{охл} + t_{нагр}} = \frac{\frac{C_T}{G_T} \ln \frac{G_T \theta_{\min.p} - k_н P_н}{C_T \theta_{\max.p} - k_н P_н}}{\frac{C_T}{G_T} \ln \frac{\theta_{\max.p}}{\theta_{\min.p}} + \frac{C_T}{G_T} \ln \frac{G_T \theta_{\min.p} - k_н P_н}{C_T \theta_{\max.p} - k_н P_н}}$$

след преобразуване

$$ПВ_{ст} = \ln\left[\frac{G_T\theta_{\min.p} - k_н P_н}{C_T\theta_{\max.p} - k_н P_н}\left(1 - \frac{\theta_{\max.p}}{\theta_{\min.p}}\right)\right] \qquad (15)$$

Потребената енергия за времето в квазистационарен режим с продължителност $t_{ст}$ ще бъде:

$$W_{ст} = k_н P_н ПВ_{ст} t_{ст} =$$
$$= k_н P_н \ln\left[\frac{G_T\theta_{\min.p} - k_н P_н}{C_T\theta_{\max.p} - k_н P_н}\left(1 - \frac{\theta_{\max.p}}{\theta_{\min.p}}\right)\right].t_{ст} \qquad (16)$$

като $t_{ст} = t_\Sigma - t_{нагр.н}$

Общата потребена ел. енергия за производствения процес с продължителност t_Σ ще бъде от (9) и (16)

$$W_\Sigma = W_{н.н} + W_{ст} = k_н P_н \frac{C_T}{G_T}\ln\frac{1}{1 - \frac{\theta_{\max.p}.G_T}{k_н P_н}} +$$
$$+ k_н P_н \ln\left[\frac{G_T\theta_{\min.p} - k_н P_н}{C_T\theta_{\max.p} - k_н P_н}\left(1 - \frac{\theta_{\max.p}}{\theta_{\min.p}}\right)\right].t_{ст}$$

$$W_\Sigma = k_н P_н\left\{\frac{C_T}{G_T}\ln\frac{1}{1 - \frac{\theta_{\max.p}.G_T}{k_н P_н}} + \ln\left[\frac{G_T\theta_{\min.p} - k_н P_н}{C_T\theta_{\max.p} - k_н P_н}\left(1 - \frac{\theta_{\max.p}}{\theta_{\min.p}}\right)\right].t_{ст}\right\} \qquad (17)$$

Както можеше да се очаква, консумираната енергия зависи от броя на работещите нагреватели, но (17) показва, че тази зависимост е сложна. Броят на работещите еднотипни нагреватели, отчетен с коефициента $k_н$ участвува не само като множител пред изразите за енергията в преходния и квазистационарния процес, а и в изразите под логаритмите.

Теоретично този израз може да бъде изследван количествено завръзката $W = f(k_н)$ като се използува изчислителна техника, но резултатите ще бъдат и функция на независимите променливи C_T, G_T, $\theta_{\min.p.}$, $\theta_{\max.p.}$ и $P_н$. Последните имат стойности значително различаващи се за всеки конкретен случай, а параметрите характеризиращи топлинния капацитет C_T и топлинната проводимост G_T много трудно може да бъдат определени с достатъчна точност.

Ето защо за количествена оценка трябва да се отдаде предпочитание към теоретично експерименталния подход в основата на който са данни от достатъчно точни измервания на параметри като: Време на преходния процес, до достигане на квазистационарната фаза; продължителността на квазистационарния режим и характеризиращия го коефициент на включване ПВ, свързан с температурите на превключване на регулатора $\theta_{\min.p.}$ и $\theta_{\max.p.}$.

Времената може да се отчетат от запис на консумираната мощност (енергия) за един технологичен цикъл или чрез хронометриране и да се използуват като база данни за достатъчно точна количествена оценка на негативното влияние на излезлите от работа нагреватели върху енергийната ефективност на електрическите пещи.

Теоретично-експериментален анализ

Ще се сравнят режимите на работа на пещ с мощност $P'=P_н$ в която всички нагреватели работят ($k'_н = 1$) и на пещ с мощност $P''<P_н$ работеща с част от нагревателите си ($k''_н < 1$), при което очевидно $P'>P''$ или $P'=k_н P_н$, и те ще достигнат лимитираната от регулатор максимална температура $\theta_{\max.p.}$ за различно време, съответно t'_1 и t''_1 (фиг. 1), тъй като

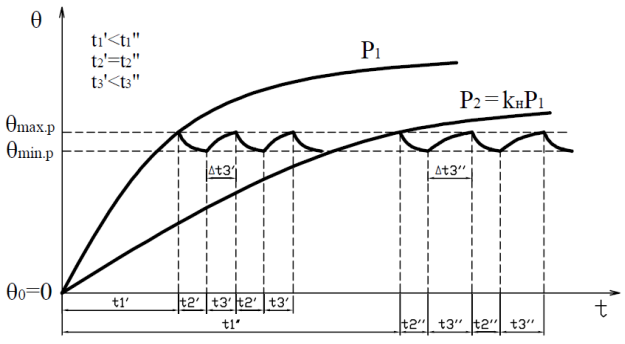
$$\theta_{\max} = \frac{P_н}{G_T}\left(1 - e^{-\frac{t'_1}{T}}\right), \qquad (18)$$

и $\theta_{\max} = \frac{k_н P_н}{G_T}\left(1 - e^{-\frac{t''_1}{T}}\right)$

където: $t'_1 < t''_1$
$k_н<1$
$T'=T''=T$

Енергията, която ще е необходима в този преходен процес за достигане на $\theta_{\max.p.}$ от двете пещи ще бъде съответно

$$W'_n = P_н t'_1$$
$$W''_n = k_н P_н t''_1 \qquad (19)$$



Фиг. 1. Режими на работа на пещите

След достигане на $\theta_{\max.p.}$, регулаторът изключва пещта ($P'=P''=0$) и те се охлаждат до $\theta_{\min.p.}$ по уравненията:

$$\theta_{\min.p.} = \theta_{\max.p}.e^{-\frac{t'_2}{T}} \qquad (20)$$

$$\theta_{\min.p.} = \theta_{\max.p}.e^{-\frac{t_2^{"}}{T}},$$

от което следва, че $t_2^{'} = t_2^{"} = t_2$,

а $t_2 = T \ln \frac{\theta_{\max.p}}{\theta_{\min.p}}$ (21)

Когато се достигне $\theta_{\min.p.}$, регулаторът включва нагревателите и температурата ще расте съответно до достигане на $\theta_{\max.p.}$ по уравненията:

$$\theta_{\max} = \frac{P_H}{G_T}\left(1 - e^{-\frac{t_3^{'}}{T}}\right) + \theta_{\min.p}.e^{-\frac{t_3^{'}}{T}},$$

$$\theta_{\max} = \frac{k_H P_H}{G_T}\left(1 - e^{-\frac{t_3^{"}}{T}}\right) + \theta_{\min.p}.e^{-\frac{t_3^{"}}{T}} \quad (22)$$

Очевидно е, че $t_3^{'} < t_3^{"}$, което следва от (22) и фиг. 1.

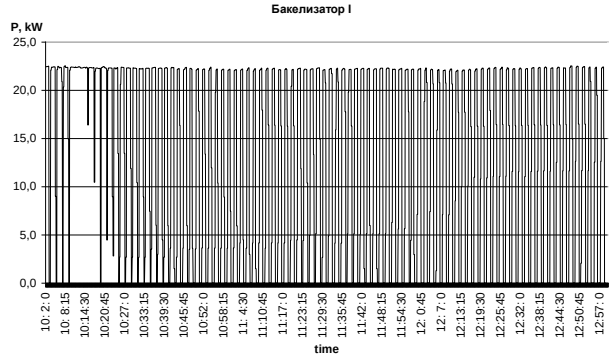
Енергията, необходима за изменението на температурата от $\theta_{\min.p.}$ до $\theta_{\max.p.}$ ще бъде различна

$$W_c^{'} = P_H t_3^{'}$$

$$W_c^{"} = k_H P_H t_3^{"} \quad (23)$$

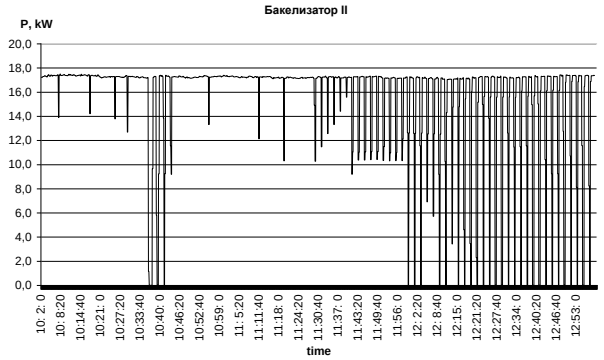
След няколко цикъла на превключване пещите попадат в квазистационарен режим, при който температурата се мени в границите зададени с регулатора: при нагряване до $\theta_{\max.p.}$ и охлаждане до $\theta_{\min.p.}$

На фиг. 2 и фиг. 3 са показани експериментално получени записи на мощността на две еднакви пещи – Бакелизатори I и II в ЗАИ Берковица [2]. Мощността, която консумират е съответно 23kW и 17,5kW, като вторият бакелизатор (II) има изгорял нагревател. И двата бакелизатора са заредени с еднакво количество абразивни дискове. Коефициентите на натоварване по мощност са $k_H^{'} = 1$ и $k_H^{"} = 0{,}75$.



Фиг. 2. Активна мощност на Бакелизатор I

От записите на мощността (фиг. 2 и фиг. 3) се отчитат мощността, продължителността на преходния и квазистационарния режим, както и времената на включване и изключване на нагревателите от регулатора, поддържащ температурата в интервала $\theta_{\min.p.}$ до $\theta_{\max.p.}$.



Фиг. 3. Активна мощност на Бакелизатор II

Посочените данни и резултатите по изведените зависимости са систематизирани в следната таблица

Таблица 1

Параметър	Бакелизатор I	Бакелизатор II
Инсталирана мощност, kW	21,5	16,5
Брой на работещите нагреватели	4	3
Единична мощност на нагревателите, kW	5	5
Време за технологичен цикъл, h	18	18
Средна мощност в преходния режим, kW	23	17,5
Средна мощност в квазистационарния режим, kW	7,82	9,27
Време за достигане на $\theta_{\max.p.}$, min	25	95
Енергия, консумирана в преходния режим, kWh	9,58	27,71
Продължителност на включване ПВ в квазистационарния режим, %	34	53
Енергия, консумирана в квазистационарния режим, kWh	137,47	152,21
Обща консумирана енергия за технологичния цикъл, kWh	147,05	179,92

Резултатите, систематизирани в таблицата, дават достатъчно основание да се направят следните по-съществени количествено изразени заключения, със значимост надхвърляща конкретните условия в ЗАИ:

1. В преходния процес, до достигане на квазистационарния режим в който температурата се изменя в границите $\theta_{\min.p.}$ и $\theta_{\max.p.}$, Бакелизатор II (с $0{,}75P_н$) е консумирал приблизително 3 пъти повече енергия при 25% по-малка мощност, но с 3,8 пъти по-голяма продължителност по време.

2. В квазистационарния режим при охлаждане ($\theta_{max.p.} \rightarrow \theta_{min.p.}$) времената на паузите са равни $t_2^{'} = t_2^{"}$, а при загряване $t_3^{'} \approx 2t_2^{"}$, което се отразява на параметъра ПВ: $ПВ^{'} < ПВ^{"}$, като продължителността на включване при Бакелизатор II е с 55,9% по-голяма спрямо тази на I. Средната мощност, консумирана от Бакелизатор II е 18,5% по-голяма от Бакелизатор I, а енергията – с 10,72%.
3. За целия технологичен цикъл съдържащ преходен и квазистационарен режим Бакелизатор II е консумирал 22,3% повече ел. енергия, спрямо Бакелизатор I. Тази числова характеристика се отнася и за показателя специфично потребление на енергия (kWh/t), тъй като количеството абразивни дискове, зареждани за термична обработка са еднакви.
4. Практичният извод, който се налага от настоящият анализ е, че за минимизиране на разхода и съответно на специфичното потребление на ел. енергия, не трябва да се допуска работа на ел. пещи с изгорели (изключени) нагреватели и това е една възможност за сериозно подобряване на енергийната ефективност.

Направените изводи може да се екстраполират и към пещи с течни и газообразни горива, където трябва също да се изключва режим под номиналния за икономия на гориво. При режим с непълно топлинно натоварване специфичният разход на гориво ще бъде по-голям, а енергийната ефективност – по-малка.

Литература

Доклад за обследване на промишлената система на Завод за абразивни инструменти (ЗАИ) гр. Берковица, 2008/2009г. Архив СМС-С ЕООД

Основы теории электрических аппаратов, под ред. Буткевича, “Высшая школа”, М, 1970

РЕЖИМИ НА РАБОТА НА НЕУТРАЛАТА В ЕЛЕКТРИЧЕСКИТЕ МРЕЖИ СРЕДНО НАПРЕЖЕНИЕ

Владимир Перпелицев, Иван Стоилов

Минно-геоложки университет „Св.Иван Рилски",1700 София

РЕЗЮМЕ: Направен е обзор на прилаганите режими на работа на неутралата в електрическите мрежи средно напрежение по света и у нас. Основно е разгледана системата със заземен през дъгогасителен реактор звезден център. Изведени са аналитични зависимости за напрежението с нулева последователност , напреженията спрямо земя и тока на земно съединение. Коментирани са предимствата и недостатъцците на системата със заземена неутрала през дъгогасителен реактор.

SISTEM EARTHING IN THE MIDDLE VOLTAGE ELECTRICAL GRIDS

Vladimir Perpelitsev, Ivan Stoilov,
University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia

ABSTRACT: In the report is made survey on the used system earthing in the middle voltage electrical grids around the world and in our country. Underlying is considered sistem earthing with Petersen coil. They are led analytic equations for voltage with zero succession, voltages compared to earth and earth fault current. It's made analyses for advantages and disadvantages of system earthing with Petersen coil.

1.1 Режими на работа на неутралата на мрежите средно напрежение по света.

В световната практика се използват следните начини на заземяване на звездния център на трансформаторите (неутралата) в мрежите средно напрежение:
-с изолиран звезден ценър;
-със заземен през дъгогасителен реактор звезден център;
-със заземен през активно (нискоомно или високоомно) съпротивление звезден център;
-със директно заземен звезден център.

В таблица 1 са дадени примери за начините на заземяване на неутралата в различните страни [10].

Таблица 1

Страна	Номинално Напрежение в kV	Начин на заземяване на неутралата			
		Изолирана	Дъгогасящ реактор	Резистор	Директно заземена
Русия	6-35	+	+		
Австралия	11-12			+	+
Канада	4-25			+	+
САЩ	4-25			+	+
Испания	10-30			+	+
Италия	10-20	+			
Португалия	10-30			+	
Франция	12-24			+	
Япония	6,6			+	
Германия	10-20		+		
Австрия	10-30		+		
Белгия	6,3-17			+	
Великобритания	11			+	+
Швейцария	10-20	+	+		
Финландия	20				

Както се вижда от таблица 1 изолираната неутрала не намира широко приложение. Съществен недостатък е, че при поява на земно съединение, ако то не бъде изключено, може да възникнат и други земни съединения,което да доведе до изключването на няколко кабелни извода или електропровода.

В Русия заземяването на неутралата през дъгогасителен реактор намира приложение при разклонените кабелни мрежи на промишлени предприятия и градове. В много западни страни като Германия, Австрия, Швейцария, Финландия, Швеция този режим на заземяване се използва основно в мрежи с въздушни линии.

Заземяването чрез активно съпротивление намира най-широко приложение в световен мащаб, с изключение на Русия.

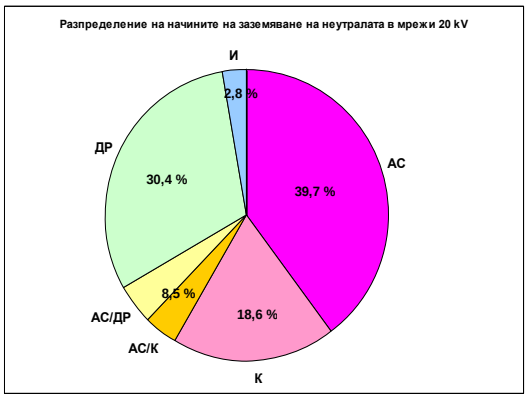
При заземяване на неутралата през високоомно съпротивление, токът в мястото на земното съединение, трябва да е равен или по голям от капацитивния ток в мрежата.

При нискоомно заземление на неутралата се създава ток от порядъка на 10-2000А.

Режимът с директно заземена неутрала е широко разпространен в САЩ, Канада, Австралия, Великобритания.Той намира широко приложение в четирипроводните въздуши линии средно напрежение 4-25kV, където от захранващия трансформатор до понижаващите трансформатори, освен фазовите проводници се изтегля и нулевия проводник. Този метод на заземяване не се използва при наличие на високоволтови елктродвигатели,тъй като токът на еднофазно земно съединение достига няколко килоампера,което води до повреждането им.

1.2 Режими на работа на неутралата на мрежите средно напрежение у нас.

Реализираният режим на работа на неутралите на захранващите електрическите уредби силови трансформатори на страна СрН, за най-широко използваното номинално напрежение – 20 kV, е илюстриран на фиг. 1[3]. Както се вижда, на практика се използват всички основни режими на заземяване на неутралата (АС - активно съпротивление; ДР – дъгогасителен реактор(и); К - комбинирано; И - изолирана, както и комбинации от тях (АС/ДР; АС/К).



Фиг. 1

Проблемите на мрежите средно напрежение , работещи с изолиран звезден център, са предмет на множество публикации[1,2,7]. Предложеният подход в [8] за аналитично изразяване на основните електрически параметри дава в по-обобщена форма зависимостите между характерните величини. Този подход ще бъде използван за извеждане на аналитичните зависимости в мрежите средно напрежение , работещи с компенсирана неутрала.

2.1 Система със заземен през дъгогасителен реактор звезден център

Този начин на заземяване на неутралата се прилага главно при кабелни и въздушно кабелни разклонени мрежи с голяма обща дължина. За присъединяване на компенсиращата индуктивност се прилагат специални трансформатори за извеждане на неутралата със свързване на намотките Y-0/D или Z-0. При еднофазно земно съединение в мрежата дъгогасящият реактор създава в мястото на повредата индуктивна съставяща равна на капацитивния ток . При това сумарният ток в мястото на повредата става практически равен на нула и първото възникнало в мрежата еднофазно земно съединение може да не се изключва. В практиката се използуват реактори с различни методи за регулиране на индуктивността: на степени-чрез промяна на брой на включените намотки ; плавно- чрез реактори с подмагнитване или с изменение на въздушната междина в магнитната система (плунжерни реактори).

Преимуществата на този метод на заземяване на неутралата са[4,10]:

-малък ток в мястото на повредата;

- не е необходимо веднага да се изключва първото земно съединение;

- възможност за самоликвидация на еднофазното земно съединение, възникнало на въздушни линии (при точна настройка на дъгогасящия реактор в резонанс);

- изключване на феророзонансни процеси , свързани с наситени измервателни напрежителни трансформатори.

Недостатъците на този режим на работа на звездния център на трансформатора са:

- възможност за възникване на дъгови пренапрежения при значително разстройване на компенсацията;

- възможност за възникване на многоместни повреди при продължителни дъгови земни съединения;

- възможност за прерастване на еднофазното земно съединение в двуфазно при значително разстройване на компенсацията;

- трудно се открива мястото на повредата;

- съществува опасност от електропоражения на персонала при продължителна работа в режим на еднофазно земно съединение;

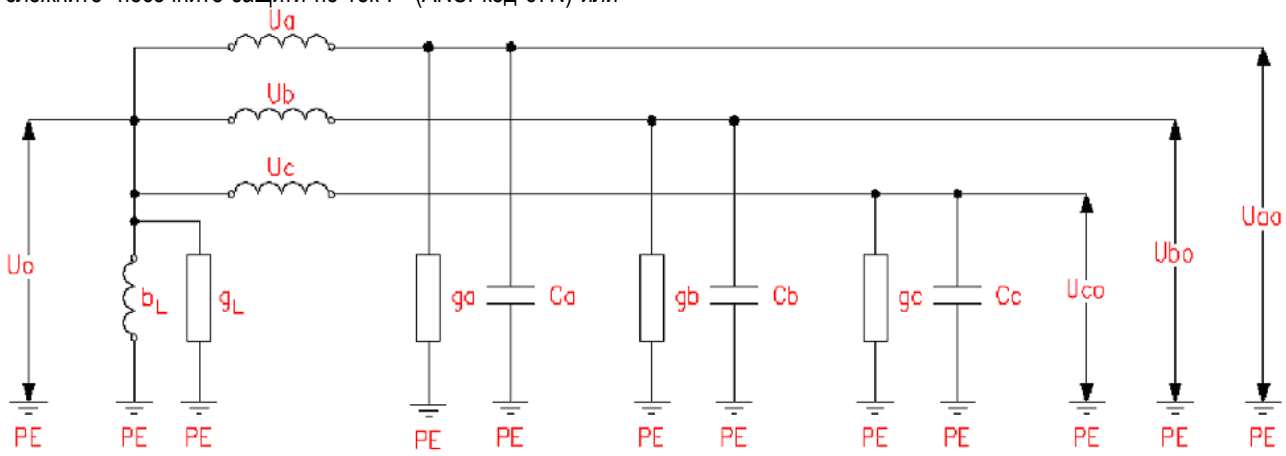
- трудно се обезпечава правилната работа на релейната защита от земни съединения, тъй като токът в повредения извод е незначителен.

Електрическите мрежи в откритите рудници са изградени от силно разклонена въздушно-кабелна мрежа. Кабелната изолация, за разлика от въздушната, не е самовъзстановяваща се. Следователно за рудничните мрежи самовъзстановяването не е съществено предимство. Не съществува и като предимство възможността за работа в режим на еднофазно земно съединение, поради изискванията на Правилника за безопасността на труда при разработване на находищата по открит начин[6].

В мрежите за средно напрежение в редица европейски страни (Германия, Франция, Италия, Полша, Румъния,Финландия, Швеция,Норвегия, а напоследък и в Русия) широко се използува заземление на неутралата през дъгогасящ реактор с шунтиращ резистор. Нисковолтният шунтиращ резистор за напрежение 500 V се свързва чрез специален контактор към вторичната намотка на дъгогасящия реактор. Това техническо решение позволява организиране на селективна защита от земни съединения с прости токови защити(ANSI код 51G) така и с по-сложните- посочните защити по ток I^{I_0} (ANSI код 67N) или активната мощност с нулева последователност(ANSI код 32). Анализът на публикациите относно режима на работа на звездния център на мрежите средно напрежение показва, че голяма част от авторите препоръчват като най перспективен режима на заземяване с дъгогасителен реактор плунжерен тип, с допълнителна вторична намотка за включване на резистор и микропроцесорно автоматично управление. Противниците на този режим изтъкват като недостатък главно сложността на устройствата за управление.

2.2Аналитични зависимости в системи със заземен през дъгогасителен реактор звезден център.

На фиг 2 е дадена заместваща схема на система със заземен през дъгогасителен реактор звезден център.



Фиг.2

В компенсираните мрежи напрежението на неутралата $\dot{U}_0$,както и напреженията на фазите спрямо земя $\dot{U}a_0, \dot{U}b_0, \dot{U}c_0$ и токоветве на утечка са функции на:

- формата и амплитудата на фазните напрежения $\dot{U}a$, $\dot{U}b$, $\dot{U}c$;
- активните изолационни проводимости g_a , g_b , g_c ;
- съсредоточените утечки g_a^I , g_b^I , g_c^I ;
- капацитетите спрямо земя Ca, Cb, Cc;
-активната проводимост на дросела спрямо земя- g_L ;
-индуктивната проводимост на дросела спрямо земя-

$$b_L = \frac{1}{\omega.L} ;$$

-активните и индуктивните проводимости на фазовите проводници;
- големината на товара в линията;

При теоретични изследвания се приема синусуидалност на фазните напрежения, линейност и съсредоточеност на всички проводимости, еднаквост на потенциала във всички точки на мрежата.

В общия случай се допуска че, съществува несиметрия на активната изолационна проводимост $g_a \neq g_b \neq g_c$, несиметрия в капацитета спрямо земя Ca ≠ Cb ≠ Cc, и е възможна поява на съсредоточени утечки и в трите фази $g_a^I \neq g_b^I \neq g_c^I$ [8]. При възприетите допускания напрежението на звездния център Uo се определя по формулата:

$$\dot{U}o = U\frac{g_a + g_a^I + a^2(g_b + g_b^I) + a(g_c + g_c^I) + j(Ca + a^2.Cb + a.Cc)}{g_a + g_a^I + g_b + g_b^I + g_c + g_c^I + j(Ca + Cb + Cc) + (g_L - jb_L)} ;(1)$$

Експерименталните изследвания на електро-разпределителните мрежи средно напрежение в рудниците у нас показват,че капацитивната изолационна проводимост е многократно по-голяма от активната 10^3до 10^4 пъти. Следователно анализът на тези мрежи с достатъчна точност може да се направи, като се пренебрегне несиметрията в активната изолационна проводимост[9].

При заземен през дъгогасителен реактор звезден, център уравнението за напрежението на неутралата $\dot{U}o$ при еднофазна утечка във фаза А е:

$$\dot{U}o = U\frac{3j.\omega.C_0\dot{K}c+g_a^I}{3\omega.C_0(tg\delta+j)+g_a^I+(g_L-jb_L)}. \quad (2)$$

където:

$\dot{K}c = \frac{C_a+a^2.C_b+aC_c}{C_a+C_b+C_c}$ -коефициент на несиметрия на капацитета;

$C_0 = \frac{C_a+C_b+C_c}{3}$;

$tg\delta = \frac{g_0}{\omega C_0}$; $\quad g_0 = \frac{g_a+g_b+g_c}{3}$

Уравненията за напреженията на фазите спрямо земя при еднофазна утечка във фаза А са:

$$\dot{U}ao = U[1-\frac{3j.\omega.C_0\dot{K}c+g_a^I}{3\omega.C_0(tg\delta+j)+g_a^I+(g_L-jb_L)}]; \quad (3)$$

$$\dot{U}bo = U[a^2-\frac{3j.\omega.C_0\dot{K}c+g_a^I}{3\omega.C_0(tg\delta+j)+g_a^I+(g_L-jb_L)}]; \quad (4)$$

$$\dot{U}co = U[a-\frac{3j.\omega.C_0\dot{K}c+g_a^I}{3\omega.C_0(tg\delta+j)+g_a^I+(g_L-jb_L)}]. \quad (5)$$

При еднофазна утека във фаза В:

$$\dot{U}o = U\frac{3j.\omega.C_0\dot{K}c+a^2g_b^I}{3\omega.C_0(tg\delta+j)+g_b^I+(g_L-jb_L)}; \quad (6)$$

$$\dot{U}ao = U[1-\frac{3j.\omega.C_0\dot{K}c+a^2g_b^I}{3\omega.C_0(tg\delta+j)+g_b^I+(g_L-jb_L)}]; \quad (7)$$

$$\dot{U}bo = U[a^2-\frac{3j.\omega.C_0\dot{K}c+a^2g_b^I}{3\omega.C_0(tg\delta+j)+g_b^I+(g_L-jb_L)}]; \quad (8)$$

$$\dot{U}co = U[a-\frac{3j.\omega.C_0\dot{K}c+a^2g_b^I}{3\omega.C_0(tg\delta+j)+g_b^I+(g_L-jb_L)}]. \quad (9)$$

При еднофазна утека във фаза С:

$$\dot{U}o = U\frac{3j.\omega.C_0\dot{K}c+ag_c^I}{3\omega.C_0(tg\delta+j)+g_c^I+(g_L-jb_L)}; \quad (10)$$

$$\dot{U}ao = U[1-\frac{3j.\omega.C_0\dot{K}c+ag_c^I}{3\omega.C_0(tg\delta+j)+g_c^I+(g_L-jb_L)}]; \quad (11)$$

$$\dot{U}bo = U[a^2-\frac{3j.\omega.C_0\dot{K}c+ag_c^I}{3\omega.C_0(tg\delta+j)+g_c^I+(g_L-jb_L)}]; \quad (12)$$

$$\dot{U}co = U[a-\frac{3j.\omega.C_0\dot{K}c+ag_c^I}{3\omega.C_0(tg\delta+j)+g_c^I+(g_L-jb_L)}]. \quad (13)$$

Токът през еднофазна съсредоточена утечка е :

-при утечка във фаза А:

$$\dot{I}_a^I = Ug_a^I[1-\frac{3j.\omega.C_0\dot{K}c+g_a^I+(g_L+j.b_L)}{3\omega.C_0(tg\delta+j)+g_a^I+(g_L+j.b_L)}]. \quad (14)$$

-при утечка във фаза В:

$$\dot{I}_b^I = Ug_b^I[a^2-\frac{3j.\omega.C_0\dot{K}c+a^2g_b^I+(g_L+j.b_L)}{3\omega.C_0(tg\delta+j)+g_b^I+(g_L+j.b_L)}]. \quad (15)$$

-при утечка във фаза С:

$$\dot{I}_c^I = Ug_c^I[a-\frac{3j.\omega.C_0\dot{K}c+ag_c^I+(g_L+j.b_L)}{3\omega.C_0(tg\delta+j)+g_c^I+(g_L+j.b_L)}]. \quad (16)$$

Получените общи зависимости дават възможност за количествени анализи на амплитудни и фазови характеристики на електрическите параметри в стационарен режим при отчитане на несиметрията на капацитета на фазите спрямо земя. Дадените аналитични зависимости могат да бъдат използвани, за оценка на електробезопасността, за анализ на работата на защити и устройства за мрежи с компенсирана през дъгогасителен реактор неутрала.

Литература

1.Анев Г., Полуефективно заземяване на звездния център на мрежите за средно напрежение в откритите рудници. Годишник на Минно-геоложки университет "Св.Иван Рилски"т.40,св.III "Механизация, електрификация и автоматизация на минното производство" София,1994.

2. Багаев Д.В.,В.Н.Сазонов, С.О.Астафьев, В.И.Кучеренко. Резистивное заземление нейтрали сетях 6-35 кВ в ОАО "МРСК Волги".КАБЕЛЬ-news,№ 3,2009.

3.Вичев Станимир . Земни съединения и земни защити в мрежи с изолирана неутрала- публикация в интернет.По материали на инж. Росен Мирчев, ЕСО-ЕАД, януари 2008 г.

4. Миронов И.А., Проблемы выбора режимов заземления нейтрали в сетях 6-35кВ "ЭЛЕКТРО" № 5,2006.

5. НАРЕДБА № 3 за устройството на електрическите уредби и електропроводните линии. Обн.,ДВ,бр.90 и 91 от2004г

6. ПРАВИЛНИК за безопасността на труда при разработване на находища по открит начин.Министерство на труда и социалните грижи.Главна инспекция по труда. София,1996.

7. Сирота И.М., С.Н.Кисленко,А.М.Михайлов. Режимы нейтрали электрических сетей. Киев,Наукова думка, 1985.
8. Стоилов, Ив. За несиметрията на проводимостта спрямо земя в мрежите с изолиран звезден център.- Год. ВМГИ, т. XXXIV, 1987-1988.
9. Стоилов, Ив. Защитни устройства с бързодействащо предпазно шунтиране за електрческите мрежи с изолиран звезден център и напрежение 6 kV.- Год.ВМГИ,1989, т.XXXV,св.IV,215-223.
10. Титенков С.С. 4 режима заземления нейтрали в сетях 6-35 кВ.Изолированную нейтраль обявим вне закона. ж."Новости електротехники" №5(23),2003.

СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА МЕТОДИ ЗА ОЦЕНЯВАНЕ СКОРОСТТА НА ВЪРТЕНЕ НА ПОСТОЯННОТОКОВ ДВИГАТЕЛ

Владимир Христов

Технически университет София, ф-т Автоматика, катедра АЕЗ, тел.965 3945, 1797 София, E-mail vdhristov@tu-sofia.bg

РЕЗЮМЕ. За получаване на информация за скоростта на механичната ос на вала на двигателя, обикновено се използват тахогенератори, резолвери и други устройства куплирани към него . В много от случаите се оказва неудобно с оглед на надеждността и невъзможността от използването на такива устройства особено при сервозадвижвания, роботи, микрозадвижвания и други. Поради тази причина стремежа е по косвен път да се получи информация за скоростта. Такава информация може да се получи чрез използване на наблюдатели за оценка на скоростта. Наблюдателите служат за оценяване на вътрешните състояния на една система. Настоящия доклад има за цел да изследва оценката на скоростта получена чрез наблюдател на Луенбъргър и филтър на Калман, при отчитане на смущения.

COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS FOR ESTIMATING THE SPEED OF DC MOTOR

Vladimir Hristov

Tehnical university of Sofia", fac: Automatics;department: AEZ; 1797 Sofia, e-mail : vdhristov@tu-sofia.bg

ABSTRACT. To receive information about the speed of the mechanical axis of the motor shaft is usually used tachometer, resolver and other devices coupled to the motor shaft. In many cases proved inconvenient in view of the reliability and the impossibility of using such devices especially in servos, robotics and other micro-motion. Therefore, the intention is to get information about speed by indirect way.
This information can be received through used the observer for estimate to speed. Observers are used to estimated internal states of a system. This report have provides to investigate the estimate the speed, which received with Luenberger observer and optimal filtering of Kalman.

Въведение

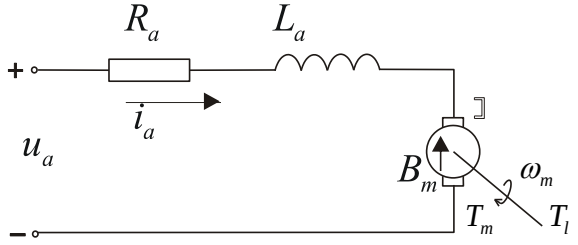
При редица електрозадвижвания се оказва невъзможно директно да бъде отчетена скоростта на двигателя. Причините за това могат да бъдат: невъзможността за куплиране на датчик към вала на двигателя, високата цена на датчика (тахогенератор, енкодер), който в повечето случай се оказва по-скъп от самия ел. двигател и освен това при редица сервозадвижвания датчика който трябва да бъде куплиран е с размер съизмерим (*Йончев Е., Йонков Т. 2010.*). С развитието на технологиите постояннотоковите двигатели продължават да са водещи при реализиране на сервозадвижвания поради ред причини: (лесни за управление, използване на карбонови четки, магнити с повишени показатели и др.). В такива случай е удачно да се подходи към използване на наблюдатели за осъществяване на индиректно измерване (*Йонков Т., 1993*). Наблюдението има за цел на база измерване на електрическите величини на двигателя (котвения ток и захранващото напрежение) да оцени скоростта на двигателя. За да бъде оценката на скоростта напълно отговаряща на действителната, описанието на модела и параметрите на мотора заложени в наблюдателя трябва да отразяват реалната система (*Seung-Ki Sul 2011*). Освен това ако съществуват нелинейности или промяна на някой от параметрите в режим на работа трябва да бъдат предвидени в наблюдателя и тяхното действие да не води до грешки в направените оценки.

Математическо описание на ДПТ

За ДПТ с постоянни магнити показан на фиг.1 могат да се запишат следните математически уравнения описващи процесите на изменение на тока и скоростта:

$$\frac{d}{dt} i_a = \frac{1}{L_a} u_a - \frac{R_a}{L_a} i_a - \frac{K}{L_a} \omega_m \qquad (1)$$

$$\frac{d}{dt} \omega_m = \frac{K}{J_m} i_a - \frac{B_m}{J_m} \omega_m - \frac{1}{J_m} T_l \qquad (2)$$



Фиг.1 ДПТ с постоянни магнити

Където:

R_a – котвено съпротивление;

L_a – индуктивност на разсейване;

u_a – захранващо напрежение;

i_a – котвен ток;

T_l - товарен момент на вала на двигателя;

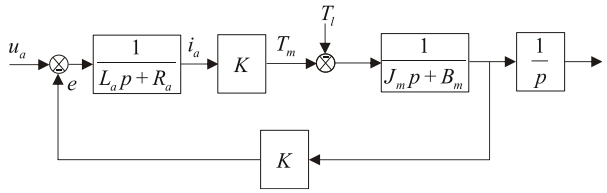
T_m - електромагнитен момент на вала на двигател;

J_m - инерционен момент на двигателя;

B_m - коефициент на вискозно триене;

ω_m - скорост на вала;

На фиг.2 е показана структурната схема на ДПТ



Фиг. 2 Структурна схема на ДПТ

Горните уравнения могат да се запишат в матричен вид:

$$\begin{bmatrix} \frac{d}{dt} i_a \\ \frac{d}{dt} \omega_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_a}{L_a} & -\frac{K}{L_a} \\ \frac{K}{J_m} & -\frac{B_m}{J_m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ \omega_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L_a} \\ 0 \end{bmatrix} u_a + \begin{bmatrix} 0 \\ -\frac{1}{J_m} \end{bmatrix} T_l$$

Ако ел. двигател работи на празен ход ($T_l = 0$), тогава:

$$\begin{bmatrix} \frac{d}{dt} i_a \\ \frac{d}{dt} \omega_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_a}{L_a} & -\frac{K}{L_a} \\ \frac{K}{J_m} & -\frac{B_m}{J_m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ \omega_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L_a} \\ 0 \end{bmatrix} u_a \qquad (4)$$

Това уравнението е от вида:

$\dot{x} = Ax + Bu$, където:

$x = \begin{bmatrix} i_a \\ \omega_m \end{bmatrix}$ - вектор на състоянието

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{R_a}{L_a} & -\frac{K}{L_a} \\ \frac{K}{J_m} & -\frac{B_m}{J_m} \end{bmatrix}; \quad B = \begin{bmatrix} \frac{1}{L_a} \\ 0 \end{bmatrix}$$

За уравнението на изхода може да се запише:

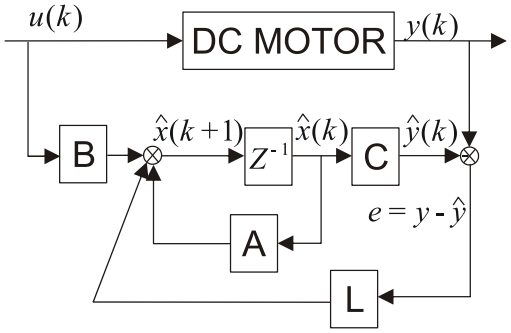
$i_a = [1\ 0] \begin{bmatrix} i_a \\ \omega_m \end{bmatrix}$ или $y = Cx$

Идеята е да се оцени $x(t)$ използвайки само $u(t)$ и $y(t)$.

Оценяване на скоростта на ДПТ

➢ Наблюдател на Луенбъргър

На фиг.3 е представена структурната схема на наблюдателя на Луенбъргър (*Йончев, Е. 2010.*).



Фиг. 3 Структурна схема на наблюдател

Ако ДПТ е описан в пространство на състоянието (*Chiasson J. 2005.*):

$$\dot{x} = Ax + Bu\ ;\ y = Cx\ , \qquad (5)$$

то уравнението на оценения вектор е:

$$\frac{d}{dt} \hat{x}(t) = A\hat{x}(t) + Bu(t) + L(y(t) - C\hat{x}(t)) \qquad (6)$$

$$\hat{i}_a = C\hat{x}\ , \qquad (7)$$

където: $C = [1\ 0]$;

L е матрицата в обратната връзка на наблюдателя, която се избира да осигури необходимата динамика и устойчивост;

По отношение на вектора на изчислителната грешка може да се запише: $e = x - \hat{x}$ или $\dot{e} = \dot{x} - \dot{\hat{x}}$.

$$\frac{d}{dt} e = \dot{x} - \dot{\hat{x}} = (Ax + Bu) - \left[A\hat{x} + Bu + L(Cx - C\hat{x}) \right]$$

.....

$$\frac{d}{dt} e = (A - LC)(x - \hat{x}) = (A - LC)e$$

Процедура по пресмятане на матрицата (L) на наблюдателя:

1.Собствените стойности на матрицата A на ПТД се определят от: $|xI - A| = 0$

$$xI - A = \begin{bmatrix} x + \frac{R_a}{L_a} & \frac{K}{L_a} \\ -\frac{K}{J_m} & x + \frac{B_m}{J_m} \end{bmatrix}$$

Характеристичното уравнение е:

$$\left(x + \frac{R_a}{L_a}\right)\left(x + \frac{B_m}{J_m}\right) + \left(\frac{K}{L_a}\right)\left(\frac{K}{J_m}\right) = 0$$

$$x^2 + x\left(\frac{R_a}{L_a} + \frac{B_m}{J_m}\right) + \frac{1}{L_a J_m}\left(R_a B_m + K^2\right) = 0$$

2.Изчисляване полюсите на наблюдателя:

Уравнението описващо грешката на наблюдателя:

$$\frac{d}{dt}e = (A - LC)e$$

където: $e = (x - \hat{x})$ е грешката при определяне котвения ток;

Необходимо е да се намерят такива единични стойности на матрицата $(A - LC)$, че полюсите на наблюдателя да бъдат пропорционални на полюсите на постояннотоковия двигател.

$$L = \begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \end{bmatrix}$$

$$A - LC = A - \begin{bmatrix} L_1 & 0 \\ L_2 & 0 \end{bmatrix}$$

Единичните стойности за тази матрица са

$\gamma I - (A - LC)$:

$$\gamma I - (A - LC) = \begin{bmatrix} \gamma + \frac{R_a}{L_a} + L_1 & \frac{K}{L_a} \\ L_2 - \frac{K}{J_m} & \gamma + \frac{B_m}{J_m} \end{bmatrix}$$

Характеристичното уравнение е:

$$\gamma^2 + \gamma\left(\frac{B_m}{J_m} + \frac{R_a}{L_a} + L_1\right) + \left(\frac{K}{L_a}\right)\left(L_2 - \frac{K}{J_m}\right) + \left(L_1 \frac{B_m}{J_m}\right) = 0$$

За да се осигури необходимата динамика и устойчивост на системата, единичните стойности на $(A - LC)$ трябва да бъдат $k > 1$ спрямо собствените стойности на матрицата A т.е. $\gamma = kx$:

$$(kx)^2 + kx\left(\frac{B_m}{J_m} + \frac{R_a}{L_a} + L_1\right) + \left(\frac{K}{L_a}\right)\left(L_2 - \frac{K}{J_m}\right) + \left(L_1 \frac{B_m}{J_m}\right) = 0$$

Като сравним това уравнение с характеристичното уравнение на ПТД:

$$k^2 x^2 + k^2 x\left(\frac{R_a}{L_a} + \frac{B_m}{J_m}\right) + k^2 \frac{1}{L_a J_m}\left(R_a B_m + K^2\right) = 0 \ \left(/ * k^2\right)$$

За матрица в обратната връзка на наблюдателя се получава : $L = \begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \end{bmatrix}$ (8)

$$L_1 = (k-1)\left(\frac{R_a}{L_a} + \frac{B_m}{J_m}\right)$$

$$L_2 = (k-1)\left[B_m^2 L_a - J_m K^2 - k(J_m R_a B_m + J_m K^2)\right]$$

Полюсите на наблюдателя се избират да бъдат пропорционални на полюсите на ДПТ, като с това наблюдателя става динамично по бърз от ДПТ (*Йончев, Е. 2010*). В реални системи се избира $k \leq 3$, понеже наблюдателя става много чувствителен към шума.

➢ Филтър на Калман

Филтъра на Калман представлява стохастичен наблюдател приложим за линейни стохастични системи, който минимизира ковариацията на грешката на оценените състояния с отчитане на случайни смущения и грешки в измерванията при условие че шумовете са от вида бял гаусов шум с нормално разпределение (*Йончев, Е. 2010*). Ако системата може да се опише в пространство на състоянието във вида:

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + w(t), & t \geq t_0 \\ y(t) = Cx(t) + v(t), & t \geq t_0 \end{cases} \quad (9)$$

където:

$x(t)$ - вектор на вътрешното състояние

$y(t)$ - вектор на изхода на измерваните параметри

$w(t)$ - бял гаусов шум от задвижването с ковариационна матрица Q

$v(t)$ - бял гаусов шум от измерването с ковариационна матрица R

Филтъра на Калман се представя със следната система уравнения :

$$\begin{cases} \dot{\hat{x}} = A\hat{x} + Bu + K\left|y - C\hat{x}\right|, \quad \hat{x}(t_0) = 0 \\ K(t) = PC^T R^{-1} \\ \dot{P} = AP + PA^T + Q - PC^T R^{-1} CR \end{cases} \qquad (10)$$

където:

$\hat{x}$ - наблюдател на вектора на вътрешното състояние

$P(t)$ - ковариационната матрица на грешката от оценяване,

$K(t)$ - коефициент на усилване на Калман.

Поради дискретния характер на процеса на измерване, системата трябва да бъде дискретизирана :

$$\begin{cases} x(k+1) = Ax(k) + Bu(k) + w(k) \\ y(k) = Cx(k) + v(k) \end{cases}$$

Използването (*Rigatos G. 2009*) на дискретния филтър на Калман се представя в две стъпки:

1. На първата стъпка се определя текущата оценка $\hat{x}(k \mid k)$ на вектора на вътрешното състояние в момента k въз основа на текущото измерване $y(k)$ и „a priori“ оценката на вектора $\hat{x}(k \mid k-1)$ в предходния момент $k-1$. Пресмята се ковариационната матрица на грешката на оценяване.

Тази стъпка отговаря на решаване на уравнението на Рикати :

$$K(k) = P(k \mid k-1).C^T.\left[C.P(k \mid k-1).C^T + R\right]^{-1}$$

2. На втората стъпка се пресмята оценката „a posteriori“ на вектора на вътрешното състояние $\hat{x}(k+1 \mid k)$ и се прогнозира ковариационната матрицата на грешката на оценяване $P(k+1 \mid k)$.

Експериментални резултати

В реалните системи при измерване на електрическите величини (захранващо напрежение и котвен ток), които са входни за наблюдателя, трябва да се отчитат и смущенията от самите датчиците. Освен това в режим на работа ел. двигател се нагрява. Това нагряване е свързано с променя на котвеното съпротивление (*Йонков Т., Йончев Е. 2006.)*.

Обикновено производителя представя в каталога данни за параметрите на двигателя при стайна температура $T_0 = 25°\mathrm{C}$. При промяна на температурата се променя и съпротивлението R(T) на котвената намотката, като:

$$R(T) = R(T_0).[1 + \alpha.(T - T_0)] \qquad (11)$$

където:

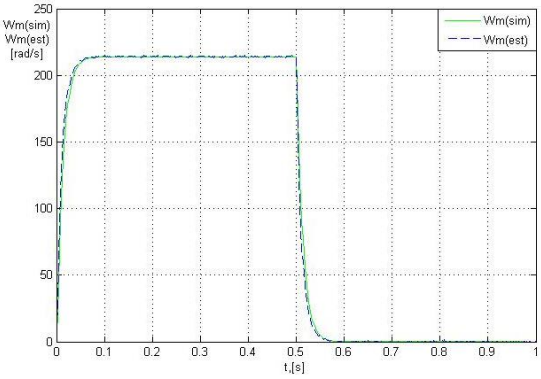
$R(T_0)$ е стойността на котвеното съпротивление при $T_0 = 25°\mathrm{C}$;

T - температурата на промяна в $(°\mathrm{C})$;

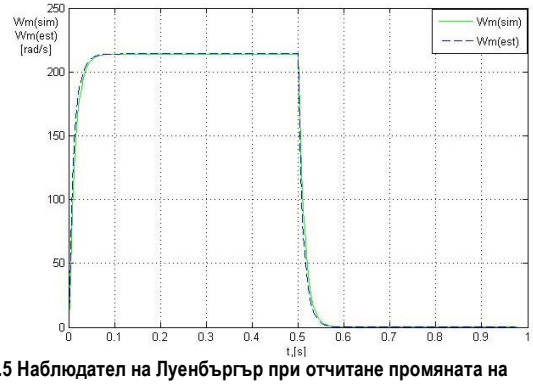
α - температурен коефициент на съпротивлението, който за мед е $\alpha = 0.0039/1°\mathrm{C}$.

Всички тези факти трябва да се имат в предвид и да се вземат под внимание когато се проектират системи.

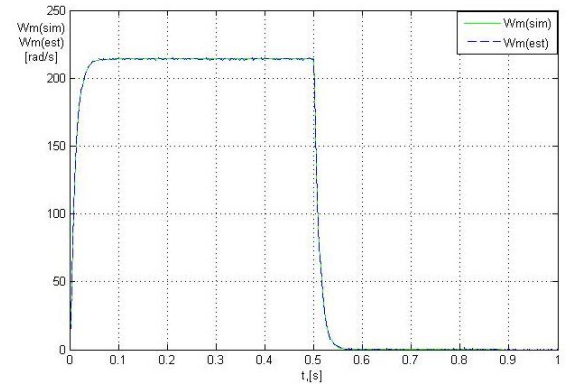
На следващите фигури са показани част от проведените симулационни изследвания за безсензорно оценяване на скоростта ДПТ с постоянни магнити чрез наблюдатели.
На фигурите са построени **Wm(sim)** - скорост на вала на двигателя; **Wm(est)** - оценена скорост на вала на двигателя. Реализирани са двата подхода за оценяване на скоростта. Останалата част от изследванията са обобщени в таблици в АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ.



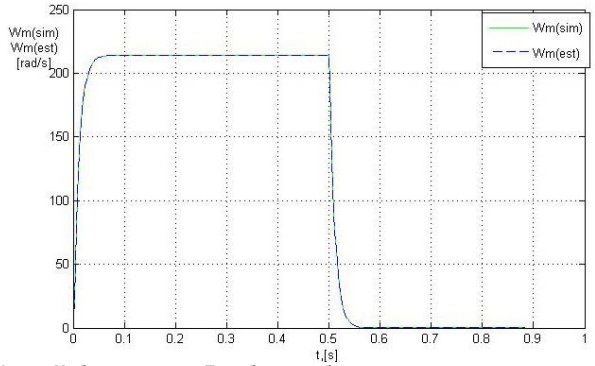
Фиг.4 Наблюдател на Луенбъргър при отчитане промяната на котвеното съпротивление и шум от датчика



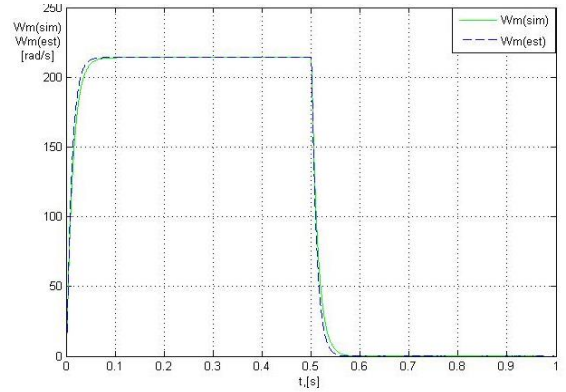
Фиг.5 Наблюдател на Луенбъргър при отчитане промяната на котвеното съпротивление



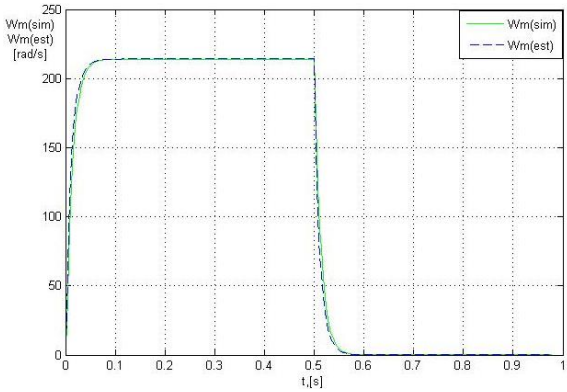
Фиг.6 Наблюдател на Луенбъргър при шум от датчика



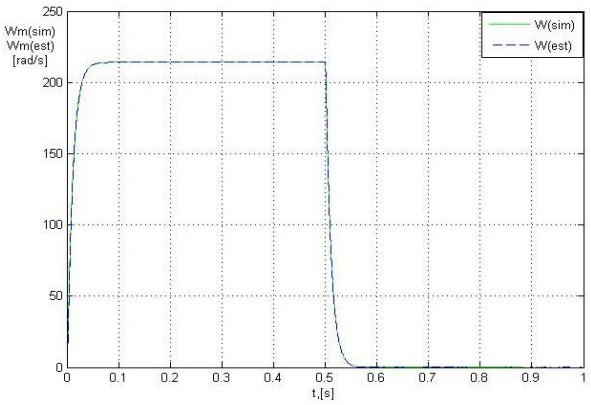
Фиг.7 Наблюдател на Луенбъргър без отчитане на допълнителни смущения



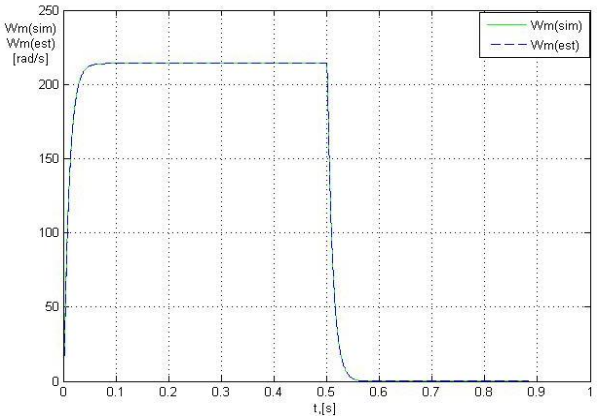
Фиг.8 Наблюдател с филтър на Калман при отчитане промяната на котвеното съпротивление и шум от датчика



Фиг.9 Наблюдател с филтър на Калман при отчитане промяната на котвеното съпротивление



Фиг.10 Наблюдател с филтър на Калман при шум от датчика



Фиг.11 Наблюдател с филтър на Калман без отчитане на допълнителни смущения

Анализ на резултатите

В следващите таблици са обобщени резултатите от изследването, което засяга два вида оценяване на скоростта: чрез наблюдател на Луенбъргър и чрез филтър на Калман. Изследванията обхващат оценки в ниския диапазон на скоростта при $\omega = 15\ [rad/s]$ и във високия диапазон на скоростта при $\omega = 214\ [rad/s]$. Изследването има за цел да оцени влиянието на шума от сензорите и промяната на котвеното съпротивление върху оценените величини. Шума е представен като бял гаусов шум в моделите с параметри $Noise\ power = 2e^{-6}$. Симулационните изследвания са направени в средата на Simulink на Matlab. Използвания двигател за симулациите е на фирмата BUHLER MOTOR със следните каталожни данни: DC MOTOR 1.13.044.236: $T_0 = 25°C$:;

$La = 0.002H$; $K = 0.056Nm/A$

$J_m = 18e^{-6}kg.m^2$; $B_m = 12e^{-6}Nms/rad$;

$R_a = 2\Omega$;

При оценяването са приети следните показатели за качество:

$\left|e_{\omega ycm}\right| = \max\left|\dfrac{\omega_{m(sim)} - \omega_{m(est)}}{\omega_m}\right|$ - максимална грешка в установено състояние в $[\%]$;

$|e_{\omega\max}| = \max\left|\frac{\omega_{m(sim)} - \omega_{m(est)}}{\omega_m}\right|$ - максимална динамична грешка по време на преходен режим в $[\%]$.

Таблица 1. *Симулационни резултати (наблюдател на Луенбъргър с шум от датчика на измерване)*

	$R_a(20°C)$		$R_a = 1.2 * R_a(20°C)$	
	$\omega_m[rad/s]$		$\omega_m[rad/s]$	
	15	214	15	214
$\lvert e_{\omega\max}\rvert$	0.073	2.5e-3	0.113	0.098
$\lvert e_{\omega уст}\rvert$	0.1336	8.4e-4	0.133	0.1

Таблица 2. *Симулационни резултати (наблюдател на Луенбъргър без шум от датчика на измерване)*

	$R_a(20°C)$		$R_a = 1.2 * R_a(20°C)$	
	$\omega_m[rad/s]$		$\omega_m[rad/s]$	
	15	214	15	214
$\lvert e_{\omega\max}\rvert$	7.3e-6	7e-5	0.105	0.103
$\lvert e_{\omega уст}\rvert$	2.6e-15	9e-15	8.6e-5	7.47e-5

Таблица 3. *Симулационни резултати (наблюдател с филтър на Калман с шум от датчика на измерване)*

	$R_a(20°C)$		$R_a = 1.2 * R_a(20°C)$	
	$\omega_m[rad/s]$		$\omega_m[rad/s]$	
	15	214	15	214
$\lvert e_{\omega\max}\rvert$	6.66e-4	4.7e-5	0.073	0.07
$\lvert e_{\omega уст}\rvert$	1.6e-3	1.07e-4	0.0016	2.33e-4

Таблица 4. *Симулационни резултати (наблюдател с филтър на Калман без шум от датчика на измерване)*

	$R_a(20°C)$		$R_a = 1.2 * R_a(20°C)$	
	$\omega_m[rad/s]$		$\omega_m[rad/s]$	
	15	214	15	214
$\lvert e_{\omega\max}\rvert$	2.33e-4	2.8e-5	0.073	0.07
$\lvert e_{\omega уст}\rvert$	1.3e-16	1.8e-14	1.53e-4	2.33e-5

От обобщените резултати в таблица 1 и таблица 2, за наблюдателя на Луенбъргър може да се направи извод, че промяната на стойността на котвеното съпротивление поради нагряване на двигателя, определено оказва влияние при оценяването на скоростта. Това влияние най-силно се проявява при оценяването на скоростта в динамичен режим при работа с ниски скорости.

От таблица 3 и таблица 4, следва, че при оценяване с филтър на Калман, влиянието от промяната на котвеното съпротивление също както при наблюдателя на Луенбъргър е изразено при динамичен режим в ниските скорости, но за разлика от там, тук е по-слабо изразено.

При наличие на шум от датчика, влияние върху оценката на скоростта се проявява при оценяване с наблюдателя на Луенбъргър, до колкото при използване на филтъра на Калман това влияние е пренебрежимо малко.

Логично следва извода, че при проектирането на наблюдатели и тяхното използване в структурата на системите за управление на постояннотокови електрозадвижвания задължително трябва да се предвидят методи за намаляване на това влияние. В противен случай ще се допуска голяма грешка в оценяването на състоянията, а от там и неточност в работата на цялата система. Тези методи могат да се реализират с адаптивни алгоритми за оценка на съответното влияние.

Литература

Йонков Т., Йончев Е. 2006. Адаптивен наблюдател за безсензорно управление на асинхронен двигател, Сборник научни трудове на Юбилейна научна конференция 2006 „20 ГОДИНИ ФИЛИАЛ НА ТУ-СОФИЯ В ПЛОВДИВ", 09-11 ноември 2006, Пловдив, © 2006, 101 – 114.

Йонков Т., 1993. Устройство за управление на постояннотоков двигател с променлив инерционен момент, Авторско свид. 92415/1993.

Йончев, Е. 2010. Безсензорно управляеми асинхронни електрозадвижвания-дисертция, ТУ-СОФИЯ.

Йончев Е., Йонков Т. 2010. Някои възможности за експериментално изследване на електрозадвижвания в реално време, International Conference AUTOMATICS AND INFORMATICS'10, Bulgaria, Sofia, October 3 - 7, 2010, Proceedings ISSN 1313-1850, 119-123.

Rigatos G. 2009, Particle and Kalman filtering for state estimation and control of DC motor, Published by Elsevier, ISA Transactions 48 (2009) 62-72.

Seung-Ki Sul 2011. Control of Electric Machine Drive Systems, Publisher A JOHN WILEY&SONS 2011 ISBN 978-0-470-59079-9.

Chiasson J. 2005. Modeling and High-Performance Control of Electric Machine Publisher A JOHN WILEY&SONS 2011 ISBN 0-471-68449.

ГОДИШНИК на Минно-геоложкия университет "Св. Иван Рилски", Том 55, Св.III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, 2012
ANNUAL of the University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Vol. 55, Part III, Mechanization, electrification and automation in mines, 2012

ГРАФИЧЕН ИНТЕРФЕЙС ЗА ARDUINO UNO

Слави Димитров[1], Здравко Илиев[2]

[1] Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail: shadowmana_bg@yahoo.com
[2] Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail: iliev@mgu.bg

РЕЗЮМЕ. Разработен е графичен интерфейс за Arduino UNO. Той позволява наблюдение на цифровите и аналоговите входове на микроконтролера. Може да се използва в учебния процес и практиката.

ARDUINO UNO GRAPFICAL INTERFACE

Slavi Dimitrov[1] , Zdravko Iliev[2] ,

[1] University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail: shadowmana_bg@yahoo.com
[2] University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia,, e-mail: iliev@mgu.bg

ABSTRACT. Grapfical interface for Arduino UNO has developed. It allows monitoring of digital and analog inputs of the microcontroller. Can be used in teaching and practice.

Въведение

В последните години се наблюдава тенденция за все по-широкото използване на хардуер и софтуер с отворен код . Причините за това са много, като най-важните са: добрите характеристики на предлаганите продукти, които в повечето случаи не отстъпват на скъпоплатени аналози, ниската цена, липсата на необходимост от заплащане на лицензионни такси, големият обем свободно достъпна информация, неограниченото споделяне на опита с други разработчици и др.

От няколко години катедра "Автоматизация на минното производство" при МГУ "Св. Иван Рилски" използва платформата с отворен код Arduino както в учебния процес (З.Илиев, Д.Ташева, 2010), така и при разработки с определена практическа насоченост (З.Илиев, Д. Ташева, Н. Иванов, Т. Тодоров, 2011). Натрупаният опит показа, че тя се усвоява лесно и е подходяща за реализация на разработки с малка и средна степен на сложност, изискващи контрол и управление на ограничен брой входни и изходни сигнали, свързани с реализране на алгоритми, нямащи специални изисквания по отношение на бързодействието. В същото време беше отчетено, че стандартната развойна среда не притежава интерфейс, позволяващ по удобен начин да се визуализират състоянията на входните сигнали към микроконтролера. Това се явява съществен проблем, когато платформата се използва за онагледяване на протичащите процеси при провеждането на лабораторните упражнения или като средство за събиране и начална интерпретация на данни от реални обекти. Подобен интерфейс би се явил и удобно средство, подпомагащо тестването и настройката на специализирани устройва в процеса на тяхното проектиране. Във връзка с това беше поставена задачата да се проучи наличния и при необходимост да се разработи специализаран софтуер, който по удобен начин да предоставя на потребителя в цифров и графичен вид информация за състоянието на аналоговите и цифровите входове на платка с микроконтролер от серията Arduino Uno (http://arduino.cc).

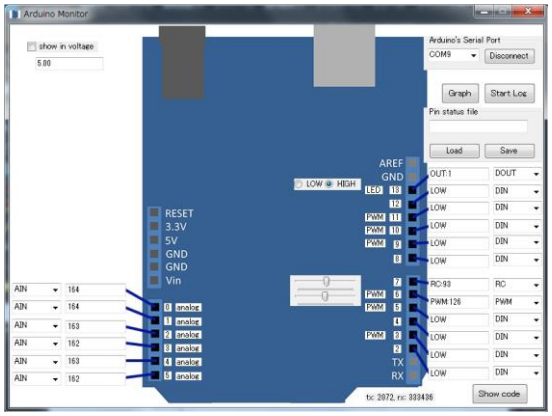
Съществуващи разработки

Широкото използване на платформата Arduino, както и обективната необходимост от усъвършенстване на потребителския интерфейс са довели до разработване на множество приложения, насочени към неговото подобряване. Повечето от тях са с отворен код. Приложенията са предназначени за работа под управление на различни операционни системи: Microsoft Windows, Linux, MacOS, OSX и др. Тук са представени някои от тях, които се характеризат с най-добри функционални възможности:

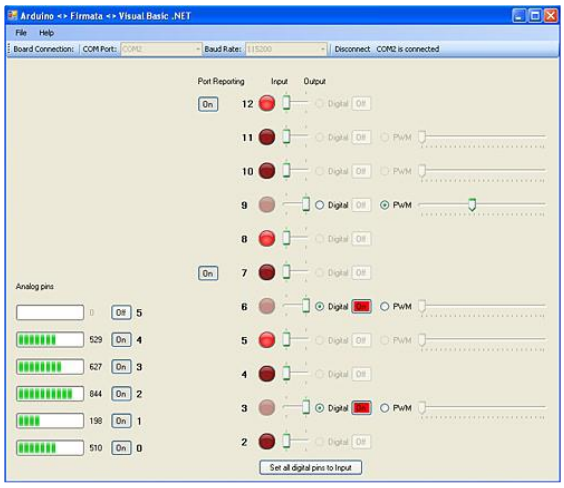
"ArduinoMonitor", версия 0.1 (Mitsunaga N.) е разработен с използване на библиотека "Sharpduino" (фиг.1). Позволява управление и наблюдение на състоянието на пиновете на микроконтролера. Предвидена е възможностза запис на числовата информация в CSV файл, а на графиките в PNG формат. Има възможност за записване и зареждане на конфигурация в XML формат.

“ArduinoFirmataVB” и **“ArduinoFirmataVBExtended”** са .NET framework библиотеки (Andrew Craigie), които съдържат методи за изпращане и получаване на съобщения чрез протокола Firmata (V2.0). Осигуряват връзката към серийния порт и имат вградени методи за задаване на името на порта и скоростта на предаване на данните.

Състоянията на пиновете се индикират с помощта на LED графични елементи, а резултатите от аналого-цифровото преобразуване се показват визуално чрез лента за развитие и в числов вид. Вградени са бутони за включено/изключено, които позволяват да се активира или дезактивира извеждането на информацията за даден пин (фиг. 2).



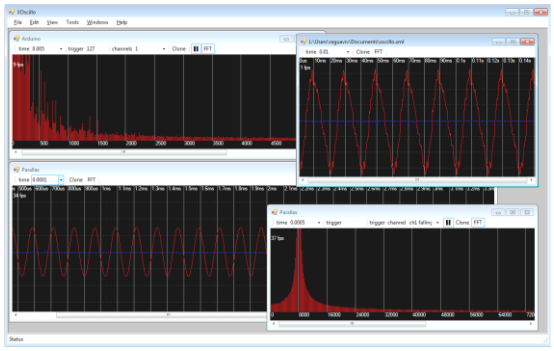
Фиг.1. “ArduinoMonitor”, версия 0.1.



Фиг.2. “ArduinoFirmataVB”

“As3Glue” е реализирано приложение под Flash (Bjoern Hartmann, Kamperman. K), представляващо ActionScript 3.0 библиотека, която активира комуникацията между Flash/Flex/AIR приложения и Arduino платки. Дава възможност да се наблюдават цифровите и аналоговите пинове на Arduino, без да има нужда от допълнително програмиране. Позволява използването на няколко микроконтролера едновременно. Добавена е поддръжка за Arduino Mega.

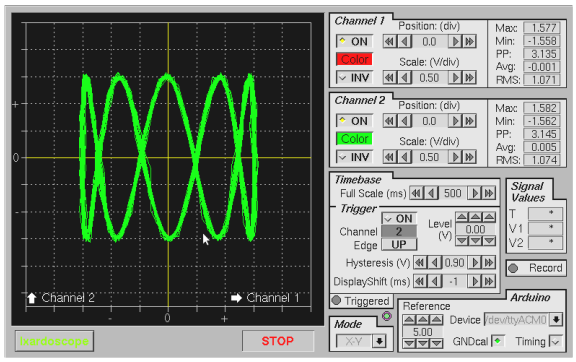
“xoscillo” (Raul Aguaviva) представлява мултиплатформен (Microsoft Windows, Linux) софтуер с функции на осцилоскоп и логически анализатор (фиг.3). Дава възможност за панорамна гледка, зареждане и записване на графики, приближаване и отдалечаване на графиката, показване на няколко сигнала едновременно, честотен анализ (FFT (Fast Fourier Transform)), филтриране (нискочестотен филтър), автоматично разпознаване на хардуера и някои допълнителни инструменти като декодиране на форми, изчисляване на главна честота по няколко метода. Поддържа Arduino и Parallax USB oscilloscope.



Фиг.3. “xoscillo”

“Arduinoscope” (David Konsumer) е базиран на “Poorman's oscilloscope”. Включва и логически анализатор. Позвалява пауза и запис на графиката и има възможност за настройка на броя на наблюдаваните пинове.

“Ixardoscope” (Oskar Leuthold) е софтуерна имплементация на осцилоскоп под Linux (фиг.4). Поддържа Arduino Uno (или ATmega X8). Комуникацията може да бъде през сериен порт или по USB порт. Може да показва 2 канала с разделителна способност по вертикала - от 2 mV до 10 V на деление. Позволява измерване на сигнала с честота около 3000 опробвания в секунда за канал, моментна “снимка” на данните, графично изобразяване на записани данни от файл, определяне на основни характеристики на сигнала като минимална и максимална стойност, математическо очакване, дисперсия и др.



Фиг.4. “Ixardoscope”.

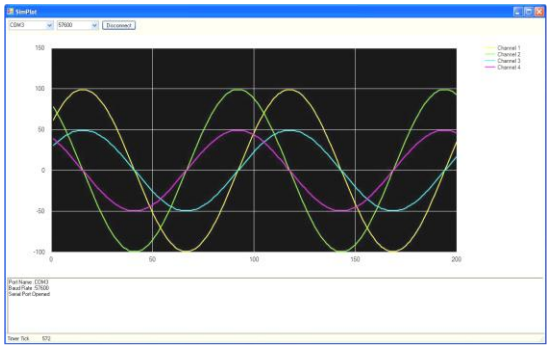
“Poorman's oscilloscope” (Arduino + Processing) представя визуално аналогов сигнал от Arduino чрез Processing (Sofian Audry). Разделителната способност е 10 bit, но честотата на сканиране е сравнително ниска. Принципът на работа е свързан с изпращане на прочетените стойности от аналогов pin 0 по серийна комуникация чрез код в Processing. Има възможност за приближаване и отдалечаване на графиката.

“Grapher” (gioblu) е разработен в средата Processing. Показва до 6 аналогови или цифрови входове от Arduino.

“Oscilloscope/Logic Analyzer” (Jonathan Oxer, Hugh Blemings) е устройство, което използва данни от USB комуникацията на Arduino с компютър (фиг.5). Програмата му е написана на Processing. Поддържа Microsoft Windows, Linux и MacOS. Прочитането на един пин става за около 100 µs.

Фиг.5. “Oscilloscope/Logic Analyzer”

“SimPlot” (Negtronics) е инструмент за изчертаване на данни от микроконтролер в реално време(фиг.6.). Приема данните чрез сериен порт и ги изчертава на екрана на компютъра. Другите му особености са - 4 канален, 16 битово преобразуване със знак, настройваеми дължина по X и мащаб по Y.



Фиг.6. “SimPlot”

Направеното проучване показа, че разработките са с различна степен на сложност, обхватност и бързодействие. В същото време нито една то тях не покрива изцяло поставените изисквания към необходимия интерфейс:

- условия за лесна и интуитивна работа на потребителя с него (изискване продиктуване от ориентацията му за учебни цели);
- възможност за конфигуриране на произволен набор от входни изходни канали, които да се наблюдават в отделни диалогови прозорци;
- съчетаване на цифрова и графична интерпретация на данните с възможност за динамичен избор на типа и измервателната скала.

Поради това се пристъпи към разработване на специализиран програмен продукт за визуализация на състоянието на цифровите и аналоговите входове и изходи на микроконтролер от серията Arduino Uno

Същност на разработката

Изграденото софтуерно приложение е с име “**ArduInOscilloscopeOut”**. Реализирано е на платформата Microsoft .NET Framework 4.0 чрез езика за програмиране Visual Basic .NET. Средата за разработка е Microsoft Visual Studio 2010. Поддържаната операционна система за момента е Microsoft Windows XP. Visual Basic приложението използва библиотека “sharpduino”. Тя позволява да се управлява Arduino чрез протокола Firmata (http://arduino.cc/en/Reference/Firmata).

Текущата версия 0.2a е тествана със StandardFirmata 2.3 sketch от Arduino IDE 1.00 (Valsamidis, T). Целта е да се опрости връзката на .NET програмите към хардуера. Кодът е под свободен лиценз, което позволява да се добавят нови разширения и да се правят промени. Характерната за повечето подобни протоколи относително висока сложност е “скрита” от крайния потребител, а платката е настроена постоянно да изпраща съобщения за обновяване на стойностите на аналоговите и цифровите пинове, които се обработват от класа ArduinoUno – метод readAnalog.

Връзката между персоналния компютъра и Arduino Uno се осъществява по USB кабел чрез протокол Firmata. Той е специализиран за комуникация с микроконтролери. Съвместим е с всякакъв софтуер. Проектиран е така, че да може да бъде разширяван и да се добавят нови функционалности. Поддържа до 16 аналогови и до 128 цифрови пина (http://firmata.org). Позволява да се пише потребителски firmware без да е необходимо да се създава нов протокол и обекти за използваната програмна среда.

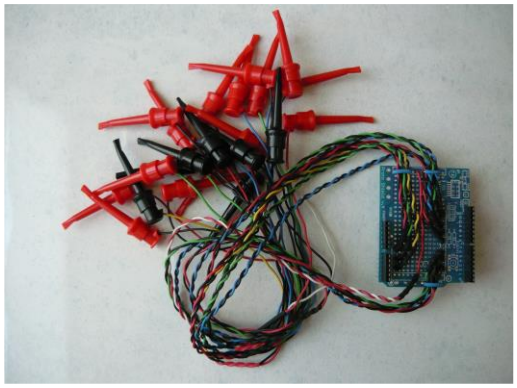
С цел по-лесно осъществяване на връзките на външните устройства с пиновете на микроконтролера, е разработен хардуерен модул (shield), представен фиг.7. Той се включва към Arduino Uno, като се монтира върху съществуващите рейки.

В основния диалогов прозорец (фиг.8) е предвидено меню със следните елементи - **File**, **Visualization - Analog Inputs**, **Visualization - Digital Inputs**, и **About**.

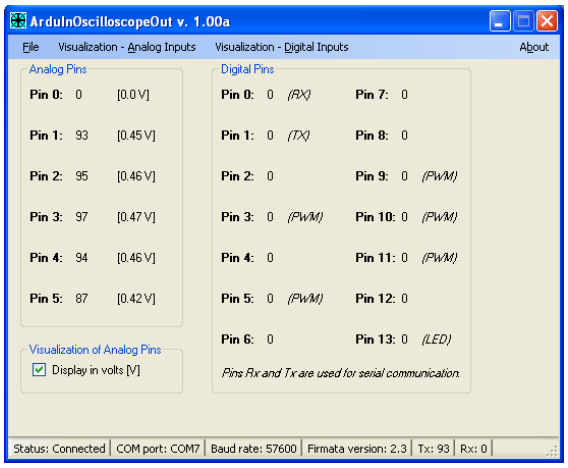
Чрез подменюто, подчинено на **File** се активира и дезактивира връзката към платката и се осъществява изход от програмата.

До всички компоненти на менюто без **About** е осигурен бърз достъп (shortcuts) чрез «горещи клавиши».

Всеки елемент и съответните им поделементи имат преки пътища чрез клавиатурата . Отбелязани са до името на елемента/поделемента.



Фиг.7. Хардуерен модул.



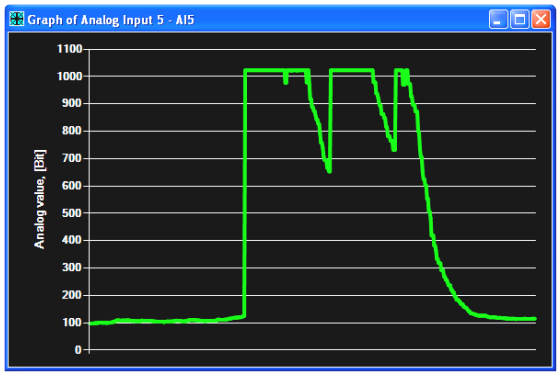
Фиг.8. Основен екран на "ArduInOscilloscopeOut"

File има поделементи - (Ctrl+N), **Disconnect** (Ctrl+W) и **Exit** (Ctrl+Q). Функциите им съответно са: **Connect** - осъществяване на връзка към платката (отделен модален прозорец). **Disconnect** - прекъсване на връзката, **Exit** - изход от програмата.

Основната функция на приложението **"ArduInOscilloscopeOut"** е да визуализира състоянието на цифровите и аналоговите входове на микроконтролера от платката Arduino Uno. Тази информация в числов вид се извежда в основния диалогов прозорец. За аналоговите входове и изходи потребителят има възможност да определи дали желае да наблюдава 10-битовите цифрови кодове, получени в резултата на аналого-цифровото преобразуване или преобразуваните в напрежение стойности в границите от 0 до 5 V.

Освен тази основна информация в долната статус лента се показват състоянието на връзката, COM портът към който е включена платката и скоростта на комуникация (по подразбиране - 57600 bps).

Достъп до графичните режими за представяне на цифровите и аналоговите входове се осъществява съответно чез елементите на менюто **Visualization – Digital Inputs** и **Visualization - Analog Inputs**. Всеки селектиран аналогов или цифров пин се представя в отделен графичен екран (фиг.9).



Фиг.9. Графичен екран.

Харктерна особеност на разработката е пълната свобода на потребителя да конфигурира по свое желание броя и извежданите величини в графичните екрани.Тя позволява лесна съпоставка на графичните екрани. Това е много удобно в случай, че потребителя желае да наблюдава само определени входове, да прави сравнения и логически анализ в произволни визуални комбинации. Възможна е и паралелна визуализация едновременно на цифрови и аналогови входове в произволни конфигурации.Това е възможност, която не е предвидена в известните до момента подобни приложения.

С цел осигуряване на бърза и лесна инсталация са използвани инструментите на Microsoft Visual Studio 2010 за създаване на инсталационни файлове. Цялата инсталация отнема около 1-2 минути, в зависимост от ресурсите и възможностите на персоналния компютър. Файловете, необходими за правилното функциониране на приложението са "ArduInOscilloscopeOut.exe" - изпълним файл, "Sharpduino.dll" - библиотека за връзка към Arduino Uno и "ArduInOscilloscopeOut_instructions.txt" - кратки инструкции за ползване. Тези файлове се копират автоматично при инсталацията. Самата инсталация не прави допълнителни настройки в системата и регистрите на Microsoft Windows.

Заключение

Чрез разработената програмна система "ArduInOscilloscopeOut" е реализирана поставената цел. Изграден е максимално опростен графичен интерфейс, чрез който лесно може да се следят състоянията на аналоговите и цифровите входове на Arduino Uno. Приложимостта не е свързана с конкретна задача или тип разработка. Може да се използва както в процеса на обучение, така и при разработване и тестване на практически ориентирани приложения, базирани на този микроконтролер.

Разработката може да бъде развита в бъдеще в следните насоки: поддържане на други операционни системи и други платки от фамилията Arduino (Leonardo, Mega 2560, LilyPad, Mega ADK, Fio, Pro, BT, Nano, Mini, Pro Mini и т.н.), използване на пълните възможности на "sharpduino" за управление на пиновете на микроконтролера, както и съхранение на информацията във файлове.

Литература

3. Илиев, Д. Ташева, Използване на Open Source Hardware платформа в учебния процес, Годишник на МГУ «Св. Иван Рилски», сборник доклади том 53, свитък III, стр. 180-185, София, октомври 2010 г., ISSN: 1312-1820

3. Илиев, Ташева Д., Иванов Н., Тодоров Т. Изследване на колебанията в металната конструкция при работа на багер ERs-710, Национална научно-техническа конференция с международно участие БУЛКАМК'11, стр.51-56. София, 6-7 октомври 2011 г. ISSN 1314-4537.

Audry,S.,Accrochages,"Poorman'soscilloscope(Arduino+Processing)",http://accrochages.drone.ws/en/node/90

Craigie, A., "ArduinoFirmataVB project", http://acraigie.com/programming/firmatavb

Firmata, "Firmata protocol", http://firmata.org

gioblu, "Grapher project", http://arduino.cc/forum/index.php?topic=61236.0

Hartmann,B., "as3glue library", http://code.google.com/p/as3glue

Kamperman,K.,"ArduinoFlashcommunicationAS3 – As3Glue-bundle",http://kasperkamperman.com/blogarduino/arduino-flash-communication-as3

Konsumer, D., "arduinoscope project", http://code.google.com/p/ arduinoscope

Leuthold, O., "lxardoscope project", http://sourceforge.net/projects /lxardoscope

Mitsunaga, N., "ArduinoMonitor project", http://n.mtng.org/ele/arduino/arduinomon.html

Negtronics, "SimPlot project", http://negtronics.com/simplot

Valsamidis, T., "sharpduino library", http://code.google.com/p/sharpduino

ГОДИШНИК на Минно-геоложкия университет "Св. Иван Рилски", Том 55, Св.III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, 2012
ANNUAL of the University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Vol. 55, Part III, Mechanization, electrification and automation in mines, 2012

ИЗПОЛЗВАНЕ НА TCK SYSTEM ЗА АНАЛИЗ НА СЪСТОЯНИЕТО НА СТОМАНЕНИТЕ ВЪЖЕТА НА НАСИПООБРАЗУВАТЕЛ A_2Rs-B5000.67

Здравко Илиев[1], Диана Дечева[2]

[1] Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail: iliev@mgu.bg
[2] Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail: decheva@mgu.bg

РЕЗЮМЕ: Статията представя изследване на техническото състояние на въжетата на насипообразувател A_2Rs-B5000.67, извършено с TCK Analysis System.

USING THE TCK SYSTEM FOR ANALYSIS OF STATE OF THE WIRE ROPES OF THE SPREADER TYPE A_2RS-B5000.67

Zdravko Iliev[1], Diana Detcheva[2]
[1] University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail: iliev@mgu.bg
[2] University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia,, e-mail: decheva@mgu.bg

ABSTRACT: The paper presents a study of the technical condition of the ropes of the spreader type A_2Rs-B5000.67, made by TCK Analysis System.

Въведение

Стоманените въжета заемат важно място в конструкцията на големите минни машини, работещи в откритите рудници. От тяхното състояние в значителна степен зависи стабилитета на роторните багери и насипообразуватели. Скъсването на някои въжета може да доведе до пълно разрушаване на тези скъпи машини. Поради тази причина контролът на състоянието на носещите и поддържащи метални въжета е от съществено значение. Той трябва да се извършва периодично при всички действащи машини. Освен това при рехабилитация и модернизация на роторните багери и насипообразуватели трябва да се извършва и оценка на необходимостта от подмяна на въжетата.

Методи за контрол на техническото състояние на стоманените въжета

За контрол на техническото състояние на въжетата се прилагат следните методи (Йончев, 2006):
- визуален;
- изпитване в специализирани лаборатории;
- инструментален (известен още като безразрушителен или дефектоскопски).

Визуалният метод се отличава със своята простота на реализация и дава преки резултати. Същността му се състои във внимателно оглеждане на въжето, движещо се със скорост по-малка от 0,25 метра в секунда. Приложението му се ограничава от:
- необходимостта въжето да бъде почистено от смазка и други замърсявания по повърхността, което в работни условия трудно може да се реализира. Неизпълнението на това изискване може да доведе до неоткриване на съществени дефекти като деформирани, износени и скъсани нишки, корозия и др. ;
- неприложимост при въжета със закрита конструкция;
- невъзможност да бъде получена количествена оценка на състоянията на въжето;
- невъзможност за определяне на степента на намаляване на напречното сечение на отделните жички, както и за откриване на скъсани такива във вътрешността на въжето;
- наличие на субектизъм при оценката.

В специализирани въжеизпитателни лаборатории могат да се определят якостните качества на въжетата на база на предоставен отделен участък от тях. Оценката е свързана с разрушаване на изследвания образец. Основен недостатък е фактът, че изследвания участък не гарантира представителна извадка и обективни изводи за състоянието на цялото въже. Методът е неприложим за оценка на състоянието на стоманените въжета на работещи минни машини.

За получаване на информация за състоянието на въжетата по цялата им дължина, без да се налага тяхното демонтиране се прилага инструменталният подход. Той спада към така наречените безразрушителни методи.

Извършването на безеразрушаващ контрол на стоманени въжета чрез използване на апаратура, чието действие се основава на проникващи гама и рентгенови лъчи, ултразвук, виброакустика, вихрови токове, магнитна индукция и др., е получило широко разпространение.

Рентгеноскопията е метод, който е трудно приложим за контрол на стоманени въжета. Причината е наличието на кухини между жичките и дилките на въжето. Същото се отнася и за апаратите, използващи гама лъчи.

Ултразвуковият метод е може да бъде използван при еднородност на контролирания материал, което го прави също неподходящ за приложение при нееднородни стоманени въжета.

Виброакустичният метод се базира на изследването на напречните и надлъжни трептениия на въжето. Приложим е при подемните уредби, но е неудобен за контрол на стоманените въжета на багерите и насипообразувателите поради сложните схеми на прехвърляне на въжетата през ролките и полиспастите.

Магнитоиндуктивният метод се основава на измерване на разсейването на магнитния поток в местата на повредата. Използват се два метода за намагнитване на стоманеното въже:

а/ чрез променливо поле, създавано от електромагнит, захранван с променлив ток (АС метод);

б/ чрез постоянно магнитно поле, създавано от електромагнит, захранван от постоянен ток (DC метод).

АС методът открива по-точно намаляването на сечението на въжето вследствие на износване на жички и на корозия, но отчита по-неточно скъсаните жички. Показанията на уредите, използващи този метод не зависят от скоростта на движение на въжето. Същевременно те имат по-ниска чувствителност към вътрешни дефекти, дължаща се на така наречения повърхностен ефект

При прилагане на постояннотоковия метод се достига голяма напрегнатост на магнитното поле, на практика до пълно магнитно насищане. Така се получава постоянен магнитен поток по цялото сечение на изследваното въже, а това спомага за откриваане на вътрешни повреди при въжета с голямо напречно сечение. DC методът е по-чувствителен към локални повреди и по-слабо чувствителен по отношение на промените в сечението.

В много съвременни дефектоскопи вместо електромагнити се използват постоянни магнити, което опростява конструктивно апарата и обслужването му.

Извършеният преглед на методите за диагностика показва, че за целите на изследване на състоянията на стоманените въжета на роторните багери и насипообразуватели е целесъобразно използване на магнитоиндуктивния метод.

Апаратите, базирани на него препърпяха бурно развитие в последните десилетия. Повиши се тяхната точност, чувствителност и сигурност. Повечето от тях на практика представляват интелигентни измервателни устройства, които освен прякото измерване имат функции, позволяващи анализ на резултатите, архивиране, автоматично формиране на протоколи от изследването и др. Това позволява съставяне на документи с обективни данни от тестване на въжетата и лесна съпоставимост на резултати с тези от предишни измервания с цел проследяване на състоянието на въжетата за определен период от експлоатацията им.

В последните години (http://www.tck-cn) с използване на магнито-индуктивния подход успешно се изграждат системи за автоматичен контрол на състоянието на въжетата в реално време.

Дефектоскоп TCK-BX55

Фирмата TCK Wire Rope Inspection Technology Co., ltd предлага съвременна апаратура за контрол на стоманени въжета, работеща със слаби магнитни полета. За инспекция на въжета с диаметър от 24 до 46 mm е подходящо да се използва устройството TCK-BX55. То има следните характеристики (TCK-BX55, техническа документация):

- чувствителност - 5 Volt/Gauss;
-скорост на движение при инспекцията - 0-8m/s (до 30m/s);
- голяма разрешаваща способност - процент на несигурност в количественото определяне на повреди (загуба на метал, скъсани или деформирани жички) <0.5% ;
- точност на локализация на грешката - 100 мм на 100 метра;
- количествена проверка на процента на загуба на метал в напречното сечение (LMA), причинени от външни или вътрешни повреди / скъсване на проводник (LF), корозия, износване, умора и натиск/;
- инструменталният контрол завършва с протокол - експертиза, в който се аргументира заключение за бракуване или продължаване на срока на работа на въжето;
- малко тегло – всеки апарат тежи не повече от 2 kg.;
- батерийно захранване, осигуряващо 8 часа непрекъсната работа;
- онлайн система за автоматична калибрация;
- водоустойчив дизайн;
- притежава функция за самодиагностика;
- интегриран микрокомпютър и софтуер в устройството;
- не е необходима връзка с персонален компютър или друго устройство.

Прилаганата от TCK технология за безразрушителна инспекция на състоянието на въжетата се базира на няколко иновации (http://www.kingyoup.com):

- нова теория за резултантния вектор на пространственото магнитно поле;
- откриване и приложение на нов метод на “слабите магнитни полета”;
- използване на нова високочувствителна технология, свързана с приложението на сензор на Доу.

Благодарение на това, TCK успешно решава два трудни проблема в областта на безразрушителна инспекция:
- количествено определяне на различни дефекти на стоманеното въже;
- онлайн проверка за наличие на "умора" вътре в металното въже.

Преносимата апаратура за безразрушително изпитване на стоманени въжета се състои от портативно намагнитващо устройство TCK-RC (фиг.1) и преносимо тестващо устройство TCK-BX (фиг. 2).

TCK-RC служи за намагнитване на въжето преди всяка

операция по калибриране или тестване. То е изградено на база на специално подбран постоянен магнит.

Фиг. 1. TCK-RC

Фиг. 2. TCK-BX

Преносимото тестващо устройство е предназначено да измерва и анализира характеристиките на магнитното поле на въжето, получено след намагнитването. Основният измервателен компонент са 6 радиално разположени датчици на Доу. Те, по данни на фирмата производител, са детектори на слаби магнитни полета с 75000 по-висока чувствителност от най-добрите датчици на Хол и се явяват най-иновативната разработка в тази област.

За измерване на изминатите разстояния се използва одометър, с помощта на който се определя местоположението на откритите дефекти.

Уредът е снабден със защитни капаци, които го предпазват от пръскане на маслени капки, а системата от направляващи ролки автоматично запазва изпитваното стоманено въже в центъра на намагнитващото или измерващо устройство.

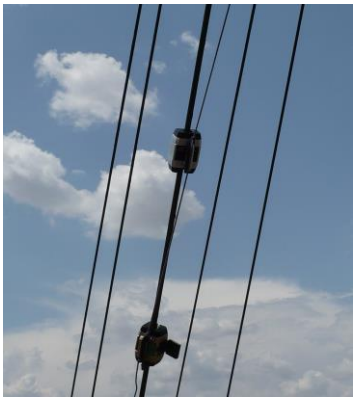
Резултати от проведените изследвания

Във връзка с предстояща рехабилитация и модернизация на насипообразувател A_2RS-B5000.67 беше извършено изследване на състоянието на окачващите въжета на изхвърлящата му стрела. Визуалният оглед на достъпните за това участъци показа, че въжетата са силно корозирали (фиг.3). За да се установи степента на повредите вследствие на корозията и други фактори, беше извършена инспекция с помощта на TCK-BX55 (фиг. 4). Това даде възможност за обективна оценка за наличието на дефекти по цялата дължина на въжето.

Фиг. 3. Част от корозирало опъвателно въже.

Данните, получени от инспекцията са обработени с TCK Analysis System. За всяко от изследваните въжета са генерирани:

- таблица на повредите – указваща позицията, стойността и типа на повредата, както и еквивалентното намаляване на диаметъра на въжето (фиг. 5);
- таблица за степента на повредата – даваща информация за броя и тежестта на повредите и формулирана препоръка за подмяна на въжето (както е в случая), за безпроблемна бъдеща експлоатация или засилен контрол (фиг. 6);



Фиг. 4. Инспекция с TCK-BX55

- таблица на типовете повреди – LF (локална повреда, най-често скъсани телчета), LMA (загуба на метал в следствие корозия и изтриване), комбинирани или други (евентуално смачкване) (фиг. 7) .

Освен в табличен вид, резултатите от инспекцията могат да се представят и графично. На фиг. 8 е представена част от графиката, получена при обследване на въже номер 2. От нея се вижда, че съществени дефекти във въжето са диагностицирани в долния му край в близост да свързването му към изхвърлящата стрела.

Аналогични са резултатите от изследване на въжета 1 и 3. Основните проблеми се диагностицират в тяхните крайща.

При въже № 4 освен проблемни области в края на въжето има открити множество неизправности, свързани с корозия и загуба на метал по цялата му дължина (фиг. 9).

TCK Wire Rope Inspection Technology Co. Ltd

Table of Flaw Sequence

Wire Rope State

Rope: 11 | Times: 3 | Table: Table of Flaw Sequence

Test Length: 16.5 M | Sampling No.: 1404 | Length Display: 0~16.5 M | Specs: 01*16-032

Length of Lay: 0 | Benchmark: 353 | Test Date: 20012-7-31 | Magneziation Date: 2000-1-1

Upper Limit: 10% | Max Spot Pos.: 16.5 M | Max Value: 18.60% | Total Flaws: 4

Serial	Flaw_Position_M	Flaw_Value	Type	Broken_Wire_Equivalent	Dia_Contraction_Equivalen
1	8.31	4.87	LMA		0.79
2	15.16	.72	LMA		0.12
3	15.28	1.46	Combined		0.24
4	16.18	18.60	Combined	3	3.13

Фиг. 5. Таблица на повредите

TCK Wire Rope Inspection Technology Co. Ltd

Table of Flaw Degrees

Wire Rope State

Rope: 11 | Times: 3 | Table: Table of Flaw Degrees

Test Length: 16.5 M | Sampling No.: 1404 | Length Display: 0~16.5 M | Specs: 01*16-032

Length of Lay: 0 | Benchmark: 353 | Test Date: 20012-7-31 | Magneziation Date: 2000-1-1

Upper Limit: 10% | Max Spot Pos.: 16.5 M | Max Value: 18.60% | Total Flaws: 4

Serial	Degree_of_Flaw	Quantity_of_Flaws	Remark
1	Slight	2	15%-30% of Upper Limit
2	Medium	1	30%-60% of Upper Limit
3	Serious	0	60%-80% of Upper Limit
4	Severe	0	Above 80% of Upper Limit and Below Upper Limit
5	Over Limit	1	Above or equals to Upper Limit
6	Conclusion	Stop Using	
7	Flaw Upper Limit	10%	

Фиг.6. Таблица за степента на повредите

TCK Wire Rope Inspection Technology Co. Ltd

Table of Flaw Type Analysis

Wire Rope State

Rope: 11 | Times: 4 | Table: Table of Flaw Type Analysis

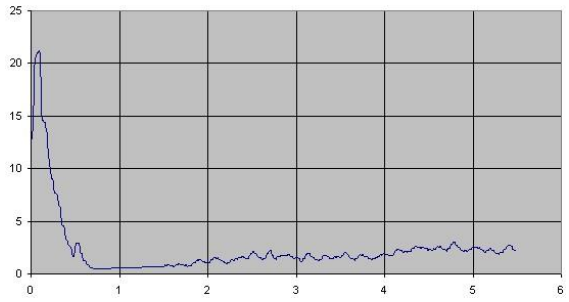
Test Length: 27.6 M | Sampling No.: 1443 | Length Display: 0~27.6 M | Specs: 01*16-032

Length of Lay: 0 | Benchmark: 268 | Test Date: 20012-7-31 | Magneziation Date: 2000-1-1

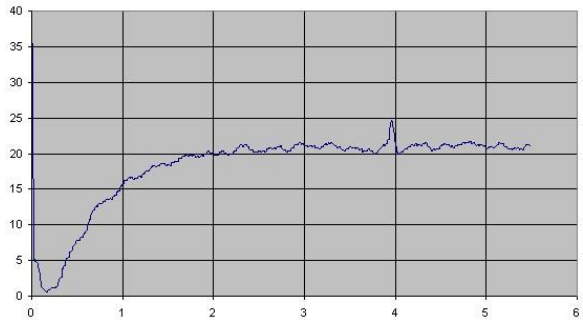
Upper Limit: 10% | Max Spot Pos.: 27.6 M | Max Value: 15.58% | Total Flaws: 33

Serial	Type	Quantity	Maximum_Flaw_Equivalent	Position_M
1	LF(Type)*	\	\	\
2	LMA*	26	2.76	22.63
3	Other*	1	0.69	5.05
4	Combined*	6	15.58	27.59

Фиг.7 Таблица за типовете повреди.



Фиг.8. Инспекция на въже №2.



Фиг. 9. Инспекция на въже №4.

Изводи

На база на проведените тестове могат да се направят следните изводи:

1. При три от въжетата TSK Analysis System издава препоръка за подмяна, поради наличието на повреди, които превишават препоръчителния 10% лимит на дефекти.
2. Основните проблемни области са в краищата на въжетата.
3. Вида на дефектите са основно от тип LMA (Loss of metallic cross-sectional area, включващи корозия, изтриване и др.) и комбинирани LMA + други (свързани с умора на метериала или смачкване).

Литература

Илия Йочев,Особености при експлоатацията и възможност за прогнозиране на остатъчния срок на работа на подемни въжета при провеждане на безразрушителен контрол на техническото им състояние, Годишник на МГУ “Св. Иван Рилски”, Том 49, Св.III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, 2006)

TCK-BX55, техническа документация на TCK Wire Rope Inspection Technology Co., ltd

http://www.tck-cn.com/en/index.htm

http://www.kingyoup.com/e-3-15.htm/

АНАЛИЗ КОНТРОЛА НА ЗНАНИЯТА В АКАДЕМИИТЕ НА ФИРМАТА CISCO КАТО МОДЕЛ ЗА ЕЛЕКТРОННО ОЦЕНЯВАНЕ

Веселин Христов[1], Кънчо Иванов[2]

[1] Минно геоложки университет „Св. Иван Рилски", 1700 София, veso@mgu.bg
[2] Минно геоложки университет „Св. Иван Рилски", 1700 София, kivanov@mgu.bg

РЕЗЮМЕ. Фирмата CISCO е организирала над 10 000 образователни академии в 165 страни, където дистанционно се обучават над 3 милиона курсисти годишно. В тези академии се преподава по няколко дисциплини, като най-известната е компютърни мрежи. Изследван е контролът на знанията в тези академии и е направен анализ, дали той може да бъде приложен като модел за електронно оценяване на компютърно базирани дисциплини в техническо висше училище.

ANALYSIS OF KNOWLEDGE CONTROL IN THE COMPANY CISCO ACADEMIES AS A MODEL FOR E-ASSESSMENT

Veselin Christov[1], Kancho Ivanov[2]

[1] University of Mining and Geology "St. Ivan Rilsky", 1700 Sofia, veso@mgu.bg
[2] University of Mining and Geology "St. Ivan Rilsky", 1700 Sofia, kivanov@mgu.bg

ABSTRACT. CISCO Company has organized over 10,000 educational academies in 165 countries where remote trains more than 3 million students annually. Several subjects are taught in these academies, the most famous is on the computer networks. Knowledge control in these academies is studied and analysis is made, whether it can be applied as a model for electronic assessment of computer-based courses in technical high schools.

Въведение

През последните десетина години все по-широко навлизат в учебния процес електронни системи за оценяване знанията на обучаваните. Такива системи се използват във висшето и средно образувание, в различни квалификационни и лицензиращи курсове, даже наскоро са въведени и в шофьорските курсове. Електронното оценяване става особено актуално като основен елемент на намиращото все по-голямо приложение в българското образование дистанционно обучение.

Този вид оценяване има редица предимства в сравнение с традиционните форми:

- Отделяне на изпитващия от изпитвания. Това спомага за избягване на волен или неволен субективизъм на изпитващия. Ограничава се възможността за различни корупционни практики при изпитване. Не е необходимо изпитващ и изпитвани да са на едно и също място и в едно и също време.
- Едновременно изпитване на голям брой обучавани. При традиционните форми на изпитване, особено когато изпита е индивидуален, е необходимо много време, понякога даже няколко дни. Проверката на резултатите от изпита също е твърди трудоемка и бавна. При електронното оценяване резултатът се появява веднага.
- По-голямо доверие от страна на изпитваните. Практиката на авторите показва, че при електронно изпитване, рядко се случва да има обструкции от страна на студентите.
- Докато изпита и оценяването е необходимо да се разработят от преподавателите, самото изпитване може да се осъществи от техническо лице – администратор на системата за изпитване и оценяване.
- Бързо автоматично документиране на проведения изпит.

Не може обаче да се твърди, че системите за електронно оценяване напълно ще заменят традиционните форми за изпитване и оценяване. Те имат някои недостатъци и принципни ограничения, например:

- Твърде формално изпитване. То от една страна е предимство, но от друга е недостатък, особено когато става въпрос за изпитване чрез тестове. Те позволяват да се проверят фактическите знания на изпитваните, но трудно се създават тестове, които да покажат, че изпитваният може да решава реална задача и че е осмислил знанията в дълбочина. Това е характерно за задачи с инженерно-конструкторски характер и задачи от областта на конструирането на алгоритми.
- Слаба пригодност при практическо изпитване. Системи за електронно оценяване за момента не могат да се прилагат при оценяване решаването

на практически задачи в редица области, например: математика, програмиране, медицина, литература и много други.
- В някои случай при изпита е необходимо да се достигне до границите на компетентност на изпитвания, например интервю за постъпване на работа. За тази цел се разработват адаптиращи се системи за електронно оценяване, но те засега имат само експериментален характер (Иванов е Забунов, 2003].
- Трудно определяне тежестта и баланса на отделните аспекти на знанието, което показва изпитваният. Това води до неточно оценяване.
- Опасност от прекъсване на изпита и загуба на резултати поради неочаквани външни причини, като спиране на ел. захранване, прекъсване на връзката и др.

Доколкото ни е известно до момента в България няма разработени нормативни документи регламентиращи електронното оценяване. Използват се голямо разнообразие от съществуващи системи, а също така и самостоятелно разработени такива. Това води до редица опасности за изкривяване на оценките и неподходящо прилагане на тези системи. Необходимо е разработване на методология за електронно оценяване, която да отчита всички аспекти за постигане на справедливи оценки в областите на приложимост на този вид оценяване.

През последните 10 години в катедра Информатика на МГУ „Св. Иван Рилски" се водят интензивни изследвания на различни форми на електронно обучение. Някои от резултатите са публикувани в няколко поредни отчета на катедрата и в(Иванов, 2012). Настоящият анализ е продължение на тези изследвания.

Контрол на знанията в мрежовите академии на фирмата CISCO

Фирмата CISCO, която е най-големия производител на мрежово и телекомуникационно оборудване в света, от 15 години развива програма за дистанционно обучение. Организациите желаещи да се включат в тази програма разкриват така наречени мрежови академии. До момента са разкрити над 10 000 такива академии в 165 страни по света и те обучават стотици хиляди курсисти. Темите на тези курсове са следната:
- Основи на информационните технологии (IT Essentials: PC Hardware and Software)
- Компютърни мрежи и комуникации I ниво (CCNA Discovery и CCNA Exploration)
- Компютърни мрежи и комуникации II ниво (CCNP)
- Сигурност на компютърните мрежи и комуникации (CCNA Security)

Обучават се ученици, студенти и други желаещи да повишат своята квалификация. Курсовете са структурирани на семестри, обикновено четири, а семестрите се състоят от глави (от 8 до 12). Завършилите се явяват на финален тест и получават съответни индустриални сертификати за своите умения. Много от тези курсове са включени в учебните планове на училища, колежи и университети.

Доколкото обучението е по приложни теми, обучението е частично дистанционно. Теоретичната част от обучението е организирана дистанционно във вид на мултимедийно учебно съдържание достъпно през Internet, като се поддържат няколко различни езика. Част от практическите упражнения за домашна подготовка също са реализирани дистанционно, като за целта е разработено мощно симулационна програма наречена Packet Tracer. Основните практически упражнения обаче се провеждат в мрежовите академии, като за целта те трябва да имат набор (bundle) от мрежови устройства на CISCO. Изисква се мрежовата академия да има инструктори, които да водят тези упражнения.

Текущото оценяване на знанията също е организирано частично дистанционно. След всяка глава се провежда тест генериран от сайта на CISCO от 30 – 40 въпроса. В края на семестъра има семестриален тест, който е от 60 въпроса. Освен семестриалния тест обаче се изисква решаване на практически задачи, които се оценяват от преподавателя (инструктора). Накрая на курса има и финален тест. По желание на преподавателя могат да се добавят различни други оценки, например от курсов проект. Към семестриалната оценка преподавателят може да добавя и оценка за лично впечатления от курсиста. Семестриалната оценка се получава като притеглено средно аритметично от оценките на тестовете за главите, семестриалния тест и посочените по-горе допълнителни оценки. Преподавателят може да зададе свои собствени тегла на всяка една от тези оценки и така да контролира начина на оценяване. На края на всеки семестър курсистът получава автоматично свидетелство за неговото завършване.

Финалният сертифициращ тест се провежда в специално определени от CISCO фирми, като при него времето е точно зададено и не се допуска ползването на никакви помощни средства, даже и калкулатор за пресмятанията.

Текущите тестовете са от затворен тип и са еднакви са всички тествани. Повечето въпроси изискват един верен отговор, но има въпроси изискващи два или даже три верни отговора. Оценката от тест се получава автоматично на базата на процент верни отговори. Тя може да се коригира, както бе посочено от преподавателя, чрез теглото на целия тест в крайната оценка. Преподавателят пуска провеждане на тест за определен период от време, като може да контролира времетраенето на теста, броя опити, курсистите, които могат да участват и IP адресите, от които може да се проведе теста. По време на теста, курсистът може да контролира, колко въпроса да му се зареждат в една Web страница. Ако връзката се прекъсне за кратко, той няма да загуби теста си. Ако блокира неговият компютър, ще загуби само текущата Web страница, която не е изпратена към CISCO.

Gradebook

	EWAN Chapter 1	EWAN Chapter 2	EWAN Chapter 3	EWAN Chapter 4	EWAN Chapter 5	EWAN Chapter 6	EWAN Chapter 7	EWAN Chapter 8	EWAN Final Exam	EWAN Practice Final Exam	ENetwork PT Practice SBA	ERouting PT P ractice SBA OSPF	ERouting PT P ractice SBA EIGRP	ESwitching PT Practice SBA	EWAN PT Practice SBA	CCENT Practice Certification Exam # 1	CCENT Practice Certification Exam # 2	CCNA Practice Certification Exam # 1	CCNA Practice Certification Exam# 2	EWAN Course Feedback	Skills	Custom Scores	Weighted Percentage
Weight (Totals 100)	9	9	9	9	9	9	9	9	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		9	0	
Sho_clk	100	73.3	86.7	100	83.0	78.0	93.0	95.2	83.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	100		88.6
altepar	97.8	100	95.6	100	96.2	100	88.4	100	98.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	100	0	97.6
boneton	95.7	100	100	100	100	100	95.3	100	86.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	100	0	96.6
lonkov	93.5	100	95.6	100	100	100	95.3	88.1	95.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	100	0	96.6
s0ny123	95.7	100	95.6	95.6	96.2	100	95.3	100	85.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	100	0	95.2
christov	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			0.0

Фиг. 1. Електронен дневник

Системата поддържа в сайта на мрежовата академия електронен дневник, в който са описани всички курсисти, всички провеждани и провеждащи се курсови (фигура 1). За всеки проведен тест и за всеки курсист взел участие в него се пази информация. Пазят се отговорите на всеки въпрос за даден курсист. По желание на преподавателя той може да му покаже, къде е сгрешил.

Изводи

Анализирайки опита на фирмата CISCO от нейната всеобхватна система за дистанционно обучение могат да се направят следните изводи:

1. При преподаване на приложни дисциплини е препоръчително да се провежда само частично дистанционно обучение, като практическите упражнения задължително се провеждат в лаборатория с реално оборудване.
2. Необходимо е преподавателя да контролира начина на оценяване, какво да се оценява, баланса на различните оценки и т.н.
3. Не може да се разчита само на тестово изпитване, в системата за електронно оценяване е необходимо да се вложат по някакъв начин и традиционни начини на изпитване и оценяване – решаване на практически задачи, курсови проекти, лични впечатления на преподавателя и др.
4. Преподавателят трябва да може да контролира провеждането на теста – времето, когато той е достъпен, курсистите провеждащи теста, броя на опитите, времетраенето на теста, мястото, от където може да се провежда теста.
5. Системата е необходимо да поддържа подробен архив (дневник) на проведените изпити.
6. Централизираната система на CISCO дава максимална защита от пропадане по време изпит, загуба на резултати, неконтролиран достъп.

Като недостатъци на системата за електронно оценяване на фирмата CISCO може да се отбележи следното:

- тестовите са само от затворен тип,
- всички изпитвани правят идентичен тест,
- преподавателят не може да контролира теглата на отделните въпроси в теста,
- системата не позволява преподавателя да създава собствени тестове.

Както бе посочено в началото съществуват много други системи за електронно оценяване. Такава например е системата Moodle. Тя е система с отворен код и е инсталирана и се ползва в МГУ „Св. Иван Рилски”. Тя позволява всеки преподавател да конструира собствен тест. Тестовете могат да са от отворен тип. Тестът може да има много на брой въпроси, но в дадено изпитване могат да участват само част от тях, при това на всеки изпитван се генерира случайна извадка от въпроси и местата на възможните отговори на даден въпрос се показват разбъркано. Тя обаче е ограничена само за тестово оценяване.

Заключение

От направения анализ на системата от мрежовите академии на фирмата CISCO може да се направи изводът, че тази система е подходяща за използване като модел за дистанционно обучение и електронно оценяване по приложни дисциплини особено в инженерен университет като МГУ „Св. Иван Рилски”.

Не бива да се подценява и опита, който е натрупан от използване на други системи като споменатата Moodle, например.

Литература

Методи и форми на преподаване на “Информационни системи” и “Компютърни мрежи и комуникации” в условията на Интернет, НИС на МГУ, МЕМФ-16/2002, отчет, бр. стр. 60 – *(Библиотека на МГУ „Св. Иван Рилски”)*.

Информационен модел за обучение и оценяване в среда Интернет, НИС на МГУ, МЕМФ-27/2003, отчет, бр. стр. 58 – ***(Библиотека на МГУ „Св. Иван Рилски”).***

Информационно подпомагане на учебния процес; договор МЕМФ-72/2007 НИС на МГУ, отчет, бр. стр. 30 – *(Библиотека на МГУ „Св. Иван Рилски”).*

Информационно осигуряване на учебния процес; договор МЕМФ-84/2008 НИС на МГУ, отчет, бр. стр. 31 – (Библиотека на МГУ „Св. Иван Рилски”).

Иванов К., 2012, Компютъризация на процеса на самостоятелно усвояване на учебното съдържание при дистанционно обучение, *Четвърта национална конференция с международно участие по електронно обучение във висшето образование, Свищов, ISBN 978-954-23-0747-1, 11-13.05 2012 г., стр. 170-177*

Иванов, К., С. Забунов, 2003, Модел на индивидуално-адаптивна система за електронно обучение, *Трудове на Научната Сесия РУ’2003*

ГРАФИЧНО ПРЕДСТАВЯНЕ НА ДАННИ ЧРЕЗ ИНСТРУМЕНТИ С ОТВОРЕН КОД

Иван Казанджиев[1], Николай Янев[2], Кънчо Иванов[3]

[1]Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail
[2]Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail niki@mgu.bg
[3]Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail

РЕЗЮМЕ. В статията се разглежда теорията за качество на данните и в частност тяхното графично представяне. Направен е обзор на няколко инструмента използващи различни съвременни програмни технологии за презентиране на данни. За повишаване на качеството на данните бяха избрани инструменти с отворен код, поради тяхната добра функционалност, достъпност и възможност за лесно надграждане.

GRAPHICAL REPRESENTATION OF DATA WITH OPEN-SOURCE SOFTWARE

Иван Казанджиев[1], Николай Янев[2], Кънчо Иванов[3]

[1]Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail
[2]Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail niki@mgu.bg
[3]Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail

ABSTRACT In this paper we delve into the theory of Data Quality and in particular – graphical presentation of data. We have reviewed a few programming instruments that are using different modern programming technologies capable of visually presenting data. For the improvement of Data Quality were chosen programming products that are open-source because of their good functionality, accessibility, and easy modification.

Качество на данните

Напоследък интензивно се развива теорията Data Quality (фиг. 1). Основна задача на тази теория е разработката на методи и средства за анализ и за подобряването на качеството на данните.

Фиг. 1. Data Quality - интеграционна платформа.

Осигуряване на Data Quality (DQ) е процес на проверка на надеждността и ефективността на данни. Качеството на данните е и степента, до която информацията изпълнява определени изисквания. Поддържането на качеството на данните изисква обработването им и периодичното им пречистване. Обикновено това включва анализиране, актуализиране, стандартизиране и избягване на дублиране на данни, за да създаде единен изглед на данните, включително и от разнородни системи.

Степента на детайлизацията или общото представяне на информация е избор от страна на потребителите по време на диалога и създава благоприятна работна среда с оглед разнообразните условия за взимане на решение. От друга страна подробната информация, която е представена чрез разнообразно оцветяване и специализирано сигнализиране създава удобство при работата на потребителите и им спестява времето за допълнителен анализ.

Подходи за разработване на приложение, удовлетворяващо Data Quality

Има три основни подхода, за да се направи оценка дали дадени данни са подходящи да се използват в определен контекст:

- Теоретичен - този подход има само четири свойства за постигане на качеството на данните (пълнота, еднозначност, значимост, вярност). Тези свойства не осигурява надежден модел за всички сфери на приложимост на DQ.

- Интуитивен — подход, който се базира на интуицията на признат експерт в сферата на DQ, който да определи необходимите свойства, които да притежават данните, за да са полезни за даденото им приложение.

- Емпиричен – при този подход техническите изисквания на клиентите и тяхната преценка служат за определяне на дадени данни като качествени.

Като се има в предвид, че уважаваните и признати експерти в тази сфера използват теоретичния подход като основа на своите категоризации за качество на данните, добра комбинация за определянето на качеството е съчетаването на интуитивния и емпиричен подход.

Томас С. Редман – участник в развитието на теорията за Data Quality и експерт в сферата, предлага следните 4 категории с общо петнадесет свойства за определяне качеството на данните :

Таблица 1.

Категория	Свойство	Определение
Същественост	Правдоподобност	"Степента, до която данните се разглежда като истина, са реални и надеждни."
	Точност	"Степента, до която данните се разглежда като верни, надеждни и несъдържащи грешки."
	Обективност	"Степента, до която данните са безпристрастни."
	Репутация	"Степента, до която данните са достоверни и високо ценени заради източника си."
Контекст	Добавена стойност	"Степента, до която данните са полезни и носят предимства при тяхното използване."
	Уместност	"Степента, до която данните са приложими за текущата задача."
	Своевременност	"Степента, до която данните са актуални за текущата задача."
	Цялост	"Степента, до която данните са достатъчно задълбочени в сферата на текущата задача."
	Подходящо количество данни	"Степента, до която обемът на данните е достатъчен."
Презентация	Интерпретируемост	"Степента, до която данните са в подходящият език и единиците и дефинициите са ясно представени."
	Леснота на възприемане	"Степента, до която данните са очистени от двусмислие и лесно се възприемат."
	Презантационна последователност	"Степента, до която данните са винаги представяни в един и същи формат и са съвместими с предишни данни. "
	Кратко представяне	"Степента, до която данните са компактно представени и все пак точни и достатъчни."
Достъпност	Достъпност	"Степента, до която данните са достъпни."
	Сигурност	"Степента, до която достъпът до данните може да бъде ограничен."

Както е видно от таблица 1 презентацията на данните е една от основните четири категории, определящи качеството на дадени данни. Структурирайки множеството числови стойности и представянето им с помощта на визуални методи (графики) спомага за по-бързо и лесно възприемане на представената ни информация.

Разработването на програмни продукти следвайки добрите практики препоръчвани по отношение на графичната визуализация на данните в Data Quality (таблица 1) води до лекота при възприемане на информацията от потребителите и съкращаване на техническото време за вземане на решение, което по същество създава условия за по-ефективна работа.

Инструменти за графично представяне на данни

За избор на най-подходящ набор от технологии и инструменти за създаване на графични визуализации, бяха проучени и анализирани няколко такива:

1. ***Highcharts JS*** – е JavaScript библиотека, която предоставя богато разнообразие от графични модели за представяне на данни. Информацията за изчертаването на графиките се подава в един от два формата – XML или JSON (текстови формати).

   1.1. **Част от възможностите на продукта *Highcharts JS*** са:

   1.1.1. Възможност за създаване на динамично изчертавани и интерактивни графики.

1.1.2. Множество настройки по визуалната част на графиките (анимиране на елементи от графиката, тип на графиката, цветове, етикети, промяна на посоката на изписване на текст и други).

1.1.3. Възможност за принтиране и запазване на графиките като изображения.

1.2. **Предимства на *Highcharts JS***.
Използва JavaScript – език за програмиране, който се изпълнява директно от браузъра и има отлични перспективи за развитие, HTML за структуриране на информацията, като за изчертаване на самите изображения се използва технологията SVG при повечето браузъри (тези които не поддържат SVG, използват Flash като алтернативен вариант).

1.3. **Минуси на *Highcharts JS*.**
Highcharts JS е платен продукт, когато се използва с комерсиална цел и лиценз за един програмист струва 360$.

2. ***Flot*** – е JavaScript библиотека, която предоставя малко разнообразие от графични модели за представяне на данни. Информацията за изчертаването на графиките се подава JSON формата.

2.1. **Част от възможностите на продукта *Flot*** са:
2.1.1. Възможност за създаване на динамично изчертавани графики.
2.1.2. Настройки по визуалната част на графиките (тип на графиката, цветове, етикети и други).

2.2. **Предимства на *Flot*.**
Използва както и Highcharts JS JavaScript, HTML и SVG. Безплатен продукт и за работата си изисква jQuery – друга JavaScript библиотека, също безплатна.

2.3. **Минуси на *Flot*.**
Малък набор от настройки и липсва интерактивност на графиките .

3. ***amCharts*** **–** предлага също доста голяма гама от възможности за създаване на графики. Продукта използва JavaScript и XML или CSV файл за приемане на данните за представяне.

3.1. **Част от възможностите на продукта *amCharts* са**:
3.1.1. Възможност за създаване на динамични и интерактивни графики.
3.1.2. Множество настройки по визуалната част на графиките (тип на графиката, цветове и други). Като цяло възможностите за персонализация са сходни, но по-малко от тези на ***Highcharts JS***.

3.2. **Предимства на *amCharts*.**
Продуктът също използва JavaScript и HTML технологиите, но има и алтернативен вариант за работа с Flash технологията вместо JavaScript.

3.3. **Минуси на *amCharts*.**
amCharts е платен продукт и лиценз за един програмист струва 99€. Има опция за безплатно използване с комерсиална цел, но изискването е да се включи хипервръзка към сайта на производителя в крайния продукт. Цената е по-ниска от тази на ***Highcharts JS***, но и функционалността е по-ограничена.

4. ***ChartDirector*** **–** е PHP базирана система за изчертаване на графики. Графиките са статични картинки създадени чрез **gd** библиотеката на PHP. Имплементации на ***ChartDirector*** има в няколко други езика: Java, . NET, ASP, COM, VB, Perl, Python, Ruby, ColdFusion, C++.

4.1. **Част от възможностите на продукта *ChartDirector*** са:
4.1.1. Възможност за създаване на статични графики.
4.1.2. Множество настройки по визуалната част на графиките (тип на графиката, цветове, етикети и други).

4.2. **Предимства на *ChartDirector*.**
Няма такива

4.3. **Минуси на *ChartDirector*.**
ChartDirector е платен продукт и лиценз за един програмист струва 99$.

5. ***XML/SWF*** **–** е продукт, който се възползва от Flash и XML технологиите, за да създаде интерактивни и динамични графики.

5.1. **Част от възможностите на продукта *XML/SWF* са**:
5.1.1. Възможност за създаване на динамични и интерактивни графики.
5.1.2. Множество настройки по визуалната част на графиките (тип на графиката, цветове, етикети, анимиране на елементи от графиката и други).

5.2. **Предимства на *XML/SWF*.**
Що се отнася до нашият проект ***XML/SWF*** няма предимства пред ***Open Flash Chart***.

5.3. **Минуси на *XML/SWF*.**
XML/SWF е платен продукт и лиценз за един програмист струва 39$.
(Не толкова минус колкото изискване)
XML/SWF се нуждае от добавката за който и да е от популярните интернет браузъри (Firefox, Internet Explorer, Chrome, Opera, Safari) - **Flash Player** - за да може да работи. При това Google Chrome включва автоматично тази добавка при инсталацията.

6. ***Open Flash Chart*** – е продукт, който използва Flash технологията за да трансформира скучните текстови числови данни във една динамична и интерактивна

графика. Информацията за изчертаването на графиките се подава в JSON формат.

6.1. **Част от възможностите на продукта *Open Flash Chart*** са:
   6.1.1. Възможност за създаване на динамични и интерактивни графики.
   6.1.2. Множество настройки по визуалната част на графиките (анимиране на елементи от графиката, тип на графиката, цветове, етикети, промяна на посоката на изписване на текст и други).

6.2. **Предимства на *Open Flash Chart***.
Продуктът предлага почти същата функционалност, каквато предлагат платените му конкуренти, но безплатно. Тъй като е лицензиран под GNU софтуерен лиценз - имаме право да модифицираме продукта и да го продадем т.е. използване с комерсиална цел.

6.3. **Минуси на *Open Flash Chart.*·**
(Не толкова минус колкото изискване)·Open *Flash Chart* се нуждае от добавката за който и да е от популярните интернет браузъри (Firefox, Internet Explorer, Chrome, Opera, Safari) - **Flash Player** - за да може да работи. При това Google Chrome включва автоматично тази добавка при инсталацията.

7. ***Fusion Charts*** – също използва Flash технологията за да анимира и представи по по-интересен начин информацията. Необходимите данни се подават в JSON формат.

7.1. **Част от възможностите на продукта *Fusion Charts*** са:
   7.1.1. Възможност за създаване на динамични и интерактивни графики.
   7.1.2. Много настройки по визуалната част на графиките (анимиране на елементи от графиката, тип на графиката, цветове, етикети, промяна на посоката на изписване на текст и други).

7.2. **Предимства на *Fusion Charts***.
Продуктът предлага почти същата функционалност, каквато предлагат ***Open Flash Chart*** . Също е лицензиран под GNU софтуерен лиценз - имаме право да модифицираме продукта и да го продадем т.е. използване с комерсиална цел.

7.3. **Минуси на *Fusion Charts.*·**
(Не толкова минус колкото изискване)·Open *Flash Chart* се нуждае от добавката за който и да е от популярните интернет браузъри (Firefox, Internet Explorer, Chrome, Opera, Safari) - **Flash Player** - за да може да работи. При това Google Chrome включва автоматично тази добавка при инсталацията.
Спрямо ***Open Flash Chart*** минус, е че се използва по-старта версия на езика за програмиране във Flash(ActionScript). За в бъдеще от **Flash Player-**а може да отпадне възможността за изпълнение на код написан на старта версия.

Таблица 2.

Продукт	Промяна на графични елементи	Интерактивност	Обща Функционалност	Формат на данните	Цена за лиценз
Highcharts JS	Най-много на брой	Много добре реализирана	Отлична	JSON,XML	360$
Flot	Малко на брой	Никаква	Слаба	JSON	Безплатен
amCharts	Много на брой	Добре реализирана	Много добра	XML,CSV	99€ (с опция за безплатен)
ChartDirector	Много на брой	Слабо реализирана	Добра	Директно от базата данни	99$
XML/SWF	Много на брой	Добре реализирана	Много Добра	XML	39$
Open Flash Chart	Много на брой	Много добре реализирана	Отлична	JSON	Безплатен
Fusion Charts	Много на брой	Добре реализирана	Много добра	XML	Безплатно

Спряхме се на продукта ***Open Flash Chart*** – тъй като напълно осигурява функционалността необходима за графичната визуализация на данните от справките в системата " VEZNA", също така лицензът му е безплатен.

Заключение

Продуктът ***Open Flash Chart (OFC)*** бе апробиран в най-голямото въгледобивно предприятие в Република България - "Мини Марица-изток" ЕАД. OFC беше използван за графично представяне на данни, което представлява част от уеб-базирана система, разработена за нуждите на "Мини Марица-изток" ЕАД. Потребителската

оценка от използването тази система, и в частност на графичната визуализация, е че качеството на данните - в смисъла на информативност, скорост на възприемане и удобство при работа са се повишили. Тази положителна потребителска оценка ни дава увереност да твърдим, че избраните подходи за постигане на Data Quality в комбинация с продукти с отворен код са дали много добър резултат.

Литература

Янев Н., К. Иванов, И. Казанджиев, Усъвършенстване на ИС с уеб базиран интерфейс на Програмния продукт за пренос и обработка на информация от ж.п. везна в разтоварището на ТЕЦ Марица Изток 2, договор № МТ - 509/2009

Янев Н., К. Иванов, И. Казанджиев, Н. Халачев, Г. Георгиев, П. Костова, ПОВИШАВАНЕ КАЧЕСТВОТО НА ДАННИТЕ ЧРЕЗ ПРИЛАГАНЕ НА СИСТЕМАТА VEZNA, Годишник на МГУ „Св. Иван Рилски", Том 53, Свитък IV, 2010

Redman T., "Data Quality: The Field Guide", Digital Press 2001

Garvin D., "Competing on the Eight Dimensions of Quality", Harvard Business Review, (November-December 1987), pp. 108-109.

Garvin D., "Managing Quality"; (New York: Free Press, 1987).

Batini C. M. Scannapieca – "Data Quality Concepts, Methodologies and Techniques", Springer;

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНАТА СИСТЕМА НА СЕПАРАТОР, РАБОТЕЩ С ИМПУЛСНИ МАГНИТНИ ПОЛЕТА

Ромео Александров

Минно-Геоложки Университет "Св. Иван Рилски" – София 1700 България

РЕЗЮМЕ. За намиране на управляващите параметри на системата за магнитна сепарация се налага изследване на преходни процеси в нелинейни вериги. При тях между електрическите и магнитните величини съществуват значително по-сложни зависимости, които най-често се представят под формата на експериментално снети криви или числови стойности в табличен вид. Експериментално е изследвано магнитното поле в магнитопровода на електромагнитите.

EXPERIMENTAL RESEARCH OF ELECTROMAGNETIC SEPARATOR SYSTEM WORKING WITH IMPULSE MAGNETIC FIELDS

Romeo Alexandrov

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski" – 1700 Sofia Bulgaria

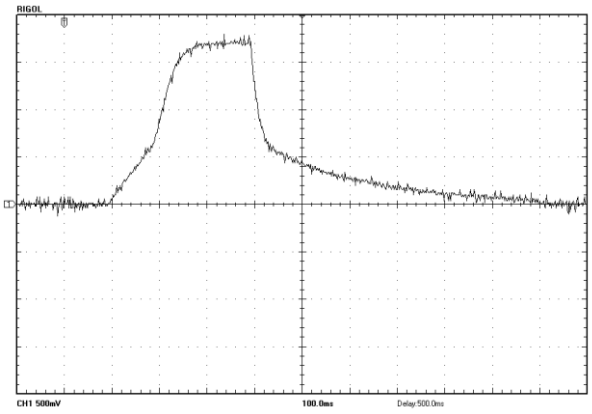
ABSTRACT. To find the parameters running the magnetic separation system is necessary to study transient processes in nonlinear circuits. There are significantly more complex relationships between electric and magnetic variables in them which are most often presented in the form of experimental taken curves or numeric values in tabular form. The magnetic field is experimentally studied in the core of the electromagnets of the separator.

Въведение

При експерименталните изследвания на схемата, публикувана в (Александров 2011), за управление на физически модел на електромагнитен сепаратор се установи появата на изразена нелинейност при изменението на тока (фиг. 1), което очевидно се дължи на голямата стойност на протичащите импулсни токове, необходими за създаването в сравнително големия обем на работната неферомагнитна среда на поле със значителна магнитна индукция. В ограничения обем на феромагнитната сърцевина това води до насищане на магнитопровода. Тази особеност затруднява проектирането на управляващото устройство на електромагнитния сепаратор. За намиране на управляващите параметри на системата за магнитна сепарация се налага изследване на преходни процеси в нелинейни вериги.

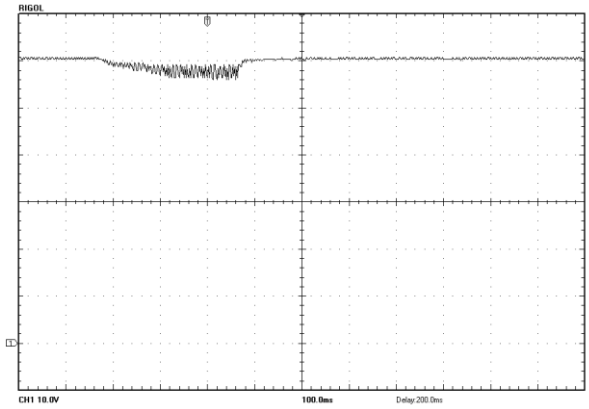
За разлика от линейните, в нелинейните вериги между електрическите и магнитните величини съществуват значително по-сложни зависимости, които най-често се представят под формата на експериментално снети криви или числови стойности в табличен вид.

На фиг. 1 е показана осцилограмата на тока, снет върху измерителен шунт със стойност 0,1Ω, през електромагнитите на сепаратора при подаване на импулс от постоянно напрежение. Времетраенето на импулса е 300ms, отговарящо на нарастващия фронт и установената стойност на токовия импулс, Импулси с времена от такъв порядък се използват по технологични съображения.



Фиг. 1

Напрежението на постояннотоковата шина на силовото електронно устройство снабдена с електролитен кондензатор с голям капацитет, по време на импулса е показано на фиг. 2. Спадът в напрежението е по време на създадения от устройството напреженов импулс подаден на изводите на електромагнитната система на сепаратора.

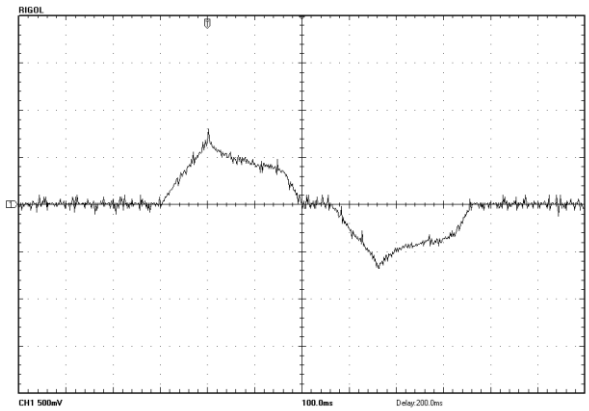


Фиг. 2

Чрез промяна на зададеното времетраене на напреженовите импулси може да се формира токов импулс с определени параметри.

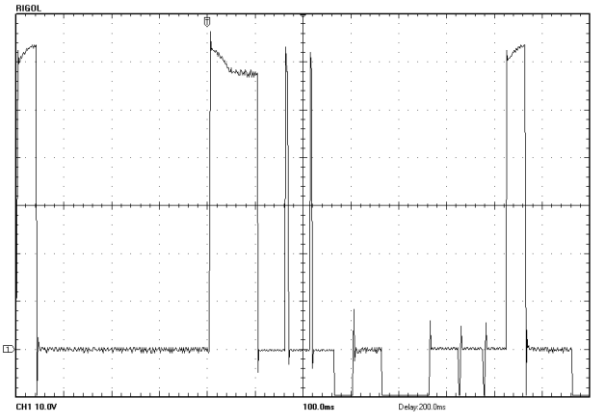
Формиране на токови импулси в електромагнитната система на сепаратора

На фиг. 3 са показани формираните положителен и отрицателен токови импулси с продължителност 300ms. Ако се приеме, че идеалната форма на токовия импулс е правоъгълна, така формираният импулс е с форма максимално близка до нея. Стръмният преден фронт на тока със скорост на нарастване по-голяма от $50A.s^{-1}$ при сравнително голямата индуктивност на електромагнитите се дължи на използването на напреженови импулси с голяма стойност (фиг. 4 и фиг. 5). Платото на токовия импулс се формира чрез допълнително импулсно напрежение в зависимост от отношението на времето на импулса и периода на поредицата. За формиране на спадащия фронт на силовия токов импулс се използва спецификата на мостовия преобразувател - диодите за обратна проводимост на противоположните управляеми електронни ключове, те създават условия за подаване на обратно напрежение.

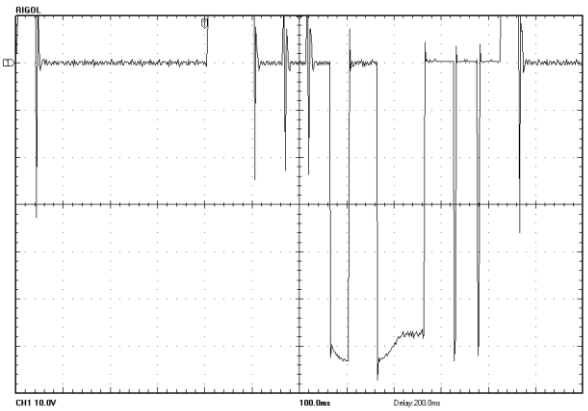


Фиг. 3

На фиг. 4 и фиг. 5 са показани съответните положителни и отрицателни напреженови импулси отговарящи на тока от фиг. 3 (осцилограмите на напреженията са снети при превключена сонда по 10). Представянето на напрежението на две фигури е с цел по детайлно показване на импулсите.

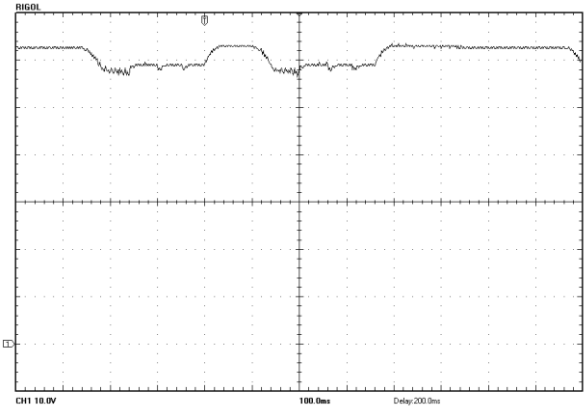


Фиг. 4



Фиг. 5

На фиг. 6 е показано напрежението на постояннотоковата шина отговарящо на тока от фиг. 3 и напреженията от фиг. 4 и фиг. 5. За разлика от напрежението от фиг. 2 тук напрежението в края на токовия импулс се повишава за сметка на върнатата към електролитния кондензатор електромагнитна енергия, запасена по време на намагнитването, в електромагнитната система. Стойността на нарастване на това напрежение е критично по отношение безаварийната работа на силовото електронно устройство и зависи от капацитета на кондензатора на постояннотоковата шина при определени технологични изисквания към електромагнитната система и токовия импулс.



фиг. 6

Снемане на опитни данни и построяване на нормирани характеристики на електромагнитите на сепаратора.

За получаване на конкретни резултати е необходимо експерименталното изследване на магнитното поле в магнитопровода на електромагнитите. При експеримента от съществено значение е изборът на метод и средства за измерване.

В индукционните преобразуватели е залегнал принципът на закона за електромагнитната индукция. Те преобразуват измерваната величина в пропорционално на нея напрежение.

$$e = -\frac{d\psi}{dt}; \qquad (1)$$

Индукционният преобразувател представлява бобина, която обхваща пълен магнитен поток ψ, променящ се във времето. Ако измерителната бобина има w навивки (1) може да се представи във вида

$$e = -w\frac{d\Phi}{dt} = -ws\frac{dB}{dt}, \qquad (2)$$

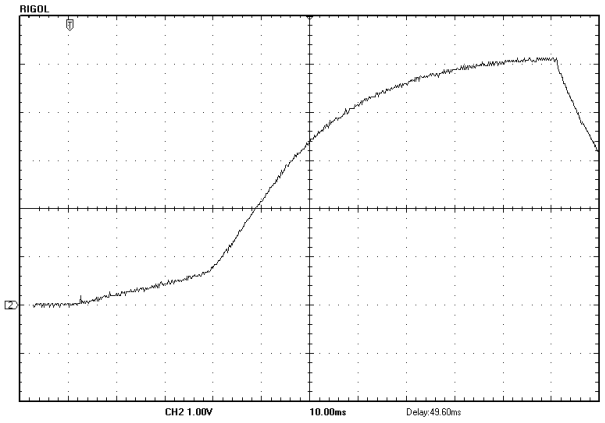
където s е площта на заградения от измерителната бобина магнитен поток.

При пасивните преобразуватели в процеса на измерването геометрията на преобразувателя и свойствата на ядрото остават неизменни, а индуктираното напрежение се получава вследствие на изменението на магнитното поле.(Матраков, Б., Д. Русев, Ж. Костов. 1985.) Когато обхванатият от бобината поток се изменя, изменението на изходното напрежение може да се снеме под формата на числови данни с помощта на запомнящ цифров уред снабден с подходящ аналого-цифров преобразувател. След интегриране на тези данни се получава пълният магнитен поток ψ, променящ се с течение на времето. При допълнителна математическа обработка могат да се намерят магнитният поток и магнитната индукция. В (2) с Φ и B са означени нормалните (спрямо s) компоненти на потока и индукцията на преобразувателя.

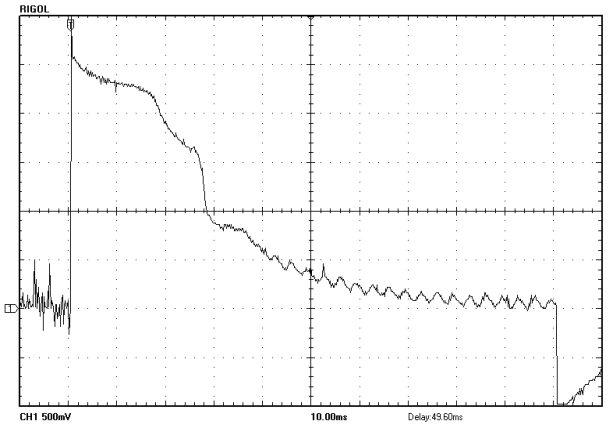
При измерване с помощта на измервателна бобина всяка от навивките ѝ w обхваща магнитен поток Φ. Потокосцеплението $\Psi = w\Phi$ е първичната измервана, т.е. входната, за индукционния преобразувател, величина.

Измерваната величина, в зависимост от измервателния уред, включен в схемата, и в зависимост от вида на магнитното поле, може да е електродвижещо напрежение, ток, или количество електричество. В случая величината е електродвижещо напрежение, а за измервателен уред се използва цифров осцилоскоп.

Всички експериментални изследвания са направени върху един от електромагнитите на сепаратора с помощта на запаметяващ осцилоскоп. Чрез него се записва файл състоящ се от числови стойности на текущата величина в определени моменти от време (т.е. дискретизира сигнала). Полученият файл е във формат, който се разчита освен от Excel и от обикновени текстообработващи програми (Notepad и др.). Това е подходящо за по-нататъшна програмна обработка на резултатите. За изчисляване на потока е създаден програмен код в програмата Matlab, с помощта, на който се начертават времевите характеристики на тока и потока, а така също и Вебер-амперните характеристики на електромагнита.



Фиг. 7



Фиг. 8

За получаване характеристиките е използван следният подход. Едновременно се снемат данните за тока през намагнитващата бобина и електродвижещото напрежение на измерителната бобина. Измерването се прави при подаване на стъпален напреженов импулс на изводите на намагнитващата бобина на експерименталния електромагнит. За потока се съди по интегрирания сигнал на електродвижещото напрежение, получено на изводите на измервателна бобина (пасивен индукционен преобразувател).

За изчисляване на потока е избран характерен участък от магнитната верига, а именно феромагнитната част на магнитопровода обхващаща възможно най-добре магнитния поток. В този участък се снемат индуктираното електродвижещо напрежение в измервателната бобина, разположена по подходящ начин.

Едната сондата на осцилоскопа е свързана към шунтово съпротивление със стойност 0,1Ω последователно свързано с намагнитващата бобината на електромагнита.

Обхвата на този канал е 1 V/деление, а обхвата за времето е 10ms/деление. Напрежението на подавания импулс от управляващото устройство е със стойност 580V и времетраене 100ms. Графиката на изменението на тока през бобината, за времето на подавания от управляващото устройство импулс е дадена на фиг. 7. По същото време, с другата сонда е снето индуктираното електродвижещо напрежение (фиг. 8) в измервателна бобина с 10 навивки, навита върху феромагнитната част на магнитопровода.

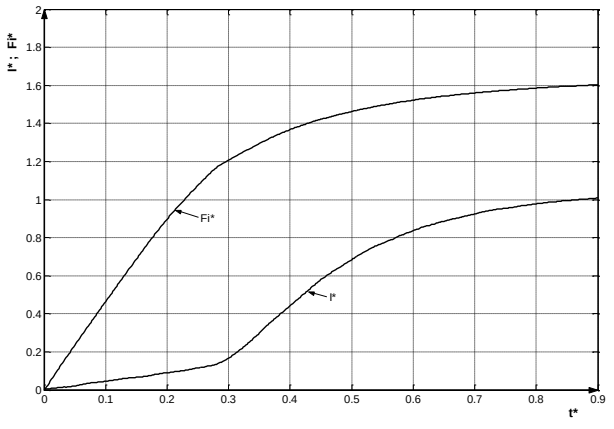
Нормирането (Филипов, Е. 1979) - преобразуването на зависимостите между разглежданите физични величини в зависимост между бездименсионни величини се постига, като всичките физични величини - напрежение, съпротивление, индуктивност, ток и т. н., както и времето бъдат отнесени към определените постоянни стойности на базисните величини. Базисните величини се избират от характерни стойности на съответната величина.

Опитно снетите зависимости за пълния поток и тока, се характеризират с определена физична размерност. За нормиране се въвеждат базисни стойности на участващите параметри, при което се получават зависимости между бездименсионни (безразмерни) величини.

За базисна стойност за времето се приема началната времеконстанта на електромагнита, т.е. за токове, при които няма насищане на магнитопровода.

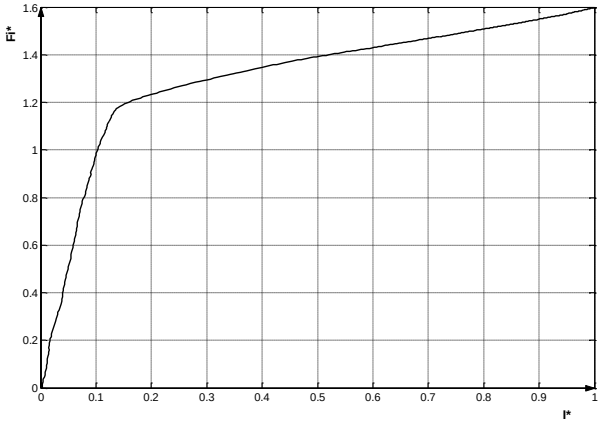
$$T_{б} = \frac{L_{нач}}{R}$$

Експерименталният електромагнит е с начална времеконстанта $T_{б} = 0{,}1s$. За базисна на стойност за потока от фиг. 8 приблизително може да се отчете $\Psi_{б} = 5Wb$. За базисна стойност на тока се приема установената му стойност $I = 50A$.



Фиг. 9

След обработката в Matlab на данните (в числов вид) за тока и електродвижещото напрежение от файловете записани чрез цифров осцилоскоп, са получени нормираните характеристики на тока и потока (фиг. 9), и съответната им Вебер-амперната характеристика (фиг. 10).



Фиг. 10

Поради наличието на значителни смущения в данните за тока графиката е построена след преминаване през изглаждаща процедура. За електродвижещото напрежение това не се прави, защото данните се интегрират, за да се получи потока, което само по себе си води до изглаждане.

Заключение

Получените резултати при експерименталното изследване за формиране на силов токов импулс в електромагнитната система на сепаратора показват приложимостта им за целите на управлението на магнитни сепаратори.

Представените нормирани характеристики водят до известна универсалност на резултатите от анализа, т.е. опростяване и според случая обобщаване на получените резултати.

На тази основа може да се определи апроксимиращата функция, като се зададе някакъв физически обоснован аналитичен израз за развитие на пълния поток във времето $\psi = \psi(t)$ и от диференциалното уравнение описващо веригата да се определи каква трябва да бъде функцията $\psi = \psi(i)$.

Литература

Александров, Р. 2011. Изследване на импулсен преобразувател за електромагнитна сепарация. JOHN ATANASOFF SOCIETY OF AUTOMATICS AND INFORMATICS International Conference AUTOMATICS AND INFORMATICS '11, CD: ISSN1313-1869, Sofia.

Филипов, Е. 1979. Нелинейна електротехника. ДИ "Техника" София, 56 с.

Матраков, Б., Д. Русев, Ж. Костов. 1985. Техника на магнитните измервания. ДИ "Техника" София, 32 с.

ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА СЕПАРАЦИЯ С ПОМОЩТА НА ИНТЕНЗИВНИ ИМПУЛСНИ МАГНИТНИ ПОЛЕТА

Снежана Стоянова [1], Ромео Александров [2]

[1] Университет "Проф. д-р Асен Златаров" – Бургас 8010 България
[2] Минно-Геоложки Университет "Св. Иван Рилски" – София 1700 България

РЕЗЮМЕ. Изследва се възможността за сепарация на смеси от прахообразни вещества в зависимост от магнитната им проницаемост, която малко се различава от магнитната проницаемост на празното пространство. За целта се използват магнитни полета с много голяма интензивност и малка продължителност, така че създадените от тях импулси на силата са достатъчно ефективни. Дава се принципно описание на електромагнитната система, която създава такива полета и се разглежда конкретен пример, който показва възможностите на предлагания подход.

POSSIBILIT FOR SEPARATION USING A INTENSIVE PULSE MAGNETIC FIELDS

Snezhana Stoyanova [1], Romeo Alexandrov [2]

[1] Burgas "Prof. Assen Zlatarov" University Prof. Jakimov str.1, 8010 Burgas, Bulgaria
[2] University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski" – 1700 Sofia Bulgaria

ABSTRACT. It is examined the possibility of separation mixtures of powders, depending on their magnetic permeability, which differs slightly from that one of the free space. On this purpose are used magnetic fields with very high intensity and short duration, so that the created by them momentums should be sufficiently effective. It is given an electromagnetic system description of principle that creates such fields and is taken into consideration a practical case that shows the possibilities of the proposed approach.

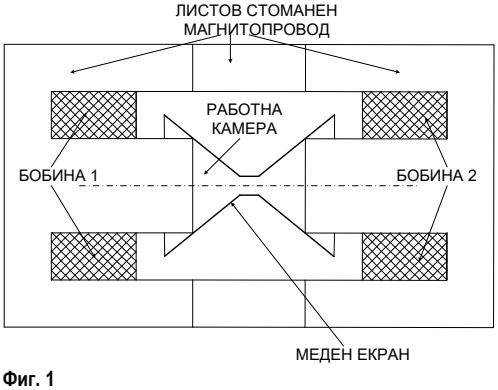
Постановка на проблема

Процесите на магнитната и електрическата сепарация използват основно електромагнитните свойства на веществата, но също така и други техни физични или физикохимични свойства. Това са, например, плътност, размер и форма на частиците, повърхностните свойства и т.н. За разделяне на една магнитна фракция от друга, трябва да има противоположни сили, като активните трябва да са по-големи от пасивните сили.

Известно е, че процесите на магнитна сепарация се разделят основно на две групи: сепарация на частици със силномагнитни свойства и на такива със слабомагнитни свойства. Главната особеност при магнитната сепарация на слабомагнитни частици е незначителното магнитно взаимодействие на частиците в работната зона. Трудности възникват в случаите, когато магнитната проницаемост на отделяното вещество се различават малко от магнитната константа μ_0. В този случай магнитната сила има много малка стойност и работата на сепаратора е неефективна. Това налага повишаване на големината на магнитната индукция B, а също и на вектора grad B, т.е. налага се използването на високо градиентни и интензивни магнитни полета. Един от начините за създаване на достатъчно високи стойности на B и grad B е използването на импулсно магнитно поле в сепаратор със специална геометрия на работната камера снабдена с концентриращ, електропроводящ екран

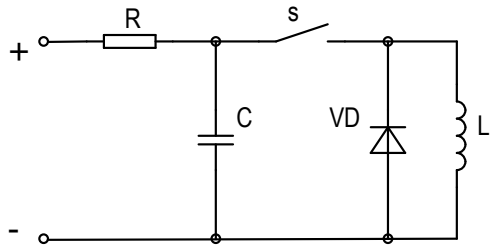
Принципно описание на системата за създаване на периодично, интензивно магнитно поле

На фиг. 1 е показана опростена схема на устройство за създаване на краткотрайно, интензивно магнитно поле с периодичен характер. Силовите линии при импулсен режим се концентрират чрез медния екран. За да не се допусне затварянето през екрана на противодействащи токови контури той е съставен от две еднакви части, разделени с изолационно покритие. Разделителната равнина съвпада с равнината на чертежа.



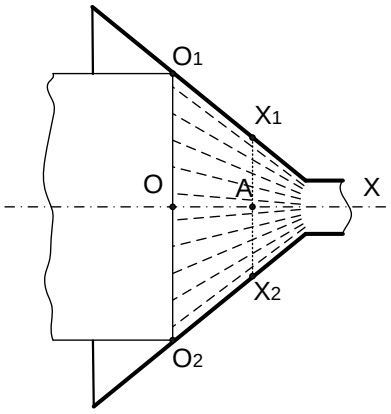
Фиг. 1

За създаване на магнитното поле, през двете бобини свързани съпосочно, периодично се разрежда кондензатор, съгласно фиг. 2.



Фиг.2

Поради високата проводимост на двете части на екрана за кратък интервал от време, 2 до 3 ms от началото на разряда целият магнитен поток от средното бедро на стоманения магнитопровод се свива многократно и минава през най–тясната част от пътя си, разположена в средата на камерата (фиг. 1). През този кратък интервал магнитното поле в зоната около работната камера има приблизително вида, показан на фиг. 3.



Фиг. 3

Лесно е да се установи, че например в т. А са в сила следните зависимости:

$$B_x = \frac{S_0}{S_x} B_0 \,, \qquad (1)$$

където B_0 е магнитната индукция в средното бедро на стоманения магнитопровод например в сечение $O_1 O_2$, B_x е магнитната индукция в сечение $X_1 X_2$, а S_0 и S_x са лицата на фигурите, образувани от съответните сечения с магнитния поток.

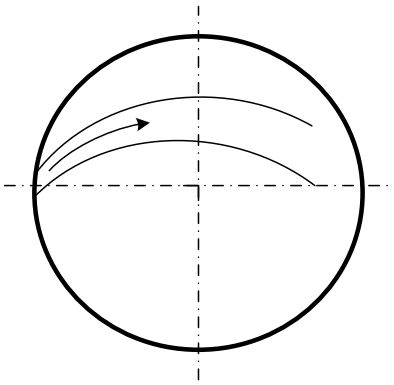
$$\left|gradB\right| = \frac{B_x - B_0}{OX} \qquad (2)$$

Големината на силата, с която полето действа върху частица с обем V , обемна магнитна възприемчивост k и разположена в точка X се определя от израза

$$F_m = k \frac{V}{\mu_0} BgradB \;,\; N \,, \qquad (3)$$

Примерна възможност за сепарация

На фиг. 4 е показан друг поглед към работната камера от фиг. 3, а именно по посока на оста OX . По пневматичен път в камерата се вдухва праховъздушен поток от неферомагнитни частици с различна магнитна възприемчивост. Граничните му контури са показани в две параболични криви. Върху всяка частица действа сила, съгласно формула (3).



Фиг. 4

Посоката на тази сила е перпендикулярна на равнината на фиг.4, за парамагнитните вещества е насочена към наблюдателя и в противоположна посока – за диамагнитните. Тази сила придава допълнителна скорост υ на частицата, насочена по посока на силата, която я създава. Импулсното действие на силата е обвързано със закона за равенство между импулса на силата и количеството на движението. В сила е зависимостта:

$$F.\Delta t = m.\upsilon \;, \qquad (4)$$

където m е масата на частицата.

От тук и във връзка с (3) се получава:

$$\upsilon = \frac{B\left|gradB\right|\Delta t}{\mu_0 \delta} k \,, \qquad (5)$$

където δ е масата на веществото в единица обем.

Под действие на тази скорост частицата излиза от потока и попада на събирателна повърхност, като мястото на попадане зависи от големината на скоростта υ . Трябва да се отбележи, че големината на скоростта не зависи от обема. Поради това частиците от един материал попадат на едно определено място.

Числен пример

Нека сепариращата камера създава параметри на полето:

$$B = 15T \;,\; \left|gradB\right| = 500 \frac{T}{m} \;,\; \Delta t = 2ms$$

Сепариращото вещество има характеристики.

$k = 0{,}001$, $\delta = 3000\ \frac{kg}{m^3}$

За създадената хоризонтална сила, която отклонява частиците от общия поток се получава скорост $\upsilon = 4\frac{m}{s}$, което е напълно достатъчно за получаване на ефективна сепарация.

Заключение

От направените теоретични изследвания се вижда, че създаваното интензивно магнитно поле е подходящо за сепарация на парамагнитни и диамагнитни вещества. Като начало, при използване на електромагнитни системи с малки размери и малка стойност тази сепарация може да се използва при разделяне на проби за лабораторен анализ.

Литература

Бозорт Р. 1956. Ферромагнетизм.- М., Иностранная литература.

Ковачев, К., Г. Клисуранов. 1987. Обогатяване на полезни изкопаеми. С., ДИ “Техника”, 378 с.

Стоянова, С. и др., 2012. Механични проблеми при създаване на интензивни импулсни магнитни полета. Годишник на Университет “Проф. д-р Асен Златаров“ – Бургас.

ГОДИШНИК на Минно-геоложкия университет "Св. Иван Рилски", Том 55, Св.III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, 2012
ANNUAL of the University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Vol. 55, Part III, Mechanization, electrification and automation in mines, 2012

ИЗСЛЕДВАНЕ НА РОЛКОВИ НАПРАВЛЯВАЩИ УСТРОЙСТВА НА ПОДЕМНИ СЪДОВЕ НА ГЛАВНА КЛЕТКОВА ПОДЕМНА УРЕДБА В РУДНИК „БАБИНО", МИНИ „БОБОВ ДОЛ"

Евтим Кърцелин[1], Живко Илиев[1],Илия Йочев[2],Петър Петров[3], Павел Давидов[4]

[1.] Минно Геоложки Университет „Св. Иван Рилски" , 1700 София
[2.]Рудметал АД,гр. Рудозем
[3.]Въгледобив „Бобов дол" АД
[4.]Университет по архитектура, строителство и геодезия- София, бул. Христо Смирненски №1

РЕЗЮМЕ:Представена е информация за направляващите устройства на подемните съдове в експлоатация и схемата на армировката на шахтата. Дадени са резултати от експлоатацията на двуролкови направляващи устройства за руднични подемни уредби

TESTING OF GUIDE ROLLERS FOR LIFTING CAGES OF THE MAIN LIFT EQUIPMENT IN BABINO COAL MINE, MINE COMPLEX BOBOV DOL

Evtim Karcelin[1], Jivko Iliev[1] , Ilia Iochev[2], Petar Petrov[3],Pavel Davidov[4]
[1]University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail: halkopirit@mail.bg
[2.]mineRudmetal AD 4960 c. Rudozem,
[3.]mine "Bobovdol"c.Bobovdol
[4.]University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy – Sofia, Hristo Smirnenski str.1

ABSTRACT.Information is presented to directive devices of mine winding machinesin operation and schedule of reinforcement of the shaft.Here are the results of operation of two directive devices of mine winding machines

Въведение

За осигуряване на зададена произвдоителност и повишаване надежността и безопасността при експлоатацията за рудничните подемни уредби на главна скипова и главна клеткова шахта в рудник "Бабино" са приети някои нови решения при армировката на вертикалните шахти и обзавеждането на подемнните съдове: използване на съставни (кутиеобразни) водачи, изработени от П-профил и ролкови направляващи устойства с еластичен елемент.

Изследванията за динамиката на системата „подемен съд-армировка на вертикална шахта"[1] показват , че нейната работоспособност се определя преди всичко от такава комбинация между параметрите на армировката, подемния съд, направляващите устройства и режима на движение, при която се осигурява динамическа устойчивост на системата при нормални амплитуди на параметричните колебания на подемния съд при взаимодействието му с водачите от армировката. Възникналите нарушения в бетоновия крепеж на „Главна скипова" и „Главна клеткова" шахта, неудоволетворителната работа на направляващите устройства на подемните съдове, с които са обзаведени подемните уредби са доказателство, че в системата „подемен съд – направляващи устройства – режим на работа" има нерешени проблеми.

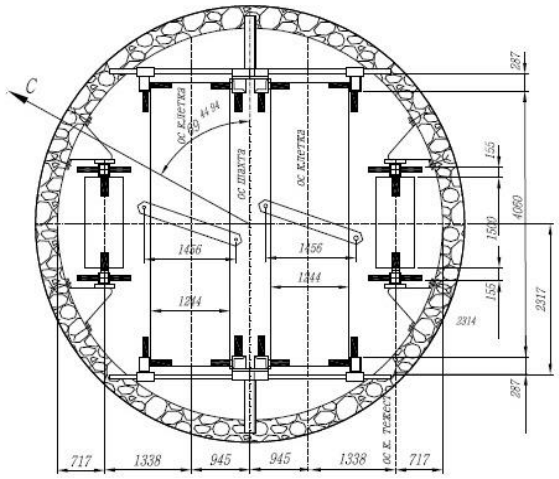
Една от причините е свързана с отсъствието на обосновани препоръки и методики за определяне параметрите на ролковите направляващи. Проектантските организации, по правило определят параметрите на ролковите направляващи устройства за подемни съдове като изхождат преди всичко от конструкторския си опит и интуиция. Такъв подход се оказва неработещ.

Армировка на „Главна клеткова шахта".

В доклада е представена информация за техничеката характеристика на армировката, подемните съдове и някои резултати от екплоатацията на направляващите устройства при условията на Главна клетков а шахта в рудник „Бабино."[1,2]

На фиг. 1 е показана схема на Армировката на Главна клеткова шахта и разположението на подемните съдове с двуролкови направляващи устройства за Клеткова подемна уредба в рудник „Бабино".

Специфична особеност за главна клеткова шахта в рудник „Бабино“ е , че армировката на шахтата има такова конструктивно решение, което осигурява нормаланата работа на две независими подемни уредби, работещи по системата „подемен съд - противотежест“



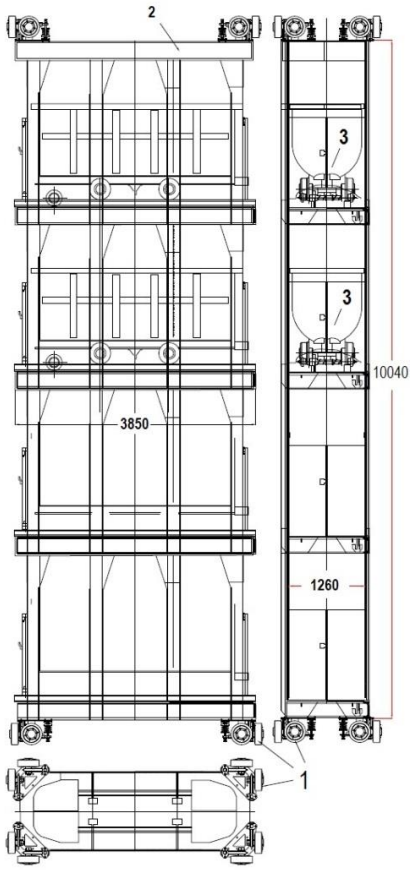
Фиг. 1 Схема на армировката и разположението на подемите съдове за клетков подем и в рудник „Бабино“

Подемни съдове и направляващи устройства

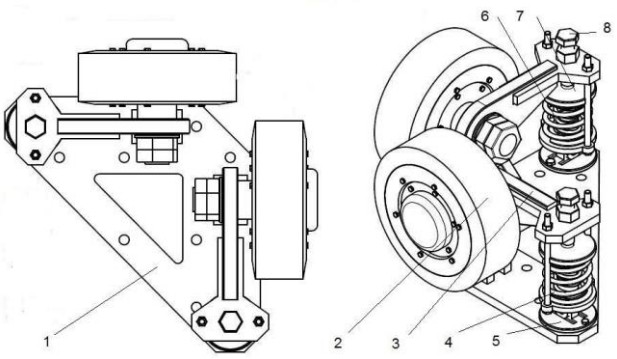
На фиг.2 е дадена обща характеристика на подемен съд - четириетажна клетка със следните елементи: 1- двуролкови направляващи устройства; 2- метална конструкция;3- руднични вагонетки;

Двуролкови направляващи устройства[3] за клетковите подемните съдове са показани на фиг. 3.със следните елементи: 1- Основа ; 2- Направляваща ролка; 3- Рамо; 4- Пружина голяма; 5 – Долна талерка ; 6 – Пружина малка; 7 – Горна талерка; 8 – Регулиращ болт;

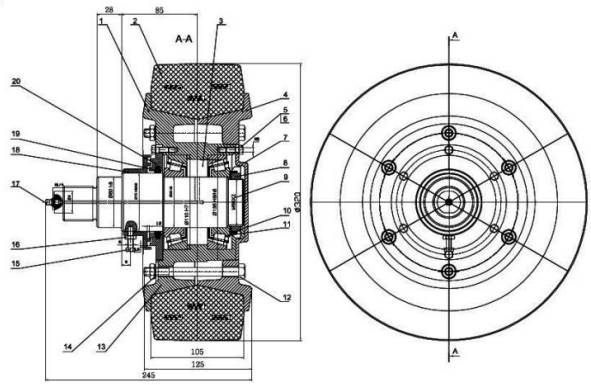
На фиг. 4 е представен чертеж с разрез на направляваща ролка за двуролково направляващо устройство със следните елементи: 1- Джанта; 2 – Бандаж; 3- Грес; 4 – Джанта; 5 – Болт М5; 6- Шайба2-5Н; 7 – Капачка; 8- Гайка кръгла; 9 – Ос; 10- Шайба осиг.; 11 –Лагер – N30212, 12- Болт М10, 13 – Гайка М1



Фиг. 2 Общ вид на четириетажна клетка в рудник „Бабино“



Фиг. 3 Общ вид на двуролково направляващо устройство за клетков подем



Фиг. 4. Чертеж на направляваща ролка за двуролково направляващо устройство

Таблица 1
Статистически данни за експлоатацията на ролкови направлявляващи устройства за клеткови подемни съдове в рудник „Бабино“,мини „Бобов дол“.

означение (фигура;позиция)	елементи на друролков направляващ блок за клетка с противотежест	количество подемни съдове,общ брой в работа елементи	годишен разход		
			2009г.	2010г.	2011г.
фигура 3	двуролков направляващ блок комплект	2клетки+ 2противотежести	30	28	26
фигура 4, позиция 2	бандаж	48	90	86	85
фигура 4, позиция 1	джанта	48	20	22	20
фигура 4, позиция 11	лагер30212	96	120	100	100
фигура 3, позиция 4	пружина голяма	48	20	17	20
фигура 3, позиция 6	пружина малка	48	20	17	20
фигура 3, позиция 8	регулиращ болт	48	30	28	26
фигура 3, позиция 1	основа	24	30	28	26
фигура 3, позиция 3	рамо	48	40	44	42

Изводи

Получената статистическа информация за резултатите от експлоатацията на ролкови направляващи устройства ще се използва при избора на решения за повишаване на тяхната надежност.[3]

Литература

1. Ковачев. В. Руднични подемни уредби, София 1990г.
2.. Стационарни установки шахт. Под общьей ред. Б.Ф. Братченко. М., Москва,1977г
3. К. Радлов и др.. „Методика за статистически анализ на причините за аварии с товароподемни кранове“, Българско списание за инженерно проектиране.ISSN 1313-7530, Издател ТУ- София, 2012г
4.Кърцелин Е и др. Направляващи устройства на подемни съдове за руднични подемни уредби. Год на МГУ „Св. Иван Рилски“, Том 54,Св III, 2011г.
5. Кърцелин Е. Математически модели на руднични подемни уредби (Монография). Изд Къща „Св. Иван Рилски “, 2010г.
6.Правилник по безопасността на труда при разработване на рудни и нерудни находища по подземен начин . С., Д.И. „Техника” 1971г.
7.Правилник по безопасността на труда в подземни въглищни рудници(В–01–01–01). София., 1992. Том 1 и Том 2.

ГОДИШНИК на Минно-геоложкия университет "Св. Иван Рилски", Том 55, Св.III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, 2012
ANNUAL of the University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Vol. 55, Part III, Mechanization, electrification and automation in mines, 2012

УПЛЪТНЯВАНЕ НА ХЛАБИНИТЕ И ОБЕМИТЕ МЕЖДУ ДЪНАТА, ГЪРЛОВИНИТЕ И ОБЛИЦОВКИТЕ НА БАРАБАННИТЕ МЕЛНИЦИ

Иван Минин [1]

[1] *Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail: minin@dir.bg*

РЕЗЮМЕ. Изследвани са причините за появяване на хлабини и обеми между дъната, гърловините и облицовките на барабанните мелници. Проведено е наблюдение на тези хлабини на барабанни топкови мелници тип МШЦ 4,5х6. Предложени са инженерни решения за решаване на проблема.

CONGESTION OF SLACKS AND VOLUMES AMONG BOTTOMS, NECKS AND COATINGS OF CYLINDRICAL MILLS.

Ivan Minin[1]

[1] *University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail: minin@dir.bg*

ABSTRACT. Researching the reasons for the appearance of slacks and volumes among bottoms, necks and coatings of cylindrical mills. An observation of these slacks in cylindrical ball mills, type МШЦ 4,5 x 6 is conducted. Engineering solutions for solving the problem are offered.

1. Състояние на проблема

В условията на мокро смилане през фугите на облицовъчните сектори прониква абразивен пулп, който запълва хлабините, образувани между дъната на барабанната мелница и облицовките на тези дъна. През време на работа на мелницата абразивния пулп циркулира в свободните обеми, формирани между дъната и облицовките им. При това движение на пулпа се износват както дъната, така и облицовката, при което образуваните между тях хлабини непрекъснато растът и циркулационните потоци от абразивния пулп стават все по-интензивни. Освен дъната и облицовките им се износват и болтовете, закрепващи облицовъчните сектори (шараните) към дъната на мелницата, като в определен момент тези болтове могат да се срежат (скъсат), при което през отворите за скрепителните болтове на облицовъчните елементи към дъната започва да изтича пулп, замърсяващ работното пространство около мелницата.

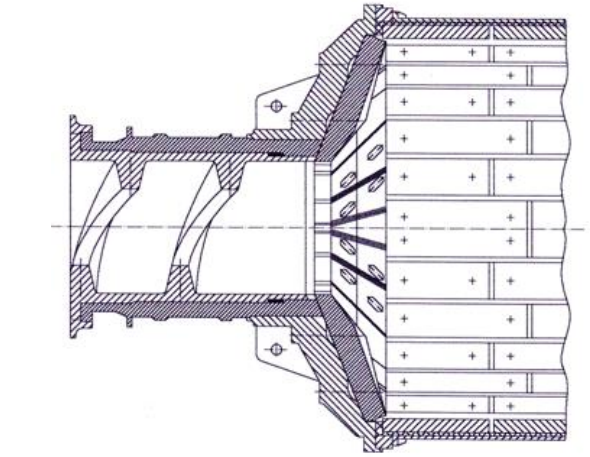
Описаният процес нарушава сигурността на връзката между облицовъчните сектори и дъната, при което може да се предизвика преждевременна подмяна на тази облицовка. Освен това износват се недопустимо дъната на барабанните мелници, което може да съкрати значително живота им. Много неприятна последица от този процес е и недопустимото замърсяване на работната площадка около мелницата, в резултат на което условията на експлоатация на барабанните мелници стават непривлекателни за обслужващия персонал.

Целта на това изследване е да бъде намерено решение чрез запълване на тези обеми да се предотврати тази циркулация на абразивен материал, чрез което да се отстранят посочените неблагоприятни последици.

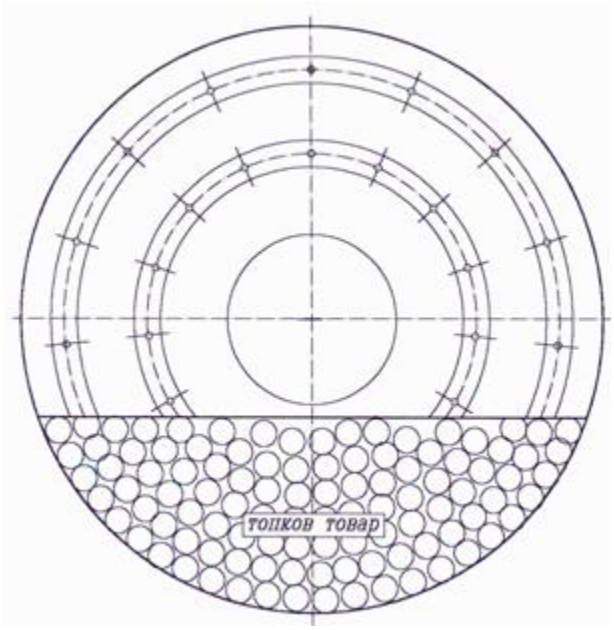
От опита събран в обогатителни фабрики „Елаците" и „Асарел", могат да се направят следните констатации:

1. Износването при всяка мелница и за всеки капак е индивидуално и не се среща при друга такава.
2. Износването на дъната (капаците) в повечето случаи има форма на полутороид (Фиг. 1, 2), който винаги минава през болтовете, държащи облицовъчните плочи. Това е така защото материалът, попадащ между капаците и „шараните", се движи по кръгови траектории.
3. Характерно е интензивно износване на мястото, където е заварката на шнека към капака на мелницата.
4. Има мелници, при които износването има форми по-сложни от тороидалните, като износването има значителна широчина.
5. Причина за износването на дъната (капаците) на барабанните мелници е материалът (пулпът), постъпващ межу облицовката и капакът на мелничния барабан и луфта, съществуващ между тях, поради техническата невъзможност за точно изработване на „шараните". Друга причина би могла да бъде разхлабването на болтовете на „шараните".

Измерванията са направени в ОК „Елаците" на мелници, които са спряни за ремонт. Те са направени с линийка и с помощта на летви с дължина, равна на дължината на „шарана", а именно 1410 мм, на която предварително е отбелязано къде се намират отворите на болтовете.



Фиг. 1



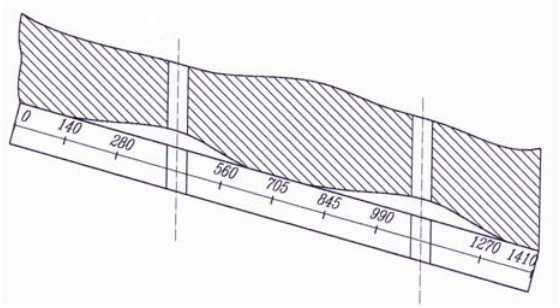
Фиг. 2

2. Измервания

Измерванията са направени в следната последователност:

- Свалят се „шараните" от горната половина на подлежащото на измерване дъно (капак) на мелницата.

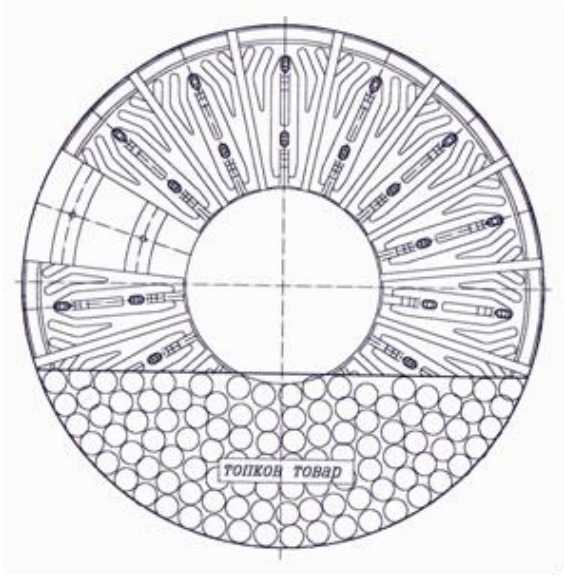
- Поставят се летви, предварително разграфени през 1см (Фиг. 3), върху горната част на „шарана" и с помощта на лентите (през 10 мм) се записва върху летвата дълбочината на износването.



Фиг. 3

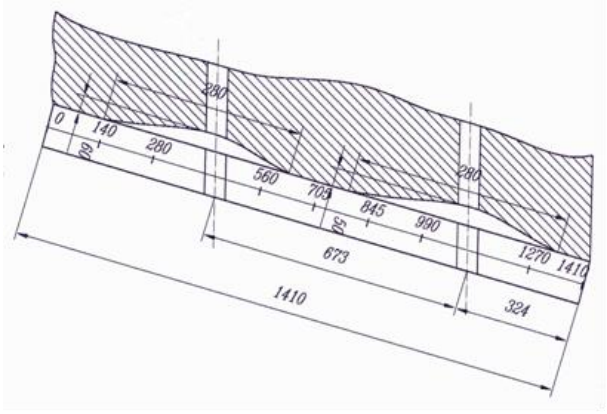
- Поради това, че материалът, когато износва капаците (дъната) на мелницата, се движи по окръжности, които са концентрични, измерване се прави само на един „шаран".

- Поради тази причина измерването може да се осъществява само със свалянето на един „шаран" от капака (Фиг. 4).



Фиг. 4

Резултатите получени от измерванията направени в обогатителна фабрика „Елаците", обхващат 7 мелници. Едно от измерванията е показано на фигура 5.



Фиг. 5. Мелница 2 – север

3. Провеждане на експерименти за решаване на проблема

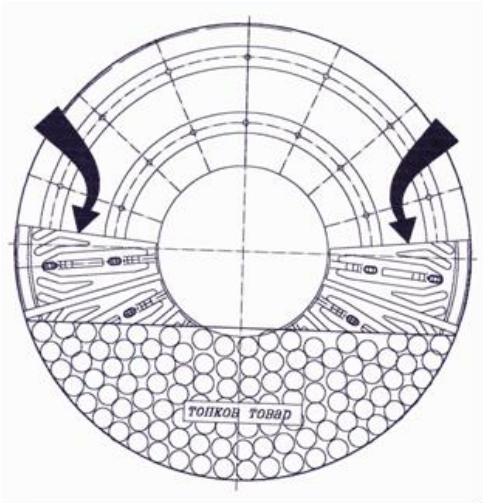
Експериментирани са три варианта за уплътняване на хлабините и обемите между дъната, гърловините и облицовъчните им елементи:

1. Уплътняване с епоксидни смоли.

Износените обеми се запълват с предварително подготвени епоксидни смоли, които се изсипват в тези обеми зад „шараните", както е показано на фигура 6.

Този вариант се оказва неудачен поради следните причини:

- смолите имат сравнително голям вискозитет и не изпълват обемите изцяло;
- след като биват изсипани, е необходимо време за втвърдяването им, което удължава времето за ремонт;
- големите хлабини между „шараните", водят до изтичане на смолата и следователно до нови разходи;
- смолите имат висока цена.



Фиг.6

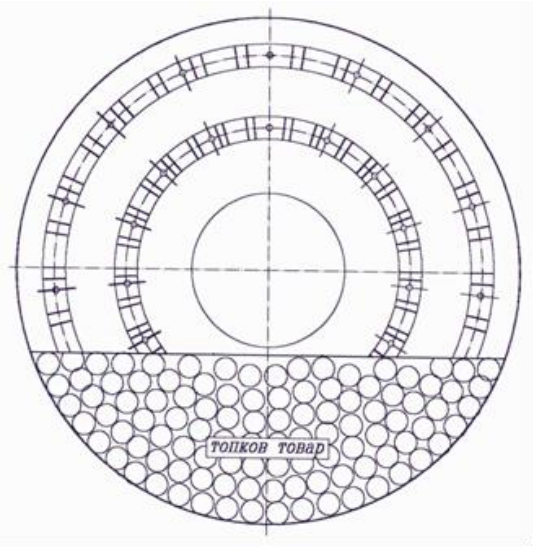
2. Уплътняване чрез заваряване на напречни планки и заливане на участъци от тях с епоксидна смола.

Тъй като главна причина за износването на капаците на мелницата е материалът, който се движи по кръгови траектории, се поставят прегради, които не позволяват това движение.

Това се прави с планки от ламарина, които се заваряват напречно на износената част на дъното.

Очаква се, че те ще преграждат пътя на пулпа до изпълването на така получените обеми с материал, което в последствие би довело до спиране на циркулацията му (Фиг. 7).

Като недостатък на този вариант може да се отчете това, че планките не могат плътно да лягат до задната повърхнина на „шарана" поради неточности при изработването и монтажа им.

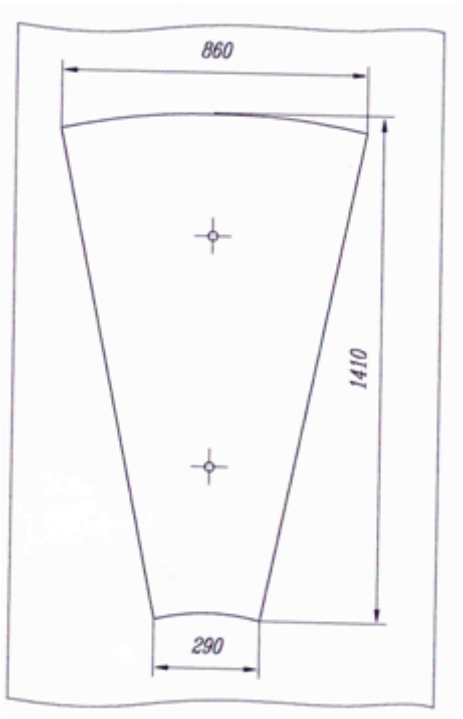


Фиг. 7

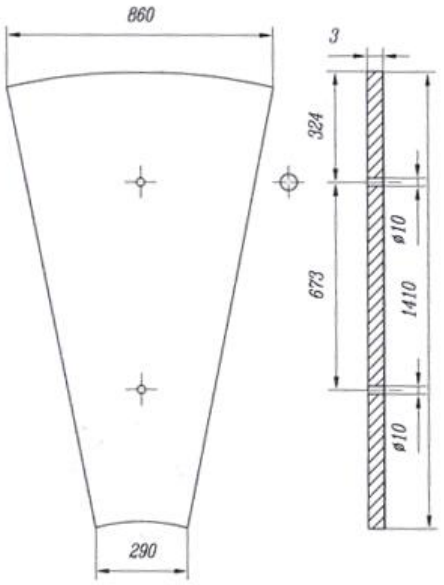
3. Уплътняване посредством използването на суров и изпечен каучук.

За целта се валцува суров каучук с ширина, равна на широчината на „шарана" (Фиг. 8).

От ламарина се изработва „форма" като тази на „шарана" (Фиг.9), с помощта на която може да бъде изрязан каучук във формата на „шаран".

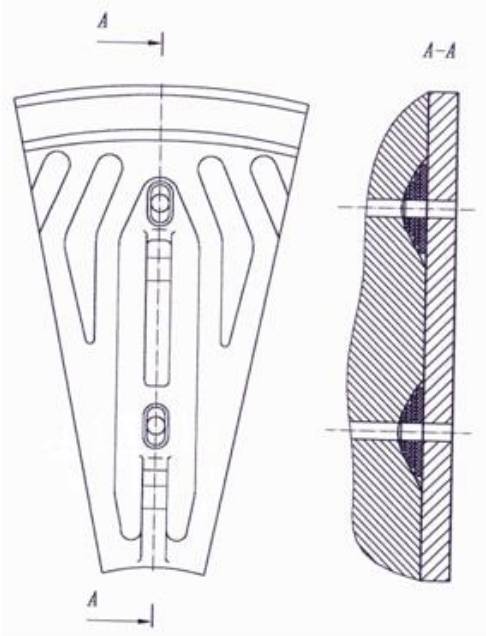


Фиг. 8



Фиг. 9

След направените измервания и с помощта на тази „форма" се изрязват все по-малки и малки ленти, които зле залепване приемат формата на обема на износената част на капака на мелницата (Фиг. 10).



Фиг. 10

Този вариант е много удачен при мелници, на които износването не е достигнало големи размери. Цената на суровия каучук е няколко пъти по ниска от тази на епоксидните смоли, като суровия каучук може да бъде използван поне два пъти.

След нова подмяна на „шараните" на мелницата, така получените форми от суров каучук могат да бъдат изпечени и да се използват многократно.

4. Изводи

1. Използването на епоксидна смола е нежелателно поради високата и цена и невъзможността да бъде използвана повече от един път. Освен това използването и води до допълнителни трудности при следващо сваляне на „шараните" за ремонт.
2. Заваряването на напречни планки е удачно от икономическа гледна точка, но не гарантира достатъчно добро уплътняване на дъната на мелниците.
3. Използването на суров каучук е подходящо поради неговата пластичност (възможност да заема свободни обеми), но цената му е висока за мелници с големи износвания на капаците.
4. Най-удачен е комбиниран вариант с използването на планки и суров каучук. Изрязаните планки се заваряват, като обемите между тях се напълват с ленти от суров каучук.

Литература

Дамдинов, Д. Р., В. Г. Дондуков. 2004 „Машины и оборудвание для измельчения и сортировки строительных материалов", Улан, ВСГТУ.

Донченко, А.С. 1975. „Справочник механика рудообогатительной фабрики", Москва, Недра.

Цветков, Х. 1976 "Обогатителни машини", София, Техника.

ИЗНОСВАНЕ НА СТРАНИЧНИТЕ КАПАЦИ НА ЦЕНТРОБЕЖНИТЕ САЧМЕНИ СЪЕДИНИТЕЛИ

Венелин Тасев[1], Любен Тасев[2]

[1] Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София
[2] Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", НРБМО, 1700 София

РЕЗЮМЕ. Извършено е изследване на причините за износване на страничните капаци.Посочени са основните причини за получаване на това нежелателно явление. Направени са предложения за елиминиране на износването, които са изпробвани в практиката и са доказали своята ефективност.
.

WEAR AND TEAR OF THE SIDE PANELS OF A CENTRIFUGAL BALL JOINT

VenelinTasev[1], Lyuben Tasev[2],

[1] University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia
[2] University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", NRBMO 1700 Sofia

ABSTRACT. Analysis is made of the reasons for deterioration of the side panels. The main reasons for getting this undesirable phenomenon are pointed. There have been proposals to eliminate wear that are tested in practice and have proven effective

1.Увод

Фрикционният въртящ момент в центробежните сачмени съединители (ЦСС) с водещ шестлопатен ротор се създава благодарения на центробежните сили, които действат върху свободно насипаните в камерите сачми. Последните се подреждат в концентрични слоеве като силно се притискат към вътрешната цилиндрична повърхност. Размерът на тези сили зависи от радиуса на вътрешната цилиндрична повърхност, ъгловата честота на въртене и плътността на образувания сачмен пълнеж (5). Освен радиалните натискови сили, които се уравновесяват от вътрешната гривна на съединителя, се създават и странични сили. Те се формират вследствие разлагането на силите действащи между отделните сачми, и се уравновесяват от страничните капаци на съединителя. Размерът на страничните сили е бил обект на разглеждане от всички автори изследвали центробежните сачмени съединители. Някои от тях, като Киркач (1958) и Меньокова Н.М.(1960), са приели, че сачмения пълнеж има поведението на високовискозна течност. От това следва, че налягането и натискът за определен радиус е един и същ в радиална и аксиална посока, Матеев М.Н. (1984) разглежда сачмения пълнеж като съставен от реални твърди тела. Драгнев Р.М (1980) приема, че сачмите в ЦСС се подреждат така, че центровете им образуват върховете на тетраедри. Вследствие на това допускане той доказва, че свободната странична сила е с $\sqrt{6}$ по-малка от натисковата радиална сила, действаща от по-горния концентричен ред. Този свой резултат Драгнев Р. (1980) доказва и с редица експериментални изследвания.

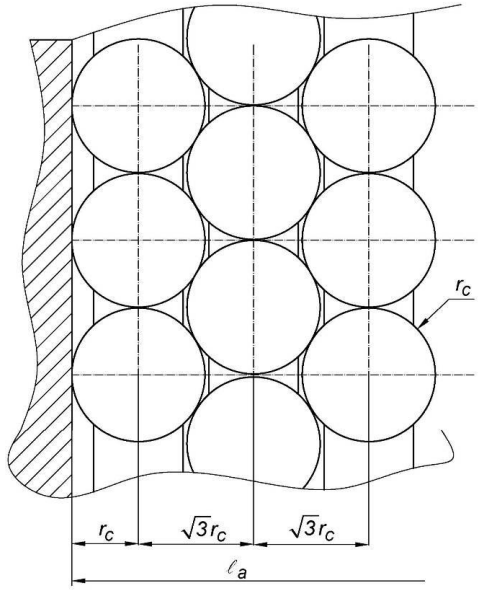
Фиг 1

Аналитичните и експерименталните резултати от формирания благодарение на страничните сили фрикционен въртящ момент показват, че неговата стойност не надхвърля 15-20% от общия въртящ момент. По тази причина страничните сили действащи върху капаците не са били обект на подробна изследване.

В последните 15-20 години се положиха много усилия за увеличаване ресурса на ЦСС. При това основно се акцентира върху износоустойчивостта на вътрешната цилиндрична повърхност, мантията, върху която се формира основния въртящ момент. Получените резултати са повече от задоволителни. За десет години на експлоатация на съединители с много големи мощност износването бе пренебрежимо малко. Във всички случаи се регистрираше износване от няколко десети от милиметъра при ресурс от 2мм. Не така стои въпросът с износването на

страничните капаци. В повечето случаи се забелязваше значително износване. Най-големи те са във втория концентричен слой, като размерът на износването там достига до 5 мм. В следващите слоеве износването е по-малко, като в 4÷5 слой практически то липсва. Минимално износване се наблюдава и при първия концентричен слой. (виж фиг.1)

Посоченото по- горе износване в нито един съединител не е довело до аварийно състояние, но то е неприемливо. Това принуди авторите, да направят изследване, което е обект на настоящата статия.



Фиг. 2

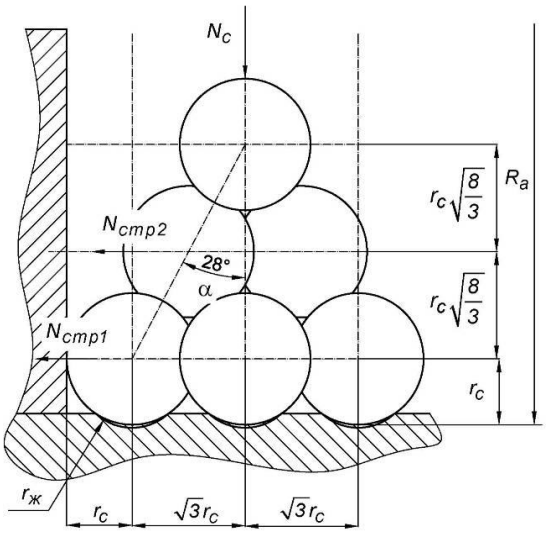
2.Изложение

В съвременните ЦСС вътрешната цилиндрична повърхност се изработва с канали – жлебове. Те имат радиус почти равен с този на сачмите, а осите им са разположени на разстояние $\sqrt{3}$ от радиуса на сачмата. По този начин в първия концентричен слой, сачмите заемат шахматно разположение (виж фиг.2) Това разположение е най-устойчиво [4] и определя максимално уплътнение на сачмения пълнеж.

Широчината на активната цилиндрична част се изработва, така че сачмите от първия концентричен слой да се опират в капаците на ЦСС. Сачмите от втория концентричен слой се стремят да се разположат във вдлъбнатините образувани от сачмите от първия ред. При това подреждане крайните сачми не се допират до капаците (виж фиг. 3).

При положение, че вторият ред е последен това подреждане би могло да се реализира. В реалния случаи сачмените редове са значително повече. Горните сачми притискат силно свободните, неподпрени до капаците, сачми и те се разместват, като заемат положението показано на фиг 4.

При това разместване се получава следния резултат. Първо страничния натиск на сачмите от първия ред практически изчесва. Второ – сачмите от третия ред се забиват която клин в оставеното празно пространство. При това условие страничната натискова сила става почти два пъти по-голяма от разчетената, което води до увеличаване на износването. Големият проблем настъпва, когато размерът на това износване стане такъв, че ъгълът α (виж фиг. 4) нарастне до 50÷60˚. Тогава страничната сила става няколко пъти по- голяма от радиалната, като се стреми към безкрайност. В този случаи контактуването от еластично, преминава в пластично и интензивността на износването става неприемливо голямо. Всички тези процеси са съпроводени с изменение на изходния въртящ момент на ЦСС и значителни промени на външната му характеристика.Процесът продължава докато сачмите от горния (трети ред) се вклинят напълно. При това положение втория ред става напълно завършен и износването спира. Сачмите, които контактуват с капаците са е вкопали в тях на дълбочина равна на радиуса им. Работата на ЦСС при това износване е рискована. Има опасност от заклинване на сачмите между капака и лопатките. По тази причина това износване се счита за аварийно.



Фиг. 3

След вкопаването на сачмите от втория ред, сачмите от третия ред се подреждат аналогично с началното подреждане на втория ред и процесът на износване продължава по описания начин, само че при значително по-малки натискови сили, което обяснява и факта, че дори след 15-20 години работа няма пълно „вкопаване" на сачмите от третия ред.

Радиалната натискова сила и съответно страничната намаляват с третата степен на радиуса. Това обяснява:

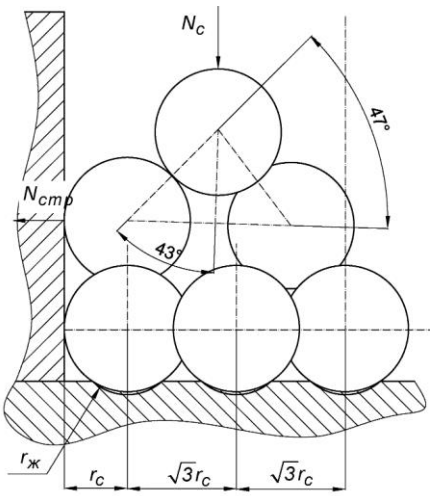
- сравнително неголемите изменения в изходния въртящ момент независимо от значителното износване;
- продължителната работа на съединителя с неголям сачмен пълнеж;
- незначителните износвания по капаците след третия ред.

3.Решения

Направеното изложение и категоричния опит в експлоатация на ЦСС изисква промяна в конструкцията или технологията на производство на ЦСС.

Авторите се спират на няколко решения, които се свеждат до следното:

1. Повишаване износоустойчивостта на страничните капаци;
2. Намаляване на страничната сила;
3. Елиминиране на контакта на сачмите със страничните капаци.



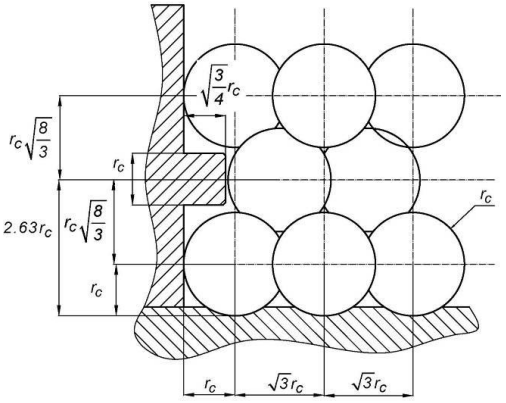
Фиг. 4

Първото решение, крие своите технологични и експлоатационни проблеми. Увеличаване на износоустойчивостта, означава използване на високолегирани термично обработени стомани. Това е свързано със значително оскъпяване на ЦСС и усложняване на технологията за производството му. Освен това крие рискове за разрушаване на конструкцията от термичните натоварвания изадължително изисква лабораторни и промишлени изпитания.

Второто предложение предполага принудително подреждане на сачмите в завършени концентрични слоеве. Това означава изработване на капаци със специални пръстени, които ограничават разместването на четните редове (виж фиг.5) В този случаи страничната натискова сила ще бъде равна на разчетената

$$N_{стр}(r) \approx \frac{N_r}{\sqrt{6}}(r)$$

Поставянето на специални пръстени, изработване на канали в капаците, води до усложняване на конструкцията. Същевременно капаците си остават натоварени със странична сила и съответстващото износване. За да се определи размерът на това износване и респективно ресурсът на ЦСС са необходими съответни лабораторни изпитания и години промишлени изследвания.



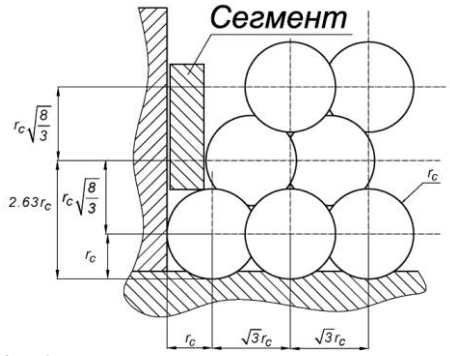
Фиг. 5

Проблемът с износването на капаците на досегашните модели ЦСС се появи едва след петгодишна експлоатация. По тази причина авторите остават резервирани относно това решение, независимо, че при равни други условия, то осигурява по-голям изходен въртящ момент.
Премахването на страничната триеща сила в ЦСС лесно може да се осъществи с монтиране на сегменти между лопатките на ротора. По този начин се отстранява всякакъв контакт на сачмите със страничните капаци (виж. фиг 6) и всичките проблеми свързани с износването им. Това решение при равни други условия, има и някои недостатъци:

- по-малък с около 15% изходен въртящ момент;
- по-голяма маса (инерционен момент) на водещата част;
- известно усложняване на конструкцията.

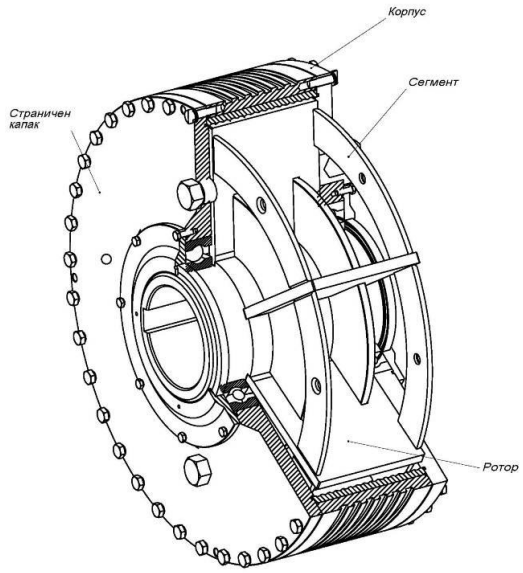
Предимствата обаче са категорични:

- липсва каквото и да е износване на капаците;
- изходните характеристики са изключително стабилни и непроменливи в експлоатационния срок;
- голяма плавност в нарастването и поддържането на изходния въртящ момент;
- двойно по-голям ресурс на съединителя.

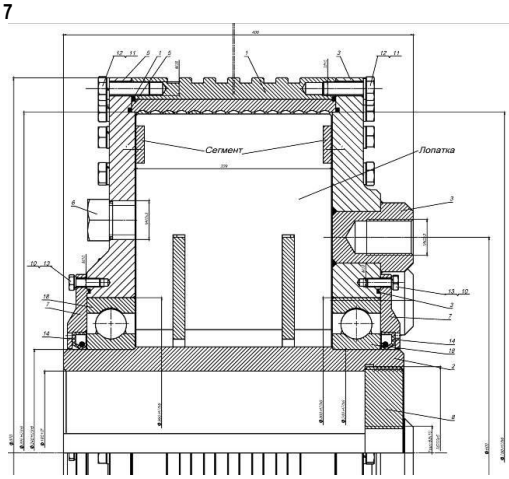


Фиг. 6

Предимствата на това решение насочиха авторите към създаване на точно такъв тип конструкция (виж фиг. 7). ЦСС с показаната конструкция се използва в задвижването мелнични вентилатори на ТЕЦ „Марица Изток-2" и ТЕЦ „Бобов дол".Повече от 5 години те доказват предимствата на това решение. Авторите си позволяват да считат, че там където се търси значителен ресурс и стабилни изходни характеристики, трябва да се използва именно това решение.



Фиг. 7



Фиг. 8

Литература

1. Киркач Н.Ф. Исследование центробежной предохранительной муфти заполненной мелькои дробью - Автореферат диссертации, Харков 1958
2. Менькова Н.М. к расчету порошковых и дробовых муфт. Известия ВУЗ – Горный журнал №10 1960
3. Матеев Н.М. Усъвършенстване задвижването на рудничните транспортни машини чрез използване на центробежни пускво-предпазни машини с твърд пълнеж – Хабилиционен труд 1984г
4. Драгнев Р.М. Усъвършенстване задвижването на рудничните машини чрез използване центробежни пускаво-предпазни съединители – Дисертация 1980г.
5. Тасев В. Нов начин за определяне момента на ЦСС Годишник ВМГИ 1986г.-1987г.

.

ГОДИШНИК на Минно-геоложкия университет "Св. Иван Рилски", Том 55, Св.III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, 2012
ANNUAL of the University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Vol. 55, Part III, Mechanization, electrification and automation in mines, 2012

ВЪРХУ ПРОИЗВОДИТЕЛНОСТТА НА ЧЕЛЮСТНИТЕ ТРОШАЧКИ С ПРОСТО ДВИЖЕНИЕ НА ПОДВИЖНАТА ЧЕЛЮСТ

Кристиян Цветков, Юлиян Димитров

Минно-геоложки университет"Св.Ив.Рилски", 1700 София, juldim@abv.bg,kho@mgu.bg

РЕЗЮМЕ. В работата се разглежда влиянието на честотата на трептене на подвижната челюст на трошачката върху производителността. Взема се под внимание действието на гравитационните сили, силите на триене и тези от преносното движение в процеса на разтоварване на материала от зоната на трошене.
Направена е оценка за влиянието на различните фактори върху честотата на трептене на подвижната челюст и върху техническата производителност на трошачката.

ON THE CAPACITY OF JAW CRUSHER WITH SIMPLE MOVEMENT OF THE MOVABLE JAW

Kristian Tsvetkov, Julian Dimitrov
University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail juldim@abv.bg ,kho@mgu.bg

ABSTRACT. The present paper examines the impact of the frequency of oscillation of the movable jaw crusher productivity. Take into account the effect of gravitational forces, frictional forces and those of the transmission traffic in the process of unloading the material from the crushing zone.
An assessment of the impact of various factors on the oscillation frequency of the movable jaw and the crusher technical capacity.

Въведение

Производителността на челюстната трошачка е най-важният ú технологичен показател, с който тя участва в производствения процес при раздробяването на минералните суровини.

Челюстните трошачки с просто движение на подвижната челюст (система Блек) са най-старият тип машини за разтрошаване. Създадените първи кинематични схеми на тези трошачки са до такава степен сполучливи, че следващото усъвършенстване на контрукцията им практически не ги е променило. При разтрошаването на много здрави, силно абразивни и голямогабаритни късове с производителност на технологичната линия до 1000 t/h, челюстните трошачки с просто движение на подвижната челюст са практически без конкуренция. Трошенето на материала при тях се извършва в клиновидно вертикално пространство, образувано между подвижната и неподвижната челюст, което е отворено отгоре – за постъпване на материала, и отдолу – за разтоварването му. Движението на материала в зоната на трошене става под действие на собственото му тегло. Трептенето на подвижната челюст осъществява работния процес: при приближаването ú към неподвижната челюст се извършва разтрошаването на частичките, а при отдалечаването ú - разтоварването на готовия продукт.

Аналитични изследвания

Производителността *Q* на трошачката в плътни обемни единици зависи от броя на трептенията и хода на подвижната челюст и от геометричните параметри на трошачната камера. Пресмята се съгласно Цветков (2007) съгласно равенството

$$Q = k_1 k_p z \frac{(2b+s)sL}{2tg\alpha}, m^3/s, \qquad (1)$$

където:
b, s и *L* са геометрични размери на трошачната камера (фиг. 1а) *m*;
α - ъгълът между двете челюсти, *rad*;
s - ходът на подвижната челюст, *m*;
k_p – коефициентът на разбухване на материала;
k_1 – коефициентът, отчитащ влиянието на съпротивителните сили върху движението на материала при разтоварването му от трошачката;
z – броят на люлеенията на подвижната челюст, s^{-1}.

При пресмятането на производителността на трошачката по формула 1 е прието, че материалът се разтоварва от трошачната камера съгласно закона (фиг 1а).

$$h = \frac{1}{2} g t^2, m, \qquad (2)$$

където *g, m/s²* е земното ускорение, а *h* е височината на основата на разтоварената призма, *m.*

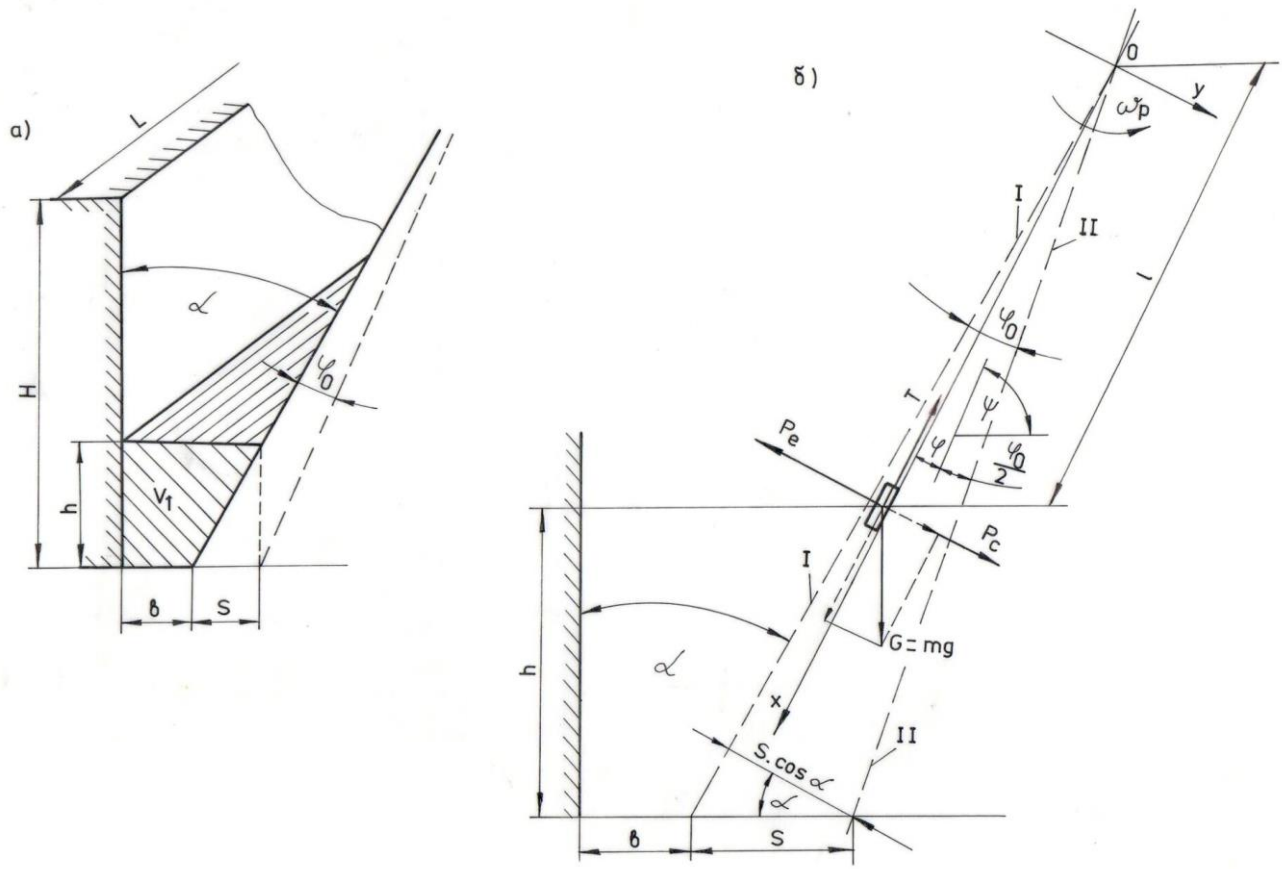
Разтоварването на разтрошения материал от работната камера на трошачката е възможно само по времето на обратния ход на подвижната челюст. При симетричен цикъл на движение това време ще бъде

$$Z = \frac{1}{2Z_T}, s, \qquad (3)$$

където Z_T е теоретичният брой трептения на подвижната челюст, s^{-1}.

Счита се, че максималната производителност на машината би се получила тогава, когато времето за отдалечаване на подвижната челюст от неподвижната е равно на времето за изпадане на призмата от разтрошен материал от трошачната камера. В такъв случай, като се отчете, че $h = S/tg\alpha$, от формули 2 и 3 следва непосредствено формулата

$$Z_T = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{gtg\alpha}{2S}}, s^{-1}. \qquad (4)$$



Фиг. 1. Схема за определяне честотата на трептене и производителността на челюстна трошачка с просто движение на подвижната челюст

Действителният брой на трептенията на подвижната челюст *Z* се приема по-малък. Предполага се, че причина за това е наличието на сили на триене между материала и подвижната челюст, по която той се плъзга при разтоварването си. Ако забавянето на броя на трептенията на подвижната челюст се отчете чрез коефициента $k < 1$, се получава

$$Z = kZ_T = \frac{1}{2}k\sqrt{\frac{gtg\alpha}{2s}}, s^{-1}. \qquad (5)$$

В литературата се препоръчва *k* да се избира в диапазона $0{,}9 \geq k \geq 0{,}6$.

Тук следва да се отбележи, че не е очевидна априорността на твърдението, че максималната производителност на трошачката се получава при равенство на времето за разтоварване на материала и времето за отделечаване на подвижната челюст. Двата процеса се извършват по различни закони: разтоварването на материала става при постоянно ускорение, а движението на подвижната челюст при обратен ход – при ускорение, променливо по големина и посока. С оглед на това се налага едно по-детайлно разглеждане на реалното движение на материала в трошачното пространство в условията на предполагаемия оптимален режим.

Разглеждаме частичката като релативно движение върху трептящата равнина при наличието на сили на триене. С достатъчна за практиката точност може да се приеме, че трептеливото преносно движение на подвижната челюст се извършва по закона (фиг. 1б)

$$\varphi = \frac{1}{2}\varphi_0 \sin \omega t, \qquad (6)$$

където: $\varphi_0 = \dfrac{s\cos\alpha}{l + h/\cos\alpha}$; (7)

$$\omega = 2\pi Z_T . \quad (8)$$

В такъв случай скоростта и ускорението на преносното движение ще бъдат съответно:

$$\left.\begin{aligned} \omega_p &= \dot{\varphi} = \frac{1}{2}\varphi_o \cos\varphi t; \\ \varepsilon_p &= \ddot{\varphi} = -\frac{1}{2}\varphi_0\omega^2 \sin\omega t. \end{aligned}\right\} \quad (9)$$

Законът на движение на частичката ще се определи от уравнението

$$m\ddot{x} = G\sin(\psi + \beta) - T. \quad (10)$$

Като отчетем, че $\psi + \varphi \approx \dfrac{\pi}{2} - \alpha$ и $T = \mu N$,

уравнение 10 добива вида

$$m\ddot{x} = G\cos\alpha - \mu N, \quad (11)$$

където N е нормална реакция между частичката и подвижната челюст.

За определянето на N е в сила равенството

$$N = G\sin\alpha - P_e + P_c, \quad (12)$$

където инерционните сили от преносното движение P_e и от кориолистовото ускорение P_c се определят съгласно изразите:

$$P_e = ma_p = ml\ddot{\varphi} = \frac{1}{2}ml\varphi_0\omega^2 \sin\omega t ; \quad (13)$$

$$P_c = ma_c = 2m\omega_p v_r = m\varphi_0\omega\dot{x}\cos\omega t . \quad (14)$$

При съвместното решаване на уравнения 10-14 се получава

$$\ddot{x} = g(\cos\alpha - \mu\sin\alpha) - \mu\varphi_0(\dot{x}\omega\cos\omega t - \frac{1}{2}\omega^2\sin\omega t). \quad (15)$$

Законът за движение на частичката се представя чрез уравнение 15 само когато реакцията $N > 0$. При $N < 0$ подвижната челюст се движи по закона на преносното движение (форм. 6), а частичката пада свободно. Тъй като свободното падане на частичката ú осигурява най-бързо разтоварване, то очевидно условието, при което $N \le 0$, е по-благоприятно, т.е.

$$G\sin\alpha + P_c \le P_e . \quad (16)$$

Или като вземем предвид формули (12, 13 и 14), получаваме

$$g\sin\alpha \le \frac{1}{2}l\omega^2\varphi_0 \sin\omega t - \varphi_0\dot{x}\omega\cos\omega t. \quad (17)$$

Частичката получава възможност за движение когато подвижната челюст започва обратния си ход и силата на притискане на частичката между челюстите е нула. Тогава $\dot{x} = 0,\ \omega t = \pi/2$, а неравенството 17 добива вида

$$g\sin\alpha \le \frac{1}{2}l\varphi_0\omega^2 . \quad (18)$$

Лявата част на формула 18 представлява проекцията на земното ускорение напречно на подвижната челюст, а дясната – проекцията на преносното ускорение в момента на започването на разтоварването на материала. Ако вземем отношенията между двете части на неравенство 18 и отчетем формули 4, 7 и 8, получаваме

$$k = \frac{l\varphi_0\omega^2}{2g\sin\alpha} = \frac{\pi^2 l}{4(l + h\cos\alpha)} \quad (19)$$

При челюстните трошачки $h/\cos\alpha < 0{,}1l$, следователно формула 19 ще добие вида

$$k \ge \frac{\pi^2}{4{,}4} \quad (20)$$

Анализ на получените резултати

Формула 20 показва, че в момента на започване на разтоварването на частичката ускорението от преносното движение е повече от 2 пъти по-голямо от съответната компонента на земното ускорние, т.е. още в началния момент на движението контактът между частичката и подвижната челюст е нарушен и частичката се намира в условията на свободно падане. Разстоянието между частичката и подвижната челюст ще расте докато скоростта на преносното движение остава по-голяма от съответната проекция на скоростта на свободно падащата частичка. За да настигне подвижната челюст,частичката трябва да измине пътя $S\cos\alpha$, движейки се с постоянно ускорение $g\sin\alpha$. Времето t_1, нужно на свободнопадащата частичка да измине горепосочения път, следва да се определи от равенството

$s\cos\alpha = \dfrac{1}{2}g\sin\alpha t_1^2$, откъдето за времето t_1 се получава

$$t_1 = \sqrt{\frac{2s}{gtg\alpha}} \quad (21)$$

За да може подвижната челюст да извърши трептене с размах φ_0, при честота Z_T, ще ú е нужно време

$$t_2 = \frac{1}{2Z_T},$$

или като отчетем формула 4, получаваме

$$t_2 = \frac{1}{2Z_T} = \sqrt{\frac{2s}{gtg\alpha}} \,. \qquad (22)$$

Равенството на t_1 и t_2 показва, че частичката стига до подвижната челюст, когато напуска трошачното пространство. Това означава, че тя през цялото време на движението си през зоната с височна h пада свободно без триене върху подвижната челюст. Това доказва, че всяко намаляване на честотата на трептене на подвижната челюст с полупериод $t_1 < t_2$ ще доведе до контакт на челюстта с частичката преди последната да е напуснала трошачната камера, което би се отразило неблагоприятно на производителността на трошачката. Очевидно обосноваването на корекционния коефициент κ (форм. 5), който се приема в границите $0{,}9 \geq k \geq 0{,}6$ поради триене на материала при разтоварване в подвижната челюст, не е логично.

Известно намаляване на действителния брой на трептене на подвижната челюст Z в сравнение с теоретичния Z_T може да се окаже необходимо по следните причини:

а) Разтоварването на материала не започва веднага след началото на обратния ход на подвижната челюст. Натовареният до смачване материал е еластично деформиран и съответно – напрегнат. За да изчезне напрежението в него, е необходимо определено преместване на подвижната челюст.

б) Възвратно-постъпателното движение на подвижната челюст поражда големи знакопроменливи инерционни сили. Особено при големите типоразмери трошачки с маса на подвижната челюст десетки тонове.Тези сили могат да натоварят опасно конструкцията на машината.

В този смисъл целесъобразно е коефициентът k да се приеме в диапазона

$$1{,}0 \geq k \geq 0{,}8 \,. \qquad (23)$$

За малките и средните типоразмери трошачки k следва да се избира равен или в близост до лявата граница, а за големите машини стойността на k следва да бъде по-близо до дясната граница.

В работата се разглежда главно влиянието на честотата на трептене на подвижната челюст на трошачката върху производителността. Отчита се влиянието на различните сили, действащи на частичките от разтрошавания материал, при движението им върху подвижната челюст. Взема се под внимание действието на гравитационните сили, силите на триене и тези от преносното движение в процеса на разтоварване на материала от зоната на трошене. Направена е оценка за влиянието на различните фактори върху честотата на трептене на подвижната челюст и върху техническата производителност на трошачката.

Литература

Алехин, А. Г., И. Л. Водольянов и Б. В. Клушанцев. Влияние кинематики щековой дробилки на срок службы и характер износа дробящих плит. Строительные и дорожные машины №10, 1971.

Андреев, С.Е., В. В. Зверевич и В. А. Перов. Дробление измельчение и грохочение полезных ископаемых. Недра, М. 1980.

Рыжиков, Р.К. Расчет пропускной способности дробилки крупного дробления. Строительные и дорожные машины № 6 1977.

Цветков, Х. К. , Кинематични особености на челюстни трошачки със сложно движение на подвижната челюст. Годишник на ВМГИ, т. XXV, св. 1 (1978-1979).

Цветков, К.Х. Видове конструкции и технологично пресмятане на челюстни и конусни трошачки. С. 2007.

Цветков, К.Х., Обогатителни машини. Техника, С. 1988.

Чешанков, Б. И. и Х. К. Цветков. Някои особености при задвижването на челюстни трошачки с просто движение на подвижната челюст. Машиностроене № 1, С. 1980.

Hőffe, K. Zerkleinerungs – und Klassirmaschinen Leipzig, 1985.

МЕТОДИКА ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА СИЛИТЕ И РЕАКЦИИТЕ В РАБОТНИЯ ОРГАН НА ХИДРАВЛИЧЕН ЕДНОКОФОВ БАГЕР ТИП O&K RH 200 C

Иван Минин [1]

[1] *Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail: minin@dir.bg*

РЕЗЮМЕ. Създадена е методика за определяне на силите и опорните реакции в характерни точки от работния орган на хидравличен еднокофов багер тип „права лопата". Избран е хидравличен еднокофов багер тип „O&K RH 200 C" поради това, че тази машина се използва в големите открити рудници в България.

METHODS THAT DETERMINE POWERS AND REACTIONS IN THE WORKING ORGAN OF HYDRAULIC ONE BUCKET EXCAVATOR TYPE O&K RH 200 C.

Ivan Minin[1]

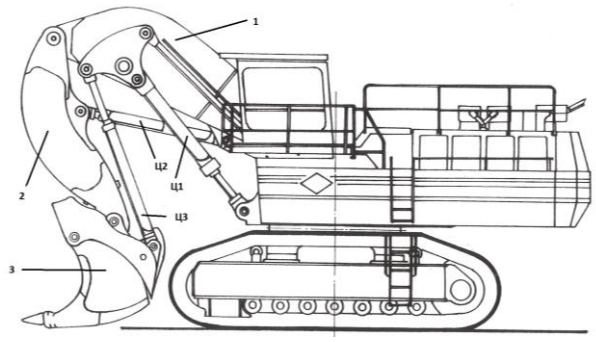
[1] *University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail: minin@dir.bg*

ABSTRACT. Methods that determine powers and support reactions in typical points of working organ of hydraulic one bucket excavator, "shovel" type. We have chosen hydraulic one bucket excavator type O&K RH 200 C since this machine is used in big opencast mines in Bulgaria.

Благодарение на трезвената конструкция на стрелата хидравличните багери осигуряват копаене с максимално усилие на всякаква височина на внедряване на кофата.

Освен традиционното им използване при изкопни работи в жилищното и пътното строителство и при прокарване на напоителни канали, през послените години хидравличните багери навлязоха в откритите рудници, където замениха морално и физически остарелите въжено-механични багери .

Такива машини се използват в най-големите невъглищни открити рудници, като техен представител е хидравличния еднокофов багери O&K RH 200 C, с обем на кофата 25 m³. Разглеждания в настоящата статия багер O&K RH 200 C е показан на фиг. 1



Фиг. 1. Общ вид на багер O&K RH 200 C

Работното оборудване на машината се състои от три основни звена: стрела 1, ръка 2 и кофа 3, свързани последователно със самостоятелни шарнирни връзки позволяващи завъртането им едно спрямо друго. Движението на елементите на работния орган се осъществява от три двойки хидравлични цилиндъра: $Ц_1$, $Ц_2$ и $Ц_3$.

В процеса на срязване (Фиг. 2) на поредната стружка върху режещия ръб на зъбите кофата (точка N), действат следните сили:

1. Тангенциална сила P_t^1, насочена по допирателната към траекторията на движение на предния режещ ръб на зъбите на кофата в посока, обратна на това движение. При хидравличните багери ъгълът на рязане е в диапазона $30° \div 40°$. Отчитайки този ъгъл при пресмятане на тангенциалната сила можем да използваме формулата:

$$P_t^1 = K_F.K_o.b.\delta, N, \quad (1)$$

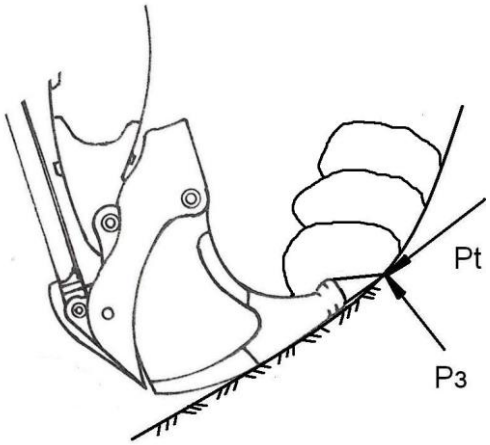
където:

K_F е специфичното съпротивление на скалите при копаене, Pa . $K_F = (0{,}226 \div 0{,}292)MPa$ - за добре взривена скала.

b – широчина на срязваната стружка, m. Този параметър зависи от широчината на кофата на багера;

δ - дебелина на срязваната стружка, m;

K_O е корекционен коефициент, отчитащ ъгъла на рязане. Стойностите му са в диапазона $K_O = (0{,}7 \div 0{,}8)$.



Фиг. 2. Сили действащи на предния режещ ръб на зъбите на кофата

2. Нормална сила P_3 (реакция на забоя), N. Пресмята се по формулата:

$$P_3 = \psi.P_t^1, N, \quad (2)$$

където:

ψ е коефициент, отчитащ съотношението между нормалната и тангенциалната сила. Стойността му зависи от физико-механичните свойства на скалите и обикновено е в интервала $\psi = (0,2 \div 0,5)$, като по-ниските стойности са за по-меки скали.

3. Сила на триене $P_3 f$. Нормалната реакция на забоя P_3 създава сила на триене, приложена в същата точка в която действа тангенциалната и действаща по допирателната в посока, обратна на движението на работния орган. С отчитането ѝ, пълното тангенциално съпротивление се определя от израза:

$$P_t = P_t^1 + P_3 f = K_F.K_O.b.\delta + K_F.K_O.b.\delta.\psi.f = \\ = K_F.K_O.b.\delta(1+\psi.f), N \quad (3)$$

където:

f е коефициент на триене на кофата в масива. Стойностите му са в диапазона: $f = (0,2 \div 0,25)$.

При работа на багера върху елементите на работния орган действат резултатната сила на копаене и гравитационните товари, представляващи теглата на отделните звена на изпълнителния орган, които реакции трябва да бъдат еднозначно определени.

Масовите центрове се приемат, както следва:

- масовият център на хидравличните цилиндри се приема в средата на същите, като при изчисляване н съответния елемент теглото на цилиндрите се приема, че се разпределя равномерно върху шарнирите, на които е окачен;

- теглата на ръката, стрелата и кофата се приемат в средата на отсечките, определени от шарнирите в двата им края, съответно на ръката АК, на стрелата АЕ, на кофата KN.

Тези приемания не биха довели до голяма грешка, поради това, че теглата на цилиндрите са относително малки в сравнение с теглата на останалите елементи.

На фиг. 3 е дадена адаптирана схема на работния орган на хидравличния багер, при което са известни следните величини:

- двойките координати X, Z на всички шарнирни връзки (A, B, C, D, E, F, S, M, P, Q, L, K);

- тангенциалната сила на копаене P_t (формула 3);

- теглото на кофата G_K (звено KLN), на ръката G_P (звено ЕК) и на стрелата G_C (звено АЕ) и теглата на двойките цилиндри G_1, G_2, G_3 .

Теглото на материала се определя по формулата:

$$G_M = g.V_K.\rho.K_P, N \quad (4)$$

където:

V_K, m^3 е обем на кофата;

$\rho, kg/m^3$ - плътност на материала;

K_P - коефициент на разбухване.

С багера се свързва относителна пространствена Декартова координатна система OXYZ, ориентирана така, че: ос OZ съвпада с оста на въртене на горния строеж а, ос OX лежи в равнината на стоене на багера.

Приема се, че ъгълът, който даден вектор (например r_{AB} (AB)) сключва с положителното направление на абсцисната ос OX, се означава със символа φ_{AB} .

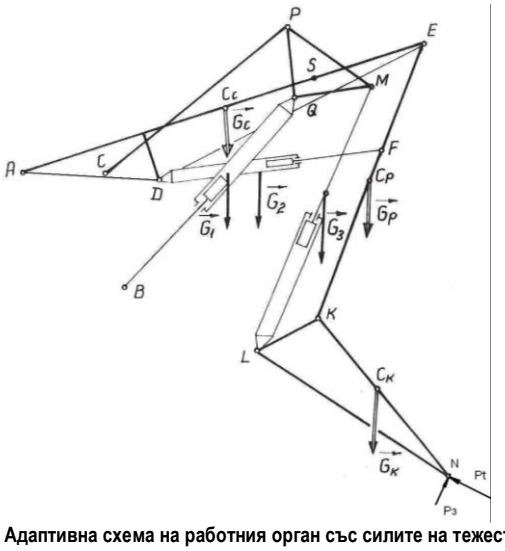
Разглеждат се положението на работния орган при врязване на празна кофата в масива на нивото, на равнината на стоене на багера.

Тъй като, нормално багерът копае чрез завъртане на кофата заедно с ръката около шарнира Е, то директрисата на реакцията на забоя P_3 се приема да съвпада с направлението NE, като посоката на силата е от т. N към т. Е. Тангенциалната сила на копаене P_t, породена от срязването на струкжката е приложена в т. N, перпендикулярно на направлението NE в посока отгоре надолу.

Координатите на приложените точки $C_K(x_K, z_K)$, $C_P(x_P, z_P)$ и $C_C(x_C, z_C)$ съответно на теглата G_K, G_P и G_C са определени предварително и са известни.

Разглеждаме тялото KLN (Фиг. 4), което представлява кофата на багера. На точка N действа силата P_t и P_3, чийто директриси и посоки вече са определени.

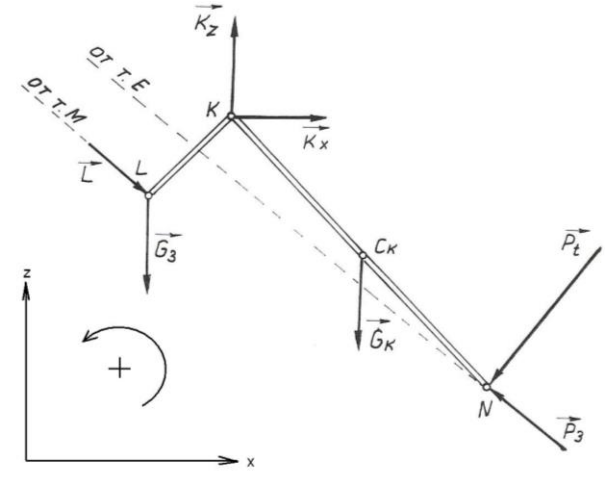
В шарнира L действа силата L, която представлява сила в буталния прът на цилиндъра Ц3 и има посока на вектора ML, а в шарнира К има реакция разложена по двете оси на кординатната система.



Фиг.. 3. Адаптивна схема на работния орган със силите на тежестта на елементите на работния орган

В условията на равномерно движение тялото KLN е в равновесие. Следователно може да се запише следната система от уравнения:

$$\begin{cases} \sum X_i = 0; -P_3 x - P_t x + Lx + Kx = 0 \\ \sum Z_i = 0; P_3 z - P_t z - G_K - G_3 - Lz + Kz = 0 \\ \sum M_{Ki} = 0; -P_3 x(z_K - z_N) - P_{tX}(z_K - z_N) + \\ + Lx(z_K - z_L) + P_3 z(x_N - x_K) - P_t z(x_N - x_K) + \\ + Lz(x_N - x_K) - G_K(x_{C_K} - x_K) + G_3(x_K - x_L) = 0 \end{cases} \quad (5)$$



Фиг.. 4. Сили действащи на кофата на багера

Тази система е от три уравнения и за да бъде решена, трябва неизвестните да бъдат сведени до три. Това може да стане по следния начин. Хоризонталната и вертикалната съставна на силата в буталните пръти на хидравличните цилиндри Ц1 могат да бъдат заместени със силата в пръта по следния начин:

$$Lx = L\cos\varphi_{LM}, N \quad (6)$$

$$Lz = L\sin\varphi_{LM}, N \quad (7)$$

Същото се отнася и за хоризонталните и вертикални проекции на силите действащи на предния режещ ръб на зъбите на кофата на багера.

$$P_{3X} = P_3\cos(180° - \varphi_{NE}), N \quad (8)$$

$$P_{3Z} = P_3\sin(180° - \varphi_{NE}), N \quad (9)$$

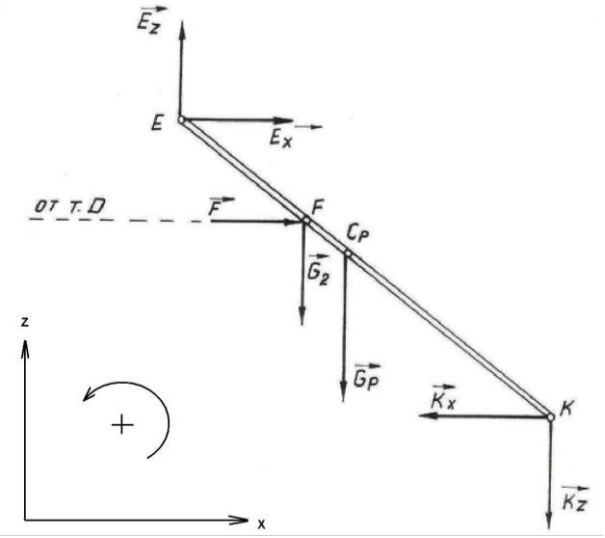
$$P_{tX} = P_t\cos(\varphi_{NE} - 90°), N \quad (10)$$

$$P_{tZ} = P_t\sin(\varphi_{NE} - 90°), N \quad (11)$$

Замествайки (6), (7), (8), (9), (106) и (11) в системата от уравнения (5), тя става с три неизвестни - L, Kx и Kz, като определянето им е елементарно от гледна точка на математиката.

Следва да се разгледа тялото EFK (фиг. 5).

В шарнира F действа сила F, която представлява сила в буталния прът на цилиндър Ц2. В точка К действат реакциите по двете оси на кординатната система, като за ръката те са акции и са си сменили посоката.



Фиг. 5. Сили действащи на ръката на багера

В условията на равномерно движение, тялото EFK е в равновесие. Следователно можем да се запише нова система от три уравнения:

$$\begin{cases} \sum X_i = 0; -K_X + F_X + E_X = 0 \\ \sum Z_i = 0; -K_z - G_P - G_2 + F_Z + E_Z = 0 \\ \sum M_{Ei} = 0; -K_X(z_E - z_K) + F_X(z_E - z_F) - \\ - K_Z(x_E - x_K) - G_P(x_E - x_{CP}) - \\ - G_2(x_E - x_C) + F_Z(x_E - x_F) = 0 \end{cases} \quad (12)$$

И тази система от уравнения е с три неизвестни след преобразуването на хоризонталните и вертикални съставни на силата в хидравличния цилиндър Ц2.

$$\begin{aligned} F_X &= F\cos\varphi_{DF}, N \\ F_Z &= F\sin\varphi_{DF}, N \end{aligned} \quad (13)$$

Замествайки (13) в системата от уравнения (12), тя става с три неизвестни - F, Ex и Ez, като определянето им става чрез известните ни от математиката методи.

Следващото тялото ADE (Фиг. 6), което подлежи на разглеждане е стрелата на багера.

На шарнира S действа силата S, която представлява сила в буталния прът на цилиндър Ц1. На шарнира Д действа сила, равна по големина и обратна по посока на силата F. В точка се появяват опорни реакции, които също са проектирани по двете оси на кординатната система.

В условията на равномерно движение тялото ADE е в равновесие. Следователно може да се запише следната система от уравнения:

$$\begin{cases} \sum X_i = 0; -E_X + S_X + A_X = 0 \\ \sum Z_i = 0; -E_z + S_Z - D_Z - G_1 - G_2 - G_C + A_Z = 0 \\ \sum M_{Ai} = 0; +E_X(z_E - z_K) + S_X(z_S - z_A) - \\ - D_X(x_D - x_A) - E_Z(x_E - x_A) + D_Z(x_D - x_A) - \\ - G_1(x_S - x_A) + G_2(x_D - x_A) - G_C(x_{C_C} - x_A) = 0 \end{cases} \quad (14)$$

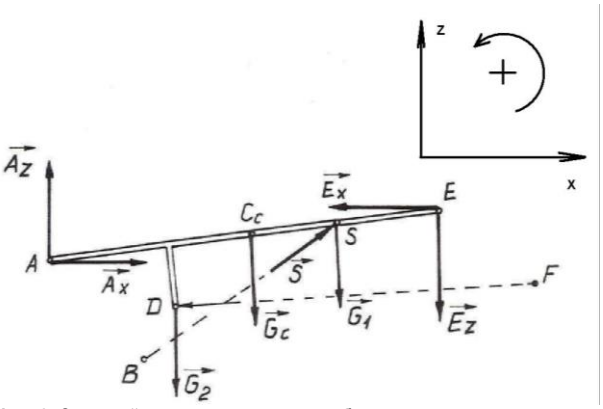
И тази система може да бъде приведена до три неизвестни S, Az и Ax, които се определят лесно с методите на елементарната математика.

Следва да бъде разгледано тялото MPQ, (Фиг. 7).

В шарнира M действа сила M, която представлява силата в буталния прът на цилиндъра Ц3. Тя е равна по големина и обратна по посока на силата L. В шарнира P действа сила P, която има посока на вектора CP.

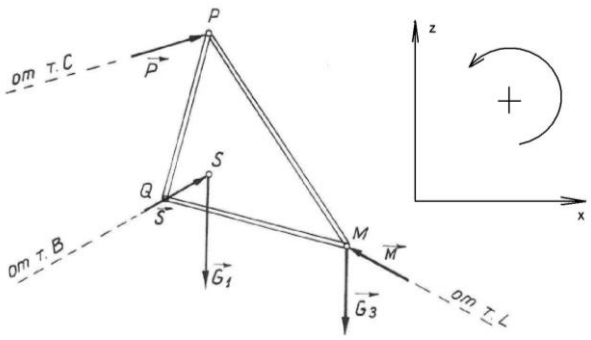
От условието за равновесие може да се напише следната система от две уравнения:

$$\begin{cases} \sum X_i = 0; -M_X + S_X + P_X = 0 \\ \sum Z_i = 0; +M_Z + S_Z + P_Z - G_1 - G_3 = 0 \end{cases} \quad (15)$$



Фиг. 6. Сили действащи на стрелата на багера

Тя става с две лесно определими неизвестни, а именно Px и Pz.



Фиг. 7. Сили в кобилиците на багера

Изводи

Изчислените сили и реакции са направени при някои предварителни приближения, като например масовия център на хидравличния цилиндър, ръката и стрелата, приети на средата на съответните отсечки.

Най-голяма сила, получена при изчисляването на силите е силата в хидравличните цилиндри $Ц_1 = 6720\,kN$. Това се доказва и след направено измерване и запис на налягането на маслото в цилиндрите на багера.

Сравнявайки тази сила с максималната допустима сила в същите хидравлични цилиндри се вижда, че в условията на рудниците „Асарел" и „Елаците", те не са натоварени екстремно и работи в сравнително лек режим.

Литература

Беркман, И. Л. и др. 1971. Одноковшовые экскаваторы и самоходные краны с гидравлическим приводом, Москва, Машиностроение.

Беркман, И. Л. 1986. Одноковшовые стоительные экскаваторы, Москва, Высшая школа.

Гаврилов, Н. И. и др. 1980. Гидравлический экскаватор ЭО-4121, Москва, Машиностроение.

Гоберман, Л. А. 1988. Основы теории, расчета и проектирования строительных и дорожных машин, Москва, Машиностроение.

Дроздов, Н. Е. и др. 1988. Строительные машины и оборудование. Курсовое и дипломное проектирование, Москва, Стройиздат.

Холодов, А. М. и др. 1986. Проектирование машин для земряных работ, Харков, Высшая школа.

Technisches Handbuch Erdbewegung. Ausgabe 1985, Liebherr-Imternatifnal AG, 1985.

ИЗНОСВАНЕ НА РЕДУКТОРНА ГРУПА НА РУДНИЧЕН КОНТАКТЕН ЛОКОМОТИВ К1О

Любен Тасев[1], Венелин Тасев[2]

[1.] Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София - Научно Развойна База по Минно Оборудване
[2.]Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София

РЕЗЮМЕ. Статията разглежда износването на отделните детайли и възли на редукторнатата група на рудничния контактен локомотив К10,. Това включва причините и размерът на износването на бандажните гривни, лагерните шийки, зъбните колела и лагерите. Разглеждат се също така повредите и износванията по корпуса на редуктора

WEAR AND TEAR OF THE GEAR OF MINE LOCOMOTIVE K10

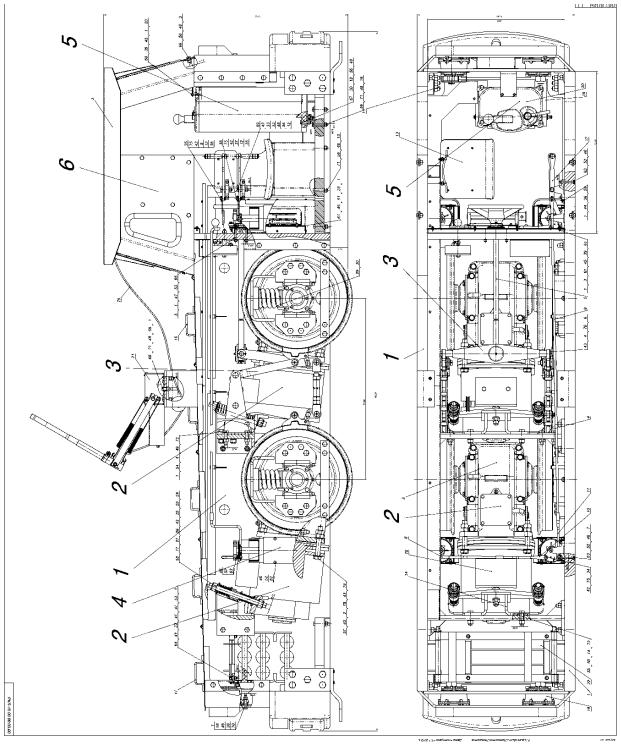
Lyuben Tasev [1], Venelin Tasev[2]
[1] University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", NRBMO 1700 Sofia
[2] University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia

ABSTRACT. The paper examines the wear of individual components and assemblies of main gear group of the contact mine locomotive K10,. This includes the causes and extent of wear bandages bracelets bearing pins, gears and bearings. Also considers the damages and wear on the gear housing.

Увод

Рудничния електроконтактен локомотив К10 е изключително сигурен и непретенциозен и се е наложил като основен извозен локомотив във всички подземни рудници неопасни по газ и прах. Той има много добри тягови характеристики лесен е за управление и непретенциозен за различните минни условия. Локомотивът е изключително ремонтно пригоден, което е още едно условие за приложението му минната практика. Локомотивите използвани в България са с широчина на релсовия път 600мм, като те осъществява главния хоризонтален извоз на участъка. Основните съставни части на локомотива са показани на Фиг. 1:

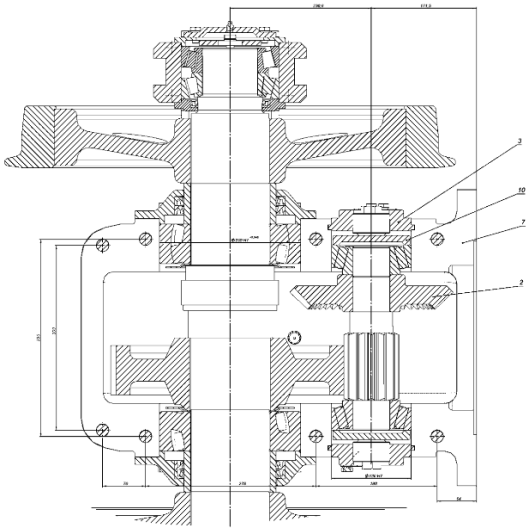
1-Рама;
2-Единично задвижване;
3-Спирана система;
4-Пясъчна система;
5-Електрооборудване;
6- Кабина.



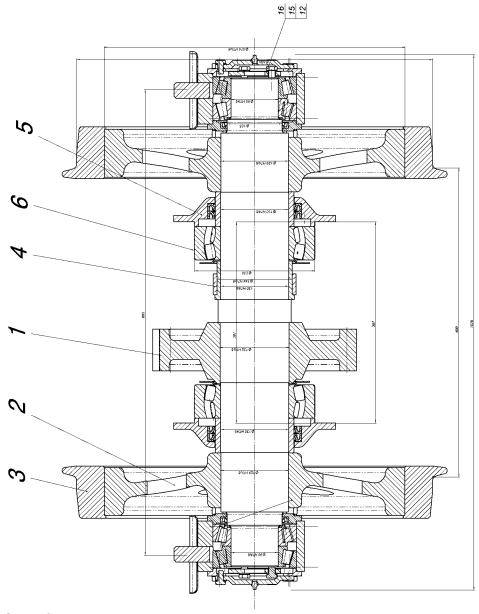
Фиг. 1

Чертеж на единично задвижване на електролокомотивът К10 е показано на Фиг. 2 и се състои от:

1. Електродвигател ДРТ 33
2. Колоос;
3. Вал зъбно колело с корона;
4. Корпус;
5. Букси.



Фиг. 2



Фиг. 3

Единичното задвижване, чрез колооста предава тяговото усилие на локомотива. Колооста (Фиг. 3) представлява неразглобяем възел. На вала са запресовани голямото зъбно колело z63 и два колесни центъра. На колесните центри са топло сглобени бандажни гривни. Корпуса на редуктора се състои от горна и долна част, които са стоманени отливки. Долната част служи за маслена вана и е снабдена с изпускателна пробка. Горната половина има капачка за преглед на зъбните колела и отвор за доливане на масло и разположение на маслоуказателя. Редуктора лежи на колооста, чрез два двуредни търкалящи лагери 22226 CC WW 33 (ГОСТ 3526). Въртящият момент от електродвигателят, чрез коничната двойка със спирални зъби. се предава на междинния вал (вал зъбно колело), а от него през цилиндричната право зъбна двойка се предава на колооста.

Повреди и износване в редуктор-колоосната група на рудничен контактен локомотив К10

Всички елементи от механичната част на единичното задвижване са подложени на износване и повреди. Причини за това са, както тежката експлоатация, така и лошите минни условия, недобрите пътища и нередовната поддръжка. Именно тези износвания и повреди са обект на настоящата статия.

1. Колоос

1.1 Износване лагерните шийки на буксите.

Нормалното износване се получава при правилна поддръжка на машината редовно смазване на лагерния възел и липса на видими повреди по самия лагер (виж фиг. 4)

Фиг. 4 В този случаи износване се дължи в следствие на уплътняване на материала под лагерните гривни вследствие на непрекъснати ударни и динамични натоварвания, които поема лагерно-буферния възел при разглежданата конструкция оразмеряването на лагерните шийки и тяхната предварителна обработка е такава, че измеряеми износвания се наблюдават след 10-15 години експлоатация и то при машини които работят при не добре подържани релсови пътища (с неприемливо големи джондове, лошо изпълнени макази и др.)

Фиг. 4

Ненормално износване настъпва тогава , когато се появи аварийна повреда в лагерния възел, тогава вътрешната гривна на един или двата лагера приплъзва по шийката (виж фиг.5)

Фиг. 5 При това настъпва интензивно износване на шийката, като е възможно – счупване на вътрешната гривна или запалване на лагерния възел с много сериозни повреди на лагерната шийка.Честа повреда е разбиването и скъсването на резбите на трите отвора в челната страна на шийката. Неоткрита навреме тази повреда може да доведе до допълнително до сериозни повреди, не само в шийката на колооста но и на целия локомотив.

Фиг. 5

1.2 Износване на буксата

Съвременните контактни локомотиви К10 са изпълнени с неделима, цялостна конструкция на буксата. Нейното предназначение е;

- да придаде натоварването от рамата на колооста
- да предаде теглителната сила от колооста към рамата на локомотива

В нормален режим на работа тя непрекъснато се движи нагоре надолу поемайки неравностите на пътя, като се притиска в единиция или другия водач от рамата на локомотива в зависимост от това в каква посока се движи машината и дали развива двигателна или спирачна сила. В условията на работа на възела (плъзгач – водач) са в режим на гранично триене. Смазването се осъществява от грес, която съгласно експлоатационния график на машината трябва да се сменя дневно. Работата в минни условия при наличието на много агресивна вода, кал, абразивна руда и др. подлагат този възел на екстремни условия на работа и при най-добра поддръжка той се износва значително. Въртеливото движение на вала се поема от два аксиално радилани лагера 32218. Те са заложени насрещно така че да поемат аксиланите натоварвания, които се получават при движението на локомотива. Регулирането на луфта на тези лагери се осъществява с помощта на подложни шайби. Смазването им се осъществява с грес. За осигуряване херметичността на възела от към страната на редуктора има семеринг. То осигурява и задържането на греста. Често в практиката поради нередовно проверяване се наблюдават следните явления

– ненавременно коригиране на луфта между лагерите;

– нередовно смазване;

– дефектиране на лагерното уплътнения вследствие на което лагерите остават бе смазване и се замърсяват от влизащите боклуци.

Всичко това довежда първо до интензивно износване на лагерите второ появата на аксилен луфт, които оказва влияние върху стабилността на машината трето довежда появяването на допълнителни ударни натоварвания върху цялата кинематика на възела. Като краен вариант се стига до чупене на лагера със последващо аварийно износване на лагерната шийка и блокиране на възела. За съжаления в практиката на ремонт в НРБМО са наблюдавани износвания от порядъка на сантиметри, това нарушава не само устойчивостта на машината, но и влошава значително спирачната система на локомотива.

1.3 Колесен център с бандажна гривна

Колесният център е стоманена отливка със специална форма, чиято вътрешна шийка и външна гривна са прецизно обработени, така че да се осигурят стегнати пресови сглобки респективно с шийката на вала и бандажната гривна в експлоатационната практика много рядко се наблюдават повреди по колесния център и той може да бъде използван в продължение на десетки години. Отделни дефекти като спукване на главина или самия център са по-скоро случайни и дължащи се по всяко вероятност на фабричен дефект.

Фиг. 6

Бандажната гривна се изработва от високо качествена легирана стомана, като най-добия начин за нейното изработване е чрез изковаване. В експлоатационно ремонтната практика на нашата страна много често бандажите гривни се леят в пръст от стомана 45Л. Получените резултати от експлоатацията на тези гривни са значително по лоши от тези, които са изковани. Бандажна гривна е подложена на голямо натоварване и интензивно износване последното зависи от условията в които работи машината, нейното натоварване размерите на релсите и състоянието на релсовия път. Практиката в ремонта на много машини показа, че износването може да се раздели на някого типа:

Фиг. 7

1. Износване на реборда със значително намаляване на неговите размери (Фиг. 6)

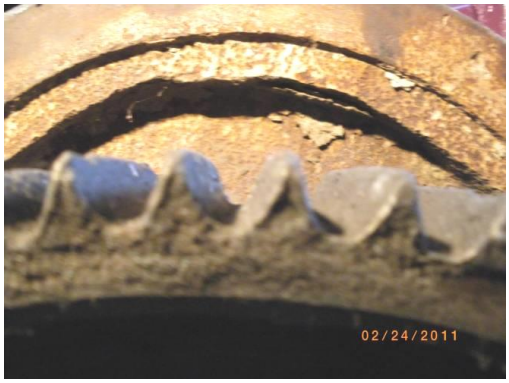
2. Бъчво образно износване на ходовата част със видимо вкопаване на средната част на бандажната гривна (фиг.7).

3.Равномерно износване на ходовата част на бандажната гривна и сравнително малко износване на реборда.

По изключение се наблюдават отчупвания на реборда, но те по скоро са изключение от колкото правило и по всяка вероятност се държат на неправилна експлоатация.

1.4 Износване на голямото зъбно колело

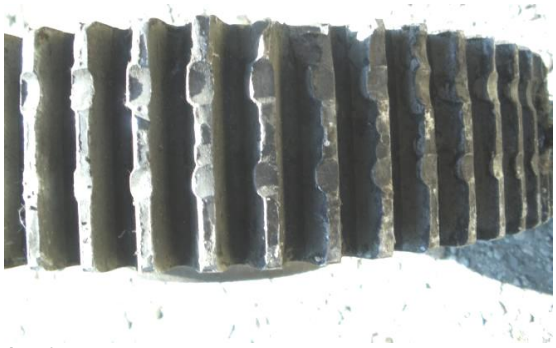
Износване на голямо зъбно колело z63 модул m=6 служи за предаване на крайния въртящ момент върху бандажните гривни. Същото е запресовано към вала и не са наблюдавани в практиката случай на дефектация на тази сглобка. В повечето случаи се наблюдава износване на зъбите с нормални износвания за този тип предавки, което най-често се изразява в намаляване дебелината на зъба. Износването в повечето случай е равномерно по цялата дължина на зъба. (фиг.8)



Фиг. 8

Много рядко се наблюдава:

- Питинк износване
- Отчупване на отделен зъб или нарушаване формата на зъбите вследствие на попадане на чуждо тяло в редуктора (Фиг. 9).



Фиг. 9

Лагерите, на които се върти вала спрямо корпуса на редуктора са самонагаждащи, много рядко аварират и практически имат най-дълъг живот в целия възел. Лагерните уплътнения, който не допускат теч на масло вън от редуктора са безконтактни лабиринтни. С течение на времето по различни причини, но най-вече поради попадане на нечистотии прах и други замърсители те се износват и се появява теч на масло от редуктора.. Появата на теч принуждава поддържащия персонал да използва грес вместо предписаното редукторно масло. Това решава въпроса със течовете, но нарушава нормалния режим на триене и смазване във зъбните двойки.. На вала е запресован месингов пръстен, които служи за токопредаване през колооста към корпуса на редуктора с помощта на графитна четка. Сериозни износвания или други повреди по този пръстен не се наблюдават. По често проблем създава четката или четкодържателя, които е монтиран на долната половина на редуктора.

2 Вал зъбно колело с корона

Голямото конусно зъбно колело (короната) z43 m=6 със спирални зъби е запресована към вала на шийка Ø60 мм. Вала лагерува на два аксиално радиални лагера 32312. Броя на зъбите на малкото зъбно колело са 13 и са нарязани директно на вала. Самия може да се измества аксиално с помощта на два болта, който са монтирани срещуположно на две ограничаващи капачки в редуктора виж фиг. С помощта на винтове освен изместването на вала се и осигурява аксилния луфт на лагерите. Зъбите и на колело и на малкото зъбно колело се износват приемливо в нормална експлоатацията на машината При коничното зъбно колело при неправилно зацепване на зъбната двойка (пиньон – корона).се наблюдава износване в единия край на зъба или износване по върховете на зъбите. Много редки са скучайте на счупване на зъб от короната . Причина за по интензивното износване е използването на неподходяща смазка или липсата на такава.

Фиг. 10

Пресовата сглобка между короната и вала не създава проблеми при експлоатацията. Радиално аксиланите лагери много рядко дефектират и в повечето случай надживяват останалите елементи от възела.

Проблема на възела се явяват страничните капачки, които се смачкват и в последствие разбиват каналите на редуктора, честа причина за това е и неправилното опериране от страна на машиниста. А именно:

- Бързо превключване степените на контролера
- Рязко електро-динамично спиране на машината
- Спиране с противовключване.

2.3 Редукторен корпус

Корпуса е двуделен съставен от две отделни практически идентични части, които се свързват с 8 болта М20. От челната си страна редуктора има квадратен фланец, към които се монтира задвижващия двигател тип ДРТ 33. На вала на двигателя е монтирано малкото зъбно конично колело z19. Центрирането на пиньона спрямо короната, се осъществява с помощта на тънки пръстени, които се поставят, между двигателя и редуктора. Присъединявате на двигателя към редуктора става с 4 болта М30. Горната страна на редуктора има контролна капачка, на която има нивопоказател за нивото на маслото. Вал зъбното колело се монтира към корпуса, като се поставят капачките в съответните правоъгълни канали. Колооста се захваща към корпуса на редуктора с помощта на две капачки и болтове М16. Капачките са оразмерени така, че да фиксират редуктора спрямо колооста. Редуктора на локомотива се износва съизмеримо с останалите възли. Износванията които се наблюдават при него са:

Износване на лагерните легла (фиг.11)

- Износване и дефектиране на резбовите отвори
- Разбиване на отворите за присъединяване на двигателя.
- Спукване или отчупване на челния фланец

- Разбиване на канали на регулиращата капачка Фиг. 12
- Износване на регулиращите капачки
- Износване на лабиринтното уплътнени между фиксиращата капачка и колоостта

Фиг. 11

Фиг. 12

Заключение

Посочените износвания и повреди в отделните звена на механичната част на единичното задвижване, са екстремни и не са характерни за всички руднични локомотиви. В повечето случаи до тях се достига преди всичко от лошата експлоатация, тежките минни условия и не навременната поддръжка и ремонт. При всички случай независимо от характера и размера на износванията и повредите механичната част на локомотива К10 подлежи на ремонт., които в повечето случай не е сложен и може да се извърши в механичната работилница на повечето рудници. Подробно начините на ремонт и възстановяване на отделни елементи е разгледан в статията „ Ремонт на механичната част на единичното задвижване на електролокомотив К10.

ГОДИШНИК на Минно-геоложкия университет "Св. Иван Рилски", Том 55, Св.III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, 2012
ANNUAL of the University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Vol. 55, Part III, Mechanization, electrification and automation in mines, 2012

МОДЕЛИРАНЕ НА ПРОЦЕСА ПРОБИВАНЕ НА АНКЕРНАТА ДУПКА

Юлиян Димитров, Кристиян Цветков

Минно-геоложки университет"Св.Ив.Рилски", 1700 София, juldim@abv.bg,kho@mgu.bg

РЕЗЮМЕ. Прилагането на аналитични методи в проектирането на подземни съоръжения среща проблеми, при опит да се получи по-голяма прецизност на елементите на минна технология. Оказва се, че тези проблеми са от решаващо значение в разработването на модели с анкерите ТФА.
Статията обсъжда основните модели и параметри на процеса на пробиване на анкерни дупки.

MODELING THE PROCESS OF MAKING ANCHOR HOLE

Julian Dimitrov, Kristian Tsvetkov
University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail juldim@abv.bg ,kho@mgu.bg

ABSTRACT. The application of analytical methods in design of underground structures encountered problems when trying to obtain greater precision of the elements of mining technology. It turns out that these problems are crucial in designing models with frictional pipe anchor.
The paper discussed the main models and parameters of the process of drilling anchor holes

Въведение

При прокарване на подготвителните изработки скоростта на минните работи се определя от възможностите на техниката за пробиване на взривни и анкерни дупки. За осигуряване на възможно най-голяма скорост на минните работи в Булат (2002) се предлага използването на възможно най-ефективна и автоматизирана техника за прокарване на на акерните дупки. Времето за изпълнение на операциите по изработване на анкерната дупка и установяване на анкера не трябва да надвишава 5 минути.

Пробиването на анкерните дупки може да бъде осъществявано с различни способи в зависимост от физико-механичните свойства на скалите. За предпочитане е използването на ударно – въртателни механизми, които съчетават ефекта на удара със срязване от лопатките на работния инструмент, формирани под определен ъгъл.

Развитие на моделирането на процеса на пробиване на скалата

Представите за механизма на разрушаване на скалния масив при ударно – въртеливото въздействие са се менили и уточнявали в течение на няколко десетилетия (Алимов, 1976). В Энштейн (1939) се въвеждат параметри, които се определят по експериментален път и от геометричната форма на резеца. В Щрейнер (1950) е въведено уточняване на оценката на съпротивлението на скалния масив при пробиване.

В резултат на следващи изследвания са направени изводи за ъгъла на срязване, стъпката на работния инструмент, големината на работната лопатка и други основни параметри.

Важен елемент на процеса на разрушаване при въртеливо пробиване е пластичното деформиране и уплътняване на скалата пред резеца (Алимов, 1976). Периодичното откъсване на елемент от скалата пред резците на коронката води до неравномерност в осевото натоварване и ъглови моменти, противодействащи на работния инструмент. Големината на тези моменти зависи от дълбочината на отделената стружка и от здравината на скалата. Отделянето на частиците скала се осъществява не едновременно – това води до неустойчиво положение на резеца и вариране (трептене) на оста на въртене на работния инструмент. Реализира се биене, което води до нарушаване на цилиндричната форма на анкерната дупка.

Основни видове взаимодействия

Механичният метод на разрушаване и пробиване на скалата най-често е чрез въртеливо и ударно въздействие на работния инструмент, снабден в предната си част с длето или коронка.

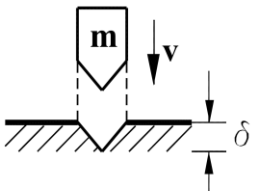
Приема се, че процесът на пробиване се подчинява на енергетичен закон за разрушаване на твърдото тяло.

Изводът е, че по размера на частиците, които се образуват в процеса на пробиване, може да се съди за ефективността на работата на пробивния инструмент. Колкото по-малки са частиците, които се отделят, толкова по неефективен е процесът, понеже енергията отива за раздробяване на излишно малки частици с голяма обща площ. Преодоляването на този ефект частично се постига

с използването на специфична форма на ударния инструмент – форма на лопатки на работното тяло.

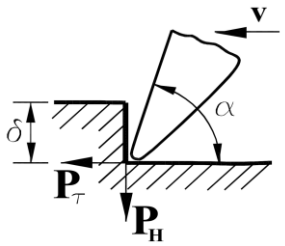
Всеки елемент на работното тяло указва периодично сложно разрушаващо и откъртващо въздействие върху скалата. Процесът на пробиване на анкерната дупка може да се раздели на три вида взаимодействия между работния инструмент и скалата (Спивак, 1979).

Раздробяващото действие на работния инструмент е в резултат на периодични удари по повърхността на скалата (Фиг.1). Основни параметри са масата m на работния инструмент, скоростта v в момента на съприкосновение на работния инструмент със скалата и максимална дълбочина δ на пробиване на ударния инструмент при един удар.



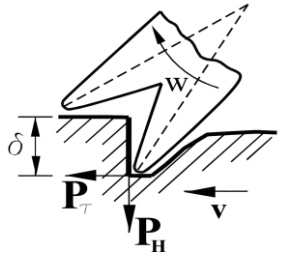
Фиг. 1: Схема на раздробяващото действие на работния инструмент

При режещото – откъсващо въздействие на работния инструмент, той трябвя да има специфична заострена форма на "лопатка" под определен ъгъл (Фиг.2).



Фиг. 2: Схема на режещо - откъсващо действие на работния инструмент

Работните параметри са скорост v на преместването, нормален натиск P_H, тангенциален натиск P_τ и ъгъл α на действие на лопатката.



Фиг. 3: Схема на раздробяващо - откъсващо действие на работния инструмент

Прилаганите в производството работни инструменти са снабдени с коронки, които имат симетрично разположени лопатки. Този инструмент оказва едновременно раздробяващо и откъсващо действие (Фиг.3). Параметрите на процеса са скорост v на лопатката, нормален натиск P_H, тангенциален натиск P_τ, максимално потъване δ на инструмента при едно въздействие и ъглова скорост w на въртене.

Напрегнато състояние на скалата при потъване на щампа

Разглеждаме плосък, кръгъл щамп. Съгласно Щрейнер (1950) разпределението на натиска в равнината на контакт е неравномерно само в началото. След това може да бъде прието равномерно разпределение $p = \frac{P}{\pi a^2}$, където P - сила на натиска на щампа; a - радиус на щампа. Преместването на щампа се определя от формулите: $\delta = \frac{P(1-\mu^2)}{2aE}$ за неравномерен натиск и $\delta = 0.54\frac{P(1-\mu^2)}{aE}$ за равномерен натиск. Тук μ е коефициент на Поасон и E - модул на Юнг.

При въздействието на елементите на работния инструмент обработваната скална повърхност преминава в гранично състояние, като достига натиск $\sigma_{i\max}$ при нормален натиск по контакта p (Спивак, 1979). $\sigma_{i\max} = \kappa p$, където κ е максималната относителна интензивност на тангенциалните напрежения. В Спивак (1979) са дадени стойности на параметъра κ за различни форми на щампа и при число на Поасон на скалата $\mu = 0.25$.

Чрез сравнителен анализ на ефекта от въздействието при различни форми на елемента на работния инструмент се определя най-подходящата форма и минималното натоварване за преминаване в гранично състояние на обработваната повърхност.

Основни принципи на динамичното деформиране и разрушаване на скалата

Съгласно Спивак (1979), при определено натоварване на щампа в зона под щампа се образуват кръгови пукнатини.

С увеличаване на натиска се увеличава зоната с развиващите се пукнатни в дълбочина.

На третия етап щампа потъва със скок в дълбочина.

В Спивак (1979), са разгледани два модела на динамично деформиране:

1. Имаме свободно падащ ударник с маса m и скорост при съприкосновение със скалата $v = v_0$ (Фиг.1).

Силата на деформиране (на удара) е $F = k_A\delta$, където δ - потъване на ударника; k_A - коефициент на пропорционалност. Потенциалната енергия за $\delta = \delta_0$ е $U = \frac{1}{2}F\delta_0 = \frac{1}{2}k_A\delta_0^2$. От $U = T_k = \frac{mv_0^2}{2}$ следва $\delta_0 = v_0\sqrt{\frac{M}{k_A}}$.

2. Към ударника е приложена допълнителна сила P. Тогава енергията при $\delta = \delta_0$ е $k_A\delta_0^2 = mv_0^2 + 2P\delta_0$ и резултатът е $\delta_0 = \frac{P}{k_A} \pm \sqrt{\left(\frac{P}{k_A}\right)^2 + \frac{m}{k_A}v_0^2}$.

Математически модел на удара

Ударния механизъм формира ударен импулс, който може да бъде описан чрез вълново уравнение като функция на времето. Ефективността при разрушение на ударния инструмент се определя от формата, максималната амплитуда и продължителност на импулса.

Общи принципи и модели на удара са представени в Димитров и Цветков (2011).

Вълновият модел на Сен – Венан отразява достатъчно пълно динамичните процеси във взаимно удрящите се тела. Разглеждаме безкрайно малък елемент на прът, който се движи под действието на сила. Съгласно закона на Нютон е изпълнено $m\frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = \frac{\partial P}{\partial z}dz$, където $m = \rho A dz$ - маса на елемента с дължина dz,

ρ - плътност на пръта,

A - лице на сечението на пръта, x - преместване по дължината на пръта и

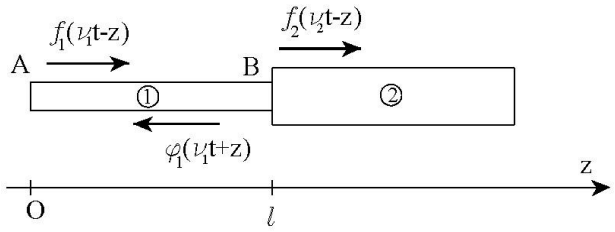
P - осева сила.

След като се приложи и закона на Хук за еластично тяло се стига до вълновото уравнение $\frac{\partial^2 x}{\partial z^2} - \frac{1}{v^2}\frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = 0$, където $v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ - скорост на разпространение на вълните на деформацията и E - модул на Юнг на пръта.

В Димитров и Цветков (2011) са обсъдени моделите: Ударен процес при свободен прът и Ударен процес при взаимодействие с абсолютно твърдо тяло

Разпространение на вълните на границата между две удрящи се тела

Моделът е представен на фиг.4.



Фиг. 4. Ударен процес при взаимодействие между два пръта

От връзката между граничните условия на решенията на двата пръта се получава, че в точка В на черт. 3 съвпадат скоростите $\frac{\partial x_1(l,t)}{\partial t} = \frac{\partial x_2(l,t)}{\partial t}$. От равенството на силите следва $E_1A_1\frac{\partial x_1(l,t)}{\partial z} = E_2A_2\frac{\partial x_2(l,t)}{\partial z}$, където E_1 и E_2 са модулите на Юнг за двата пръта и A_1, A_2 са лицата на техните сечения. От равенството на скоростите следва, че сумарната скорост на правата и обратна вълна за тяло 1 е равна на скоростта на правата вълна на тяло 2: $v_1[f_1'(v_1t-l)+\varphi_1'(v_1t+l)] = v_2 f_2'(v_2t-l)$.

От равенствата на силите се получава $E_1A_1[-f_1'(v_1t-l)+\varphi_1'(v_1t+l)] = E_2A_2[-f_2'(v_2t-l)]$

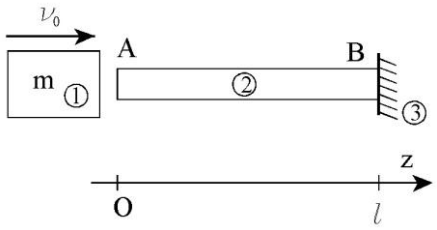
От двете уравнения се получава

$\varphi_1'(v_1t+l) = \frac{r-1}{r+1}f_1'(v_1t-l)$, където $r = \frac{E_1A_1v_2}{E_2A_2v_1}$ е *отношение на ударната твърдост* на двете тела.

Ако отношението на ударната твърдост е $r = 1$ - не възниква обратна вълна в прът 1. Ако $r = \infty$ имаме частен случай на свободен прът 1. Случая $r = 0$ съответства на прът с абсолютно твърда преграда.

Модел на процеса на взаимодействие с обработваната среда

Разглеждаме модел, с твърд, тежък, недеформируем ударник с маса m и еластичен вълновод (фиг. 5)



Фиг. 5. Схематичен модел с твърд, тежък, недеформируем ударник: 1. – ударник; 2. – вълновод и 3. – обработвана среда

Преместването в сечение z от пръта е $x(z,t) = f(vt-z)+\varphi(vt+z)$ - представено като сума на права и обратна вълна.

В сечението на пръта при $z = 0$ е изпълнено $-m\frac{\partial^2 x(0,t)}{\partial t^2} + EA\frac{\partial x(0,t)}{\partial z} = 0$, където E и A са съответно модул на Юнг и сечение на пръта.

Граничните условия при $z = l$ са

$EA\frac{\partial x(l,t)}{\partial z} + kx(l,t) = 0$, $x(l,t) = const$, $v(l,t) = 0$, $\frac{\partial x(l,t)}{\partial z} = 0$, където $k = \frac{P}{x}$ - твърдост на контакта.

Начални условия :

$x(0,0) = 0$, $\frac{\partial x(0,0)}{\partial z} = v_0$ - скорост в началния момент на удара, $x\left(l,\frac{l}{v}\right) = \frac{\partial x\left(l,\frac{l}{v}\right)}{\partial z} = 0$.

За правата вълна се получава

$f(vt-z) = \frac{v_0 l}{v\alpha}\left[1 - e^{-\frac{\alpha}{l}(vt-z)}\right]$, където $\alpha = \frac{\rho A l}{m}$ - отношение на масите на вълновода и ударника. За обратната вълна се получава

$\varphi(vt+z)=\frac{v_0 l}{v\alpha}(1+\lambda)\left[e^{-b(vt+z-2l)}-e^{-\frac{\alpha}{l}(vt+z-2l)}\right]$, където $b=\frac{k}{EA}$ и $\lambda=\frac{\alpha+bl}{\alpha-bl}$.

Съвместен модел на пробивното тяло и ударния прът

Разглеждаме случая, когато ударният инструмент се състои от ударен прът и конично ударно тяло (Алимов, 1976). В този случай към вълновото уравнение, написано за пръта,

$\frac{\partial^2 x}{\partial z^2}-\frac{1}{v^2}\frac{\partial^2 x}{\partial t^2}=0$ се прибавя и уравнението

$\frac{\partial^2 y}{\partial z^2}+\frac{2q}{qz-1}\cdot\frac{\partial y}{\partial z}-\frac{\partial^2 y}{\partial t^2}=0$ за коничния ударник.

Тук x е преместването на сечението в точка от пръта и y - на сечението на ударника.

Уравненията се свързват с:

Начални условия

$x\big|_{t=0}=y\big|_{t=0}=0$, $\left.\frac{\partial x}{\partial t}\right|_{t=0}=\frac{v_0}{a}$, $\left.\frac{\partial y}{\partial t}\right|_{t=0}=0$.

Гранични условия

$\left.\frac{\partial x}{\partial z}\right|_{z=-L}=0$, $\left.\frac{\partial y}{\partial z}\right|_{z=\infty}=0$, $\left.\frac{\partial x}{\partial z}\right|_{z=0}=\left.\frac{\partial y}{\partial z}\right|_{z=0}=0$,

$x\big|_{z=0}=y\big|_{z=0}=0$.

Тук $z=-L$ е в работната повърхнина на ударника и $z=\infty$ се отнася за отдалечени от ударника точки на пръта.

При равенство на модулите на еластичност на двете тела отнашението на ударната плътност е $\tau=\frac{F}{F_0}$, където F - сечение на ударника и F_0 - сечение на пръта.

Основни параметри на процеса на пробиване на анкерната дупка

В Алимов(1976) са представени основните параметри и техните дименсии за процеса на пробиване по въртеливо-ударния способ:

v - скорост на пробиване. Дименсия $v=100(20-f)mm/\min$, където f е коефициент на якост. Изпълнено е $v=nh$, където

h - големина на потъване на инструмента при всеки оборот, $h=10-0.5f\ mm/tr$,

n - честота на въртене на инструмента, $n=200\ tr/\min$.

$P_{\max}$ - максимално осево усилие, $15\div 20kN$.

q_n - коефициент за ефективност на пробиването, получава се от емпиричната зависимост

$q_n=(9-0.42f)10^{-1}\ mm/kN$. Служи за предварителна оценка на целесъобразността от използването на въртеливо-ударния способ при дадени физико-механични характеристики на скалата.

Прилага се намаляване на h с цел избягване на бързо износване на работния инструмент. Изчислява се по емпиричната зависимост $q_n=1.5-\frac{n}{400}$ за получаване на обороти n под $200\ tr/\min$. Друга емпирична зависимост е $q_n=1.1-\frac{F_T}{80}$, където F_T е общата площ на притъпените резци.

В Алимов (1976) е предложена таблица с най-рационални дименсии на параметрите при различни стойности на коефициента на якост f.

Някои препоръки при пробиване на анкерните дупки дадени в Булат (2002):

- Времето за изпълнение на операцията по пробиване на една анкерна дупка да не превишава $300\,s$;
- Работата по монтиране на анкерите да започва от страната с по-голяма напуканост на масива;
- Скоростта на прокарване на изработката трябва да бъде не по-малка от $5-7m$ за работна смяна;
- При въртеливо-ударния способ на пробиване на анкерните дупки с промиване с вода е оправдано да се използва ъглова скорост $800-1000\,tr/\min$.
- При слаби скали с якост на натиск до $20MPa$ да се изпълнява пробиването без промиване и със сухо прахоулавяне;

Изводи

Връщателно – ударния способ на пробиване на анкерната дупка е най-подходящ за повече от срещащите се минно – технологични условия. В допълнение в Булат (2002) са посочени технологичните предимства на метода: голяма производителност и икономичност; сравнинелно ниско нива на шума и други.

При пробиване на анкерни дупки за ТФА е необходимо формата и размерът им да се спазят в определени по-строги граници. Това е възможно като се подберат подходящи параметри на пробивното съоръжение.

Литература

Алимов О. Д., Л. Т. Дворников. 1976. *Бурильные машины*, М. Машиностроение

Булат А. Ф., В. В. Виноградов, 2002. *Опорно – анкерное крепление горных выработок угольных шахт*, Днепропетровск

Димитров Ю., Кр. Цветков, 2011. Изследване на формата на отразения импулс при чука на Шмид, Годишник МГУ

Энштейн Е. Ф., 1939. *Теория бурения – резания горных пород твердыми сплавами*, Л., ГОНТИ

Спивак А.И., А. Н. Попов, 1979. *Разрушение горных пород при бурении скважин*, Москва, «Недра»

Шрейнер Л.А., 1950. *Физические основы механики горных пород*, М. – Л., Гостоптехиздат

ГОДИШНИК на Минно-геоложкия университет "Св. Иван Рилски", Том 55, Св.III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, 2012
ANNUAL of the University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Vol. 55, Part III, Mechanization, electrification and automation in mines, 2012

МЕТОДИ ЗА ДИАГНОСТИКА НА МЕХАНИЧНАТА ЧАСТ ОТ РОТОРНИТЕ БАГЕРИ

Николай Иванов

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail: ivanov_mgu@abv.bg

РЕЗЮМЕ: Роторните багери в мини „Марица изток" работят съвместно с множество други минни машини в поточна технология. Условията на работа са тежки, а често точният геоложки строеж на забойния блок е неясен. В статията са разгледани методите за определяне на състоянието на механичните части от конструкцията. Основната цел е да намерят подходящи и ефективни методи за предотвратяване на аварийни престои.

METHODS FOR DIAGNOSING THE MECHANICAL PART OF THE BUCKET-WHEEL EXCAVATOR

Nikolay Ivanov
University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail: ivanov_mgu@abv.bg

ABSTRACT: Bucket-wheel excavator in the mines "Maritsa East" work together with much other mining machinery in conveyor technology. The operating conditions are heavy and often unpredictable. This article discussed methods for determining the condition of the structural mechanical parts. The main objective is to find suitable and effective methods to prevent damage and stays.

Въведение

Залежите на мини „Марица изток" се разработват по открит способ, това позволява използуването на мощни машини и съоръжения, с което се постига значително увеличаване производителността на труда.

Основните земекопни машини са роторните багери, като общият им брой е 26. Те работят съвместно с множество други минни машини в поточна технология. Възприетата технология на работа, освен огромните предимства има и един съществен недостатък, а именно, че при подобна схема престоите на насипообразувателите и гумено транспортните ленти зависят до голяма степен от безаварийната работа на роторните багери.

Това налага търсене на средствата и методите за бърза и качествена оценка на цялостното състояние на минно добивните машини, както възможност за намаляване на тежките аварии, увеличаване на чистото работно време, намаляване на себестойността на ремонтите и продукцията.

Експлоатация на роторните багери

Всеки открит рудник има специфични минно-геоложки и минно технически условия, определени от вида и дебелината на полезното изкопаемо, от физико-механичните свойства на полезното изкопаемо и вместващите скали и т.н., в зависимост от които се прилагат определена система на разработване и съответните машини.

Чрез анализа на работата на минните машини в откритите рудници се определят специфичните условия на тяхната експлоатация, като най-характерни са големите динамични натоварвания и неблагоприятното влияние на климатичните фактори.

Експлоатацията на багерите обхваща целия срок на тяхното съществуване, състои се от различни периоди, през които работоспособността намалява или се възстановява [2].

За минната механизация е особено важна експлоатационната надеждност, която се определя в реалните условия на използване на машините и техните механични конструкции при въздействие на всички влияещи фактори: минногеоложки и минно технически условия, реални режими на натоварвания, равнище и качество на управление, техническо обслужване и ремонт. Понятието надеждност на машината е тясно свързано с нейното техническо състояние, което може да бъде работоспособно (изправно, неизправно.) или неработоспособно. Понастоящем ремонтното обслужване на роторните багери се извършва по планово предпазната система за ремонт, като за условията на мини „Марица изток", тя е изменена в поетапно агрегатно възлова система за ремонт.

Текущото техническо състояние се определя, чрез методите и средствата на техническата диагностика, те позволяват формиране на заключение за характера на неизправностите без необходимост от разглобяване на машината. Диагностиката може да бъде обща и елементна, пред първата се поставя задача да се определи

работоспособността на машината, а при втората се търси неизправният възел. Основните цели на техническата диагностика са намаляване на разходите на труд и време за ремонтно обслужване и поевтиняване на ремонтното въздействие, при което се повишава ефективността от използването на машините.

Целите на техническата диагностика се постигат чрез решаване на следните частни задачи [2]:

-своевременно да се регистрират и отстранят неизправностите,

-предотвратяване на преждевременен ремонт на машини, които се намират в добро техническо състояние,

-увеличаване на фактическото работно време на машината, чрез изпълнение на ремонтното въздействие в най-благоприятния момент;

Параметри на техническата диагностика

За определяне на техническото състояние при машините диагностичните параметри могат да бъдат разделени на три групи в зависимост от контролираните показатели:

- входните и изходни показатели на машината, за багерите това са обема изкопана земна маса и разхода на енергия. Те се следят от вградените в новите или реновирани багери контролери.

- показатели водещи до отказ на машината са степента на износване, деформациите, пукнатините и корозията на металните части.

- косвени показатели за работоспособността обхващат обикновено акустичните и вибрационни сигнали генерирани от машините при тяхната работа. Към тях принадлежат също температурата, хидравличното и пневматично налягане, като те могат да се използват за диагностика на отделните възли от багера.

Независимо от избраните показатели, контролът може да бъде, както периодичен, така и непрекъснат.

Методи за определяне на състоянието на механичните части

Методите за контрол на техническото състояние могат да бъдат разделени на два типа. Първия са методи изискващи покои на машината по време на обследването, а при втория тип е необходимо машината да бъде в експлоатация.

Методи изискващи покои на багерите

Капилярни методи

Методите на проникващите течности се прилагат за откриване на невидими с невъоръжено око повърхностни дефекти чрез образуване на индикаторни следи върху изследваните повърхнини и повишаване на контраста и видимите размери на дефектите. Капилярните методи със значителна достоверност се прилагат за откриване на шлифовъчни пукнатини, пукнатини получени след термообработка, вследствие на умора на материала или деформации, върху изковки, заварени съединения, отливки и др. Необходимо е дефектите да притежават капилярни свойства, за да могат лесно да се запълват с проникваща течност и да са в състояние да я задържат след отстраняването и от изследваната повърхнина на обекта.

Магнитни методи

Универсален метод за откриване на пукнатини, шупли и други дефекти по детайлите. Детайлите се намагнитват и дефектите се определят поради свойствата на магнитният поток да изменя големината и посоката си в зависимост от магнитната проницаемост на метала в детайла. Деформацията на магнитното поле се предизвиква от разликата в магнитните свойства и се изразява в разпределение на магнитният поток и поява на магнитни полюси върху изследваната повърхнина. В намагнитено изделие магнитните силови линии са равномерно разпределени по сечението, но ако магнитния поток среща препятствие с малка магнитна проницаемост (пукнатина, шупла и др.), той се разсейва около тези дефекти. Когато тези дефекти са на повърхността на изделието, то в мястото на дефекта се получава магнитна поляризация.

Радиационни методи

Основават се на сложните процеси при взаимодействие на йонизиращите лъчения с атомите на изследваните материални среди. Разликата между отделните радиационни методи се състои само в начина на детектиране на преминалото през контролирания обект лъчение. С най-големи предимства, произтичащи главно от високата чувствителност към реални експлоатационни дефекти при детектирането е радиографичният метод. Неговото приложение в основните промишлени отрасли е най-масово, а за отговорни конструкции и съоръжения с повишена опасност задължително.

Чувствителността на рентгеновата и на гама радиографията зависи от типа на дефекта, от вида на материала, от размерите и формата на конструкцията и някои други фактори. За радиографичен контрол се използват главно два типа проникващи електромагнитни лъчения – рентгенови (*Ro*) и гама(γ) - лъчи. Те се различават помежду си по дължината на вълната . Само тези два вида лъчение имат висока проникваща способност, позволяваща да се откриват вътрешните дефекти в металите. Тези два вида лъчи са физически идентични, но разликата се състои в начина на генерирането им.

Ултразвукови методи

При тях се използуват особеностите и свойствата на ултразвуковите вълни, те представляват механични трептения (осцилации) на атомите или молекулите на вещество около равновесните им положения. Ултразвукови вълни (УЗВ) се въвеждат в материала за определяне на вътрешните дефекти в тях, както и за изучаване на други техни специфични свойства. Основното приложение е свързано с ултразвуковата дефектоскопия, останалите възможности са дебелометрия, контрола на корозия, както и за определяне на еластичните константи, наличие на напрежения, размер на зърната и др.

Основните методи за контрол са методът на пролъчване и ехо импулсният метод, като по-разпространен е последният метод. Той е основан на свойството на УЗВ да се разпространяват праволинейно в еднородно твърдо тяло и да се отразява от границите (стените) на тялото или от нецялостности, които притежават други акустични свойства (пукнатините, пори, разслоявания, корозионни язви и др.). Степента на отражението зависи главно от физическото състояние на материала на граничната повърхнина на отражението. Отразеният сноп се анализира за определяне на наличните дефекти.

Методи позволяващи диагностика в процеса на експлоатация на багерите

Акустични методи

За разлика от ултразвуковите при акустичните звуковите вълни се създават от различните хлабини в изследваните съединения. Различните честоти и сила на тези звукови сигнали, в сравнение с еталонните, позволяват да се получи информация за абсолютната големина на хлабината на изследвалото съединение Този метод е универсален и може да се използува за широк кръг системи. При образуването на еластични трептения, които генерира акустични сигнали, практически участвуват всички елементи от машината поради което акустичните сигнали носят достатъчна информация за състоянието на всички детайли в кинематичната верига.

Вибрационни методи

Основават се на факта, че енергията на удара в подвижните съединения и амплитудата на породената вибрацията са пропорционални на хлабината на съединението. Това позволява, ако се измери един от параметрите на вибрациите (амплитуда, скорост или ускорение) за дадено съединение и се сравни с номиналните му стойности, да се оцени техническото състояние, без той да се разглобява. Алтернативна възможност е с измерване на ускорението да се определят силите предизвикващи конкретните вибрации.

Тъй като акустичните сигнали (шумът) създават вибрации, а вибрациите генерират шум, в редица случаи на диагностика на машините се използуват виброакустични методи, основаващи се на акустичните и вибрационните сигнали.

Тензометрични методи

Експлоатацията на багерите е свързана с възникване на механични напрежения в металната им конструкция, стойността на тези напрежения е пропорционална на силите, моментите, преместванията или деформациите, които ги предизвикват. Нарастването на механични напрежения над проектно заложените е сигурен признак за последващо аварийно състояние. Коректният анализ на измервателният сигнал би могъл да доведе до своевременното откриване на зараждащи се повреди. Методът е приложим при всички метални части подложени на деформация.

Заключение

Наред с безспорните положителни страни на методите изискващи покои на машините, в условията на мини „Марица изток" и диагностиката на роторните багери основните недостатъци се явяват невъзможността за непрекъснат мониторинг и интеграция в системата за автоматизация на машината. Техните възможности за приложение са ограничени само през времето на плановите ремонти и в редки случаи при техническото обслужване. Въпреки това те се използват за оценка на остатъчния ресурс, откриване на скрити дефекти в металната конструкция, обследване на въжетата от подема, за проверка на много отговорни заваръчни съединения и др..

Акустичните вибрационните и тензометричните методи за безразрушителен контрол позволяват реализиране на непрекъснат мониторинг, както на отделните възли, така и на машините като цяло. Реализацията на автоматична система на контрол на техническото състояние би довела до намаляване на аварийните престои, а необходимостта от високо квалифициран персонал за работа със специализирана измервателна апаратура и оценка на остатъчния експлоатационен срок, ще намалее.

Литература

Миховски М., П. Беза, А. Захова, Хр. Чукачев, Капилярен безразрушителен контрол, София 1998г.

Мърхов Н., Поддържане и ремонт на минната механизация, "Техника" София 1991г.

Пожидаева В. Анализ на техническите възможности за вибрационен контрол и диагностика на минната механизация. Автоматика и информатика ,бр. 3, 2010.

Сордев Ал., И. Бъчваров, К. Маринов, Безразрушителен контрол, "Техника", София 1984г.

Хаджийски М. Постижения, ограничения и тенденции на съвременната технологична диагностика. Автоматика и информатика, бр. 3, 2010.

Шейретов К., Минни машини (част втора), "Техника", София, 1976г.

http://www.marica-iztok.com/bg/

ГОДИШНИК на Минно-геоложкия университет "Св. Иван Рилски", Том 55, Св.III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, 2012
ANNUAL of the University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Vol. 55, Part III, Mechanization, electrification and automation in mines, 2012

ИНЖЕНЕРНА ПРОВЕРКА ЗА БЕЗОПАСНАТА ЕКСПЛОАТАЦИЯ НА СТОМАНЕНИ ВЪЖЕТА ЗА ТОВАРОПОДЕМНИ КРАНОВЕ ПРИ ПОВИШЕНО НИВО НА РИСК

Калин Радлов[1], Живко Илиев[2], Евтим Кърцелин[2]

1.Университет по архитектура, строителство и геодезия- София, бул. Христо Смирненски №1

2. Минно Геоложки Университет „Св. Иван Рилски" , 1700 София e-mail: halkopirit@mail.bg

РЕЗЮМЕ. Настоящата разработка е посветена на разработването на методика за инженерно изследване на безопасността на стоманени въжета за товароподемни кранове при повишено ниво на риск. Извършен е анализ на съществуващите правила, които регламентиратобщите изисквания към механичните характеристики на стоманени въжета. Разработена е методика за изчисляване на максималната действаща сила на опън в товароподемно въже, причинена от външно въздействие към опорите на крана по вертикална посока, която се основава на нелинеен метод за анализ.

ENGINEERING TESTING OF THE SAFE OPERATION OF STEEL ROPES FOR HOISTING CRANES AT INCREASED LEVEL OF RISK

Kalin Radlov[1] , Jivko Iliev[2] , Evtim Karcelin[2]

1. University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy – Sofia, Hristo Smirnenski str.№1

2.University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail: halkopirit@mail.bg

ABSTRACT. Thepresentdevelopmentdealswithanalysisandmethodologydevelopmentforengineeringproofofsafetyofsteelwireropesforhoistcranes in presence of high risk. It is analyzed the available rules, which set the common requirements formechanical characteristics of steel wire ropes. It is proposed a methodologyforengineeringcalculationof maximal tensional force in rope, which is caused by external excitation at crane supports, and which is based on non-linear method for analysis.

1. Въведение

Безопасността и сигурността на стоманеното товароподемно въже за подемни кранове е важенвъпрос. Това важи особено заслучаите, когато се извършват манипулации с високоотговорни товари, където изпускането на окачения товар вследствие на разкъсването на телове от въжето излага на директен или индиректен риск безопасността на съоръженията и прерсонала, намиращи се в работната зона на крана.

Оразмеряването на стоманените въжета се извършва съгласно условието за действащата опънова сила във въжето S_B, която трябва да е по-малка от максимално допустимото натоварване на опън $S_{ДОП}$, което се изчислява по следната формула [1].

$$S_{ДОП} = \frac{S_{РАЗ}}{k} \qquad (1)$$

Където k е коефициент на сигурност на въжето;

$S_{РАЗ}[N]$ – обща сила на разкъсване на въжето. Важно е да се има предвид, че при двойно и тройноусуканите снопови стоманени въжета, каквито се използват при тежките товароподемни канове, се различават две отделни сили на разкъсване- сумарна и обща [5]. Сумарната сила на разкъсване е по- голяма от общата, тъй като при нея не се отчитат допълнителните натоварвания от усукване, натиск и огъване на които са подложени теловете от въжето. Стойностите на силите на разкъсване се задават от производителя или доставчика на въжето. Въпреки това обаче при високоотговорни въжета с повишено ниво на риск, често пъти е препоръчително да бъдат назначени допълнителни изпитания за потвърждаване на якостните характеристики на въжето.

Действащата опънова сила във въжето S_B в общия случай се изчислява на база на теглото на товара и собственото тегло на товарозахващащите елементи [2]. Съгласно европейският стандарт [3] обаче при наличие на големи рискове е необходимо отделните елементи на крана да бъдат проверявани за т. нар. специални натоварвания. Това означава, че товароподемните въжета на тези кранове трябва да могат да запазят своята цялост по време и след възникване на тези натоварвания, към които спадат и т.нар. натоварвания от външно въздействие към опорите на крана. Тъй като въжето може да поема опънни, но не и натискови натоварвания, то съгласно [4] за изследването на товароподемните кранови въжета на динамични въздействия трябва да бъдат прилагани не-

линейни методи за анализ. Тук е очевидно, че използването традиционните линейни методи за динамични анализи, при които въжето се моделира като обикновена линейна пружина, не биха дали достатъчно точни резултати.

Целта на настоящата разработка е да предложи инженерна методика за проверка на безопасността на стоманени въжета за товароподемни кранове с повишено ниво на риск. Методиката трябва да включва определяне на максималната действаща опънова сила във въжето породена от т.нар. специални натоварвания съгласно [5], на база на нелинеен метод за анлиз.

2. Определяне на механичните характеристики на въжето

С цел осигуряване на необходимата безопасност на стоманеното въже, в стандарт [5] са заложени конкретни изисквания към механичните свойства и необходимите изпитания, чрез спазването и назначаването на които се гарантира, че необходимата якост и дълготрайност на въжето ще бъде спазена. Изпитанията на въжето трябва да включват измерване на следните механични характеристики [5]:

* измерване на обща и/или сумарна сила на разрушаване на въжето. Необходимо е измерените стойности на общата сила на разрушаване на въжето $S_{PA3,1}[N]$ и сумарната сила на разрушаване на теловете от въжето $S_{PA3,2}[N]$ да бъдат по-големи или поне равни на зададените от производителя на въжето. При измерването на силата на разрушаване трябва да се отчитат следните фактори: размер на въжето; начин на производство; наличието на подържана от производителя Система за Осигуряване на Качеството съгласно EN ISO 9001 и др. Машината за изпитване на въжето на опън трябва да отговаря на изискванията на стандарт ISO 7500-1[6]. Изискването за минималната дължина на тестваните образци е съгласно [5] исъщо трябва да бъде спазено;

*измерване на издръжливост на прегъване;

*измерване на издръжливост на усукване;

Критериите за анализ на резултатите от изпитанията на стоманеното въже също трябва да бъдат съгласно [5].

3. Определяне на действащата опънова сила във въжето

Съгласно [5], уморното разрушаване не се разглежда като причинител на риск за стоманени въжета. Опъновата сила във въжето се определя чрез извършване на нелинейно изследване, при задаване на външно въздействие към опорите на крана под формата на хармонична вибрация. На база на това се определя максималната деформация $\Delta[m]$, на която е подложено въжето вследствие на тази вибрация. След това търсената действаща опънова сила във въжето S_B се изчислява по формулата:

$$S_B = c_{BЖ}.\Delta[N] \qquad (2)$$

Където $c_{BЖ}[N/m]$ е коравина на един брой въже.

За целите на настоящите изследвания ще бъде разгледан случай с мостов кран. Тъй като той е свободно разположен върху подкрановия път и между неговите ходови колела и релсата действат единствено силите на триене и вертикалните опорни реакции причинени от собственото тегло на крана, то при анализа на вертикално динамично поведение той ще бъде разгледан като шарнирно закрепена греда на две опори. Разглежда се случай на количка разположена в средата на моста (фиг.1), тъй като при този случай се създават предпоставки за най-големи динамични натоварвания, които моста на крана ще предава към въжето.

фиг.1. Мостов кран с количка в средата на моста

На фиг.1 са използвани следните означения: 1- мост на крана; 2-кранова количка; 3- опора на крана (подкранов път); 4- окачен на куката товар; 5- входна хармонична вибрация.

$L_{KP}[m]$ – отвор на крана;

$m_{KOO}[m]$ – маса на крановата количка;

$m_{ГЛ.ГР.}[m]$ – сумарна маса на главните греди на крана;

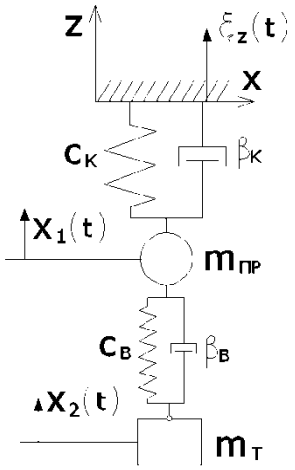
$m_T[kg]$ – маса на окачения товар;

$L_T[m]$ – дължината на отпускане на товароподемните въжета;

При метални конструкции на машини е известно, че първата собствена форма на трептене на конструкцията наподобява деформацията под действие на силите от собственото тегло и формата на трептене при динамични натоварвания [7]. Поради тази причина се приема, че формата на деформация на моста на крана при динамичните натоварвания от външното въздействие ще съвпада с формата на деформация на моста под действие на силите на собствено тегло и първата собствена форма на моста на крана.

При отчитане на нелинейното поведение на товароподемното въже трябва да се има предвид, че то може да поема само опънови натоварвания. Това означава, че когато товара „отскача“ в посока нагоре, то въжето се отпуска и на практика в този случай то не е натоварено и се намира в отпуснато състояние. Може да се счита, че хоризонталните динамични въздействия пораждатнезначителни опънови натоварвания във въжето и следователно в случая те могат да бъдат пренебрегнати.

На база на горните допускания е разработен обобщен динамичен модел на товароподемно въже подложено на динамични натоварвания, представен на фиг.2



Фиг.2. Обобщен динамичен модел

На фиг.2 са използвани следните означения: $m_{ПР}[kg]-$ приведена маса на мостовия кран към средата на главната греда; $c_K[N/m]-$ еквивалентна коравина на крановата конструкция; $\beta_K[N.s/m]-$ коефициент на линейно съпротивление на конструкцията на крана; $c_B[N/m]-$ коравина натовароподемните въжета; $\beta_B[N.s/m]-$ коефициент на линейно съпротивление на въжето; $\xi_Z(t)-$ хармоничното въздействие, което действа към опората на крана по вертикална посока; $x_1(t)-$ абсолютно преместване на приведената маса на крана; $x_2(t)-$ абсолютно преместване на товара.

Приведената маса в средата на главната греда, се изчислява по формулата [7]:

$$m_{ПР}=\frac{m_{гл.гр.}}{2}+m_{кол} \qquad (3)$$

Коравината на товароподемните въжета може да се изчисли по формулата:

$$c_B=n.\frac{E_B.S}{L_T}[N/m] \qquad (4)$$

където n е броят на товароподемните въжета на които е окачен товара;

$S[m^2]-$ площ на напречното сечение на едно въже;

$E_B[Pa]-$ модул на еластичност на стоманеното въже. Приема се $E_B=9{,}6*10^{10}[Pa]$.

Еквивалентната коравина на крановата конструкция се изчислява по формулата:

$$c_K=\frac{48.E_K.J}{L_{KP}{}^3} \qquad (5)$$

където E_K е модул на еластичност. За стомана на кранова конструкция се приема: $E_K=2{,}1*10^{11}[Pa]$

$J[m^4]-$ сумарен инерционен момент на напречното сечение на главните греди на крана спрямо хоризонтална ос.

Представеният на фиг.2. динамичен модел представлява система с две степени на свобода с обобщени координати $x_1(t)$ и $x_2(t)$, чието нелинейно динамично поведение се описва чрез следния алгоритъм:

1)Когато товароподемното въже е опънато, диференциалните уравнения за движение на системата (фиг.2) имат вида:

$$\ddot{x}_1+g+\frac{\beta_K}{m_{ПР}}..\dot{x}_1-\frac{\beta_B}{m_T}.(\dot{x}_2-\dot{x}_1)+\omega_1^2.x_1-$$
$$\omega_2{}^2.(x_2-x_1)=-\ddot{\zeta}_Z$$
$$\ddot{x}_2+g+\frac{\beta_B}{m_T}.(\dot{x}_2-\dot{x}_1)+\omega_2{}^2.(x_2-x_1)=0$$

2) Когато товароподемното въже е отпуснато диференциалните уравнения за движение имат вида:

$$\ddot{x}_1+g+\frac{\beta_K}{m_{ПР}}..\dot{x}_1+\omega_1^2.x_1=-\ddot{\zeta}_Z \qquad (6)$$
$$\ddot{x}_2+g=0$$

където $\omega_1[rad/\sec]$ е първата собствена честота на конструкцията на крана по вертикална посока;

$\omega_2[rad/\sec]-$ първата собствена честота на въжето по вертикална посока;

$g[m/s^2]-$ стандартното земно ускорение;

Статичната деформация (разтягане) на товароподемното въже под действие на собственото тегло на товара $x_{20}[m]$ се изчислява по зависимостта:

$$x_{20}=\frac{m_T.g}{c_B}[m] \qquad (7)$$

4.Приложение на разработената методика

4.1. Входни данни

Системата диференциални уравнения (6) се решава за избрани примерни входни данни. Входното въздействие се задава под формата на едночестотно хармонично смущение, което се описва от израза:

$$\xi_Z(t)=A.\sin(2.\pi.f.t+\varphi_0)[m] \qquad (8)$$

Където $A[m]$ е амплитудата на хармоничното смущение. Приема се $A[m]=0{,}1[m]$; $f[Hz]-$ честота на хармоничното смущение. Приема се: $f=4{,}2[Hz]$; $\varphi_0[rad]-$ начална фаза на хармоничното смущение. Приема се: $\varphi_0=0[rad]$. Останалите параметри за мостовия кран, които се използват като примерни входни данни са: $m_T=150000[kg]$; $m_{КОЛ}=179000[kg]$;

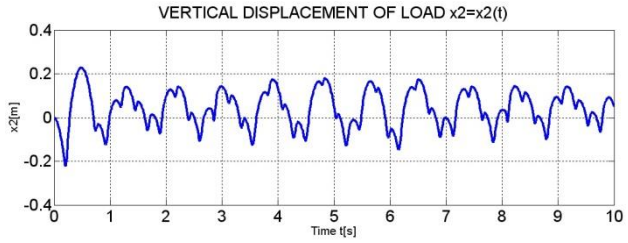
$m_{ГЛ.ГР} = 120000\,[kg];\ L_{KP} = 40[m];\ L_T = 16[m];\ n = 16$; $S = 0{,}00108[m^2];\quad J = 0{,}333[m^4];$ $\beta_K = 142 * 10^5 [N.s/m];;\ \beta_B = 39 * 10^5 [N.s/m].$

Така се изчислява: $m_{ПР} = 239000\,[kg];$ $c_K = 52447500\,[N/m];\quad \omega_1 = 14{,}81[rad/s];$ $c_B = 103680000\ [N/m];\quad \omega_2 = 26{,}29[rad/s];$ $x_{20} = 0{,}014[m].$

Входните данни се заместват в диференциално уравнение (6) и се извършва решение с помощта на софтуерния продукт MATLAB. Използва се солвъра "ode45", който се базира на явния метод на Рунге Кута от 4-ри и 5-ти ред.

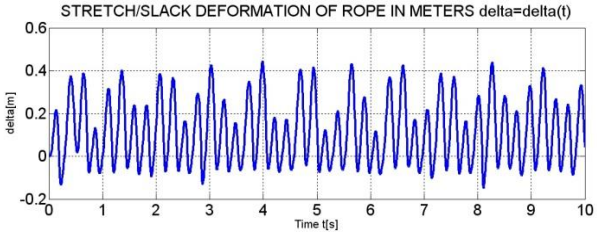
4.2. Резултати

Получените резултати по отношение на абсолютното преместване на окачения товар по вертикално направление (обобщена координата $x_2[m]$) са представени на фиг.3



фиг.3. Абсолютно преместване на окачения товар $x_2[m]$

Получените резултати по отношение на търсената деформация на товароподемното въже по вертикално направление $\Delta[m]$ са представени на фиг.4. Стойностите на графиката, които са над нулевото ниво ($\Delta > 0[m]$) представляват т.нар. „отпускане“ на товароподемното въже, което се наблюдава при „отскачане“ на товара в посока нагоре. По-важни за настоящото изследване обаче са стойностите на графиката, които са под нулевото ниво ($\Delta < 0[m]$), представляващи опъновите деформации на въжето.



фиг.4. Деформация на товароподемното въже $\Delta[m]$

От фиг.4. се вижда, че максималната деформация на опън на товароподемното въже е $\Delta = 0{,}15[m]$. Като се замести тази стойност в зависимост (2) се получава максималната действаща сила на опън в един брой въже: $S_B = 972[kN]$

5.Заключение

В резултат на направените анализи и обобщения могат да се направят следните изводи:

5.1.Предложена е методика за инженерна проверка на безопасността на стоманени въжета за товароподемни кранове, за случаите когато съществува повишено ниво на риск;

5.2. Изграден е механо-математичен модел с две степени на свобода за изследване на нелинейното поведение и определяне на максималната действаща сила в товароподемно въже при наличие на външно въздействие към опората на крана под формата на вертикална вибрация;

5.3.Разработената методика е приложена за конкретни примерни входни данни, за които е получена максималната действаща сила в товароподемното въже;

Литература

1. К. Аспарухов, Подемно транспортни машини, Техника, София, 1992г;
2. Кътов П., Строителни машини. С., Техника, 1989г;
3. БДС EN 13001-2 Кранове. Общо проектиране. Част 2: Натоварвания, 2004 г;
4. ASME NOG-1-2002, "Rules for Construction of Overhead and Gantry Cranes", Section NOG-4154;
5. БДС EN 12385 “Стоманени въжета. Безопасност”, 2008г;
6. ISO 7500-1, Metallic materials- Verification of static uniaxial testing machines- Part 1: Tension/compression testing machines - Verification and calibration of the force-measuring system;
7. Коларов И. Метални конструкции на подемно-транспортни и строителни машини. Техника, София, 1987;

ГОДИШНИК на Минно-геоложкия университет "Св. Иван Рилски", Том 55, Св.III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, 2012
ANNUAL of the University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Vol. 55, Part III, Mechanization, electrification and automation in mines, 2012

ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ОСТАТЪЧНИЯТ РЕСУРС НА ИЗОЛАЦИЯТА НА СИЛОВИ ТРАНСФОРМАТОРИ В ЕКСПЛОАТАЦИЯ

Александър Владимиров

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail: snd242@abv.bg

РЕЗЮМЕ. Представени са процесите протичащи в хартиено-маслената изолация на силовите трансформатори в следствие въздействието на отделяната топлина в проводниците на намотките. Посочени са методи и технически средства за определяне на най-горещата точка на намотката и остатъчният ресурс на изолацията.

DETERMINATION OF THE REMAINING LIFE OF THE INSULATION OF POWER TRANSFORMERS IN SERVICE

Aleksandar Vladimirov
University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail: snd242@abv.bg

ABSTRACT. The processes ongoing in oil-paper insulation of power transformers due to the heat dissipation in the conductors of the winding are presented. Methods and technical means for determination of the hot-spot of the winding and the remaining life of the insulation are specified.

1. Въведение

В резултат на продължителната експлоатация на силовите маслонапълнени трансформатори настъпва влошаване на електрическите характеристики на изолацията обикновено наречено „стареене" [1]. Стареенето на изолацията в маслените трансформатори се определя от механичната якост на изолацията на проводниците [2] и зависи основно от три фактора:

- Температурата на проводника;
- Съдържането на влагата в изолацията на проводника;
- Количеството кислород, разтворен в маслото.

Освен тези причини са възможни и механични разрушения и повреди, замърсявания на изолацията и други.

Влакнестата изолация, дори напълно загубила своята еластичност, но без механични повреди, запазва достатъчно висока електрическа якост [3]. Лишена от еластичност, сухата и крехка изолация може да се пропука под въздействието на вибрациите и динамичните усилия, случващи се в трансформатора по време на неговата нормална работа.

По такъв начин, е невъзможно да се съди за степента на износване на изолацията само по електрическата и якост. Мярка за стареенето на изолацията може да се търси само в загубата на механичната и якост.

За да се намали нуждата от реинвестиране, скъпоструваща поддръжка и да са направят рационални планове за бъдещето е необходимо да се разбере и определи количествено кинетиката на стареенето и как да бъде контролирано.

При използване на модерните системи за предпазване на маслото, приносът на влагата и кислородът могат да бъдат намалени, оставяйки температурата на изолацията като параметър, който трябва да бъде контролиран [4]. Тъй като в повечето електрически машини разпределението на температурата не е равномерно, тази част, която работи при най-високи температури, ще претърпи по-сериозно влошаване. Поради тази причина при изследвания стареенето на изолацията е нормално да се имат предвид ефектите на стареене предизвикани от най-високата температура (най-горещата точка). Поради факта, че много фактори влияят върху кумулативният ефект на температурата във функция от времето, предизвикващ разрушаване на изолацията, не е възможно да се предскаже с голяма точност полезният живот на изолацията, дори и при постоянни или контролирани условия, а още по-малко при широко изменящи се условия на експлоатация. Стандарти като IEC 60076-7[5], IEEE C57.91[4] и ГОСТ 14209-97[6] предлагат математични модели за оценка на термичното износване на изолацията

2. Физикохимични явления протичащи в хартиената изолация в следствие въздействие на температурата

При производството на силови маслонапълнени трансформатори се използва Крафт и термично подсилена хартия импрегнирана с нафтеново трансформаторно масло. Крафт хартията (сулфатна хартия) се състой от

целулоза, хемицелулоза и тиолигнин. Целулозата се състои от линейни полимерни вериги на единични циклични молекули β-D-глюкопираносил. Броя на тези молекули в една верига се нарича степен на полимеризация (отбелязвана в западната литература с DP) [8]. Целулозните вериги се свързват едновременно в кристална и аморфна форма, за да формират микрофибрили, които след това оформят фибрили и накрая фибри (влакна). По-голямата част от механичната якост на хартията зависи от съдържането на фибрили и фибри, докато хемицелулозата и остатъчният лигнин представляват аморфна, лепкава субстанция, която служи за циментиране на влакната. Процесът на стареене е процес на деполимеризация, причинен от киселинна хидролиза, пиролиза и окисление. Общо приет факт е, че високата киселинност ускорява процесите на стареене. Когато между молекулните връзки в целулозните вериги се разкъсват, стойността на полимеризация намалява и механичната якост се понижава. Често броя на разкъсванията на веригите (η); $\eta=DP_{нов}/DP_{стар}$ – 1, се използва за определяне на стареенето. Тук $DP_{нов}$ и $DP_{стар}$ са съответно, стойностите на индексът на полимеризация преди и след определен период на стареене. Когато е нова, хартията притежава *DP* около 1200. След преминаване на фабрично сушене, хартията в трансформатора ще има *DP* около 1000 и водно съдържание около 0,5%. Общо прието е, че когато *DP* индексът спадне до около 200, якостта на опън на хартията спада с 20% от първоначалната си стойност. Това състояние може да се определи като напълно изразходен ресурс на изолацията. За да се забави стареенето е възможно хартията да се направи термоустойчива чрез различни добавки.

В следствие на химични реакции при температура над 100 °C се образуват въглероден окис, въглероден двуокис, вода, 2-фуралдехид, 5-хидроксиметил-2-фуралдехид, 5-метил-2-фуралдехид, 2-ацетил-фуран и 2-хидроксиметил-фуран (фурфурилов алкохол). Количеството на някои от тези съединения разтворени в маслото се използва за оценка степента на износване на изолацията. Нива на 2-фуралдехид от 1000 ppb, тегловно, се получават при DP индекс <400, т.е. 50% износване на изолацията [9].

Отношението на газовете $C0_2$ /CO < 7 е индикация за прекомерно износване на изолацията с нарастване на температурата произвежданият газ CO нараства и от там отношението на газовете намалява [10].

3. Методи за измерване и определяне на най-горещата точка на намотката в процеса на експлоатация

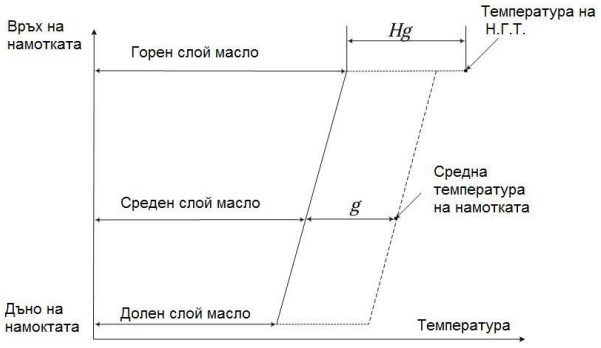
Максималната температура появяваща се, в която и да е част на изолационната система на намотката се нарича температура на най-горещата точка (Н.Г.Т.). Изследвания показват, че температурата в намотката може да бъде с 5-15 K по-висока от разбърканото масло под капака на трансформатора (горният слой масло). Действителната температурна разлика между проводника и маслото се предполага, че е по-висока с факторът на най-горещата точка, H.

Типично разпределение на температурата е показано на Фиг.1 [4,5,6,7], с разбирането, че тази диаграма е опростяване на по-сложно разпределение на температурите. Опростяванията, които се правят са следните:

- Температурата на намотките нараства линейно по височина от дъното към капака независимо от режима на охлаждане.
- Прегряването на проводника спрямо маслото в която и да е точка по вертикала нараства линейно, паралелно на прегряването на маслото, с постоянна разлика g наречена градиент (g е разликата между средната температурата на намотката, определена по метода на съпротивлението и средната температура на маслото).
- Прегряването на Н.Г.Т. е по-високо от прегряването на проводника в горната част на намотката, както е показано на фиг.1 поради добавка, която трябва да се направи от нарастването загубите предизвикани от разсеяният магнитен поток. За да се вземат предвид тези нелинейности разликата между температурите на Н.Г.Т. и маслото се приравняват на Hg. Факторът на Н.Г.Т. може да варира между 1.1 и 2.1 в зависимост от размера на трансформатора, импедансът на късо съединение и конструкцията на намотката.

За да се изчисли Н.Г.Т. при продължителен цикличен и други режими, се използват различни източници на температурни характеристики:

- Резултати от специално проведено изпитване на прегряване включващо директно измерване на Н.Г.Т. и горният слой масло в намотката (при липса на такова измерване факторът H може да се предостави само от производителя).
- Резултати от типово изпитване на прегряване.
- Предполагаеми прегрявания при номинален ток.



Фиг.1 Типично разпределение на температурата на трансформатор

При охлаждане тип ON максималната температурата на Н.Г.Т. в установен режим, θh, при какъвто и да е товар K, е равна на сумата от околната температура, прегряването на горният слой масло и градиентът между Н.Г.Т. и горното масло:

$$\theta_h = \theta_a + \Delta\theta_{or}\left(\frac{1+RK^2}{1+R}\right)^x + Hg_r K^y, \qquad (1)$$

където Δθor е прегряването на върхът на намотката при товар *K=1* (текущ ток към номинален ток), R отношение на загубите в режим на късо съединение към загубите в

режим на празен ход, H_{gr} е градиента на Н.Г.Т. спрямо горният слой масло при *K=1.*

При охлаждане тип OF, изчислителният метод се базира на температурите на долният-слой и средният слой масло. Максималната температурата на Н.Г.Т. в установен режим, θ_h, при какъвто и да е товар *K* е равна на сумата от околната температура прегряването на долният слой масло и разликата между Н.Г.Т. и горният слой масло в намотката:

$$\theta_h = \theta_a + \Delta\theta_{br}\left(\frac{1+RK^2}{1+R}\right)^x + 2\left[\Delta\theta_{imr} - \Delta\theta_{br}\right]K^y + Hg_rK^y, \quad (2)$$

При променливи натоварвания Н.Г.Т. и температурата на горният слой масло не могат скачат моментално между съответстващите стойности за установеният режим. Смята се, че времеконстантата на Н.Г.Т. е много малка, от порядъка на минути (типично 5-6 минути). Според препоръките на МЕК, има два пътя за пресмятане на Н.Г.Т. като функция на времето за променливи околни температури и променливи натоварвания по ток[6]. Това са методът на експоненциалните уравнения и методът на диференциалните уравнения.

Горните методи използват измерената температура на горният слой масло, за да предскажат температурата на намотките. Също така се използват и при манометричните термометри с допълнително подгряване от товарният ток. Въпреки, че дават добра точност[5], обикновено определят по-висока от реалната температура. Тези методи могат да бъдат доста трудоемки, като точността на предсказването на температурата може да варира в широк диапазон в зависимост от конструкцията на трансформатора. Поради тази причина е въведено директното измерване температурите на намотките в трансформатора.

Модерните методи за измерване температурите на части от трансформатора се базират на фиброопични датчици. Те от своя страна се изработват по две технологии:

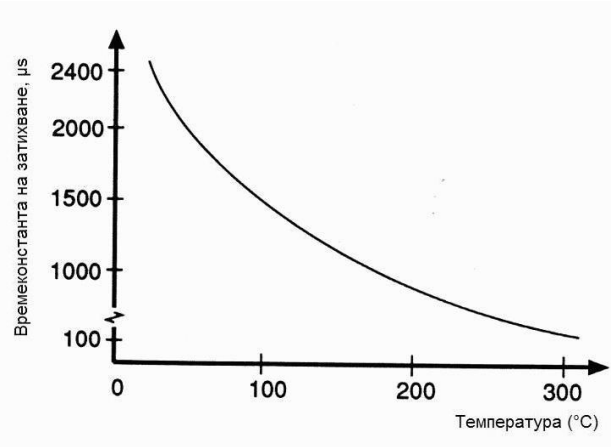
- Термочувствителна фосфоресцентна керамика - флуороптична термометрия[9];
- Монокристал от галиев арсенид (GaAs) - спектро фотометрична техника[11]

Първият тип сензори работи на принципа на електронно измерване промяната във времето за фосфоресценция на специална керамична пластинка, осветявана на определени интервали от време от червен светодиод. Времето на послесветене е пропорционално на температурата (Фиг. 2, а).

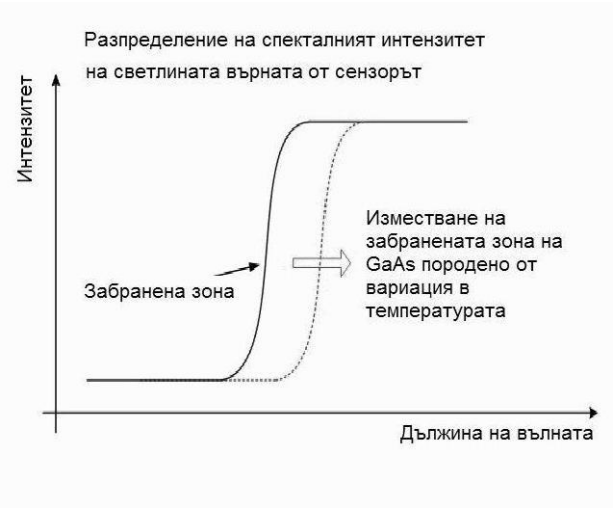
Вторият тип сензори работят на принципа на промяна в спектъра светлина поглъщан от специално обработена пластинка от галиев арсенид (Фиг. 2, б)[12] Пластинката се облъчва от източник на бяла светлина. Тук точността на измерване е по-висока, но източника на светлина е лампа с нажежаема жичка, притежаваща малък експлоатационен ресурс.

И двата типа сензори притежават достатъчна механична и изолационна якост, за да покрият целият диапазон от мощности и напрежения на силовите трансформатори.

Изградени са системи за непрекъснат контрол на състоянието на силови трансформатори включващи фиброоптични сензори, който имат възможност да изчисляват остатъчният ресурс на трансформатора, да включват охлаждането, изключват трансформатора, подават аларма за опасно висока температура, подпомагат динамичното натоварване. Те могат да бъдат част от единна SCADA система.



Фиг.2, а



Фиг.2, б

4. Методи за определяне на остатъчният ресурс на изолацията на трансформатора

Скоростта на стареене на изолацията на трансформатора се определя относно най горещата точка на намотката за Крафт хартия по формула (3)

$$V = 2^{(\theta_h - 98)/6}, \quad (3)$$

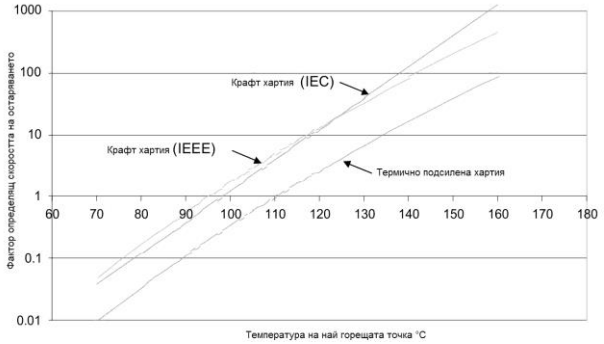
а за термоустойчива хартия по формула (4)

$$V = e^{\left(\frac{15000}{110+273} - \frac{15000}{\theta_h+273}\right)}, \quad (4)$$

където θh е температурата на най-горещата точка в °C.
Загубата на ресурсът на изолацията за определен период от време се дава с уравнения (6) [6],[4]

$$L = \int_{t_1}^{t_2} V \partial t \quad \text{или} \quad L = \sum_{n=1}^{N} V_n \times t_n \quad , \qquad (5)$$

където V_n е относителната скорост на износване за интервал *n* съгласно уравнения (3) и (4);
t_n е времето на *n*-тият интервал от време;
n е броят на интервалите от време;
N е общият брой интервали, които наблюдаваме.



Фиг.3

На Фиг. 3 е показана графика на скоростта на остаряване на хартията в зависимост от температурата.

5. Изводи

Непрекъснатият контрол на температурата на най-горещете точки е от съществено значение за определяне на скоростта на износване на изолацията на трансформатора от там на остатъчният му ресурс. При повишаване на температурата на изолацията над 98 °C, започва интензивно износване, отделят се субпродукти, които допълнително ускоряват процесите на стареене. Наличието на фуранови съединения е гаранция за значително износване на целулозната изолация.

Литература

М. А. Грейсух, Г. С. Кучински, Д. А. Каплан, Г. Т. Мессерман, Бумажно-масляная изоляция в высоковольтных конструкциях, Ленинград, Госэнергоиздат, 1963 г., стр. 179-204

И. Попов, Перегрев трансформаторов и срок их службы, Трансформаторы, Перевод докладов международной конференции по электрическим системам (CIGRE 1962 г.), под редакцией С. И. Рабиновича, Ленинград, Госэнергоиздат, 1964 г., стр. 27-42

Л. М. Шницер, Основы теории и нагрузочная способность трансформаторов, Серия <<Трансформаторы>> под общей редакцией Б. Б. Гельперина и П. П. Скворцова, Москва, Госэнергоиздат, 1959 г., стр. 189-209

IEEE Std. C57.91™-1995/Cor – 1 2002, IEEE Guide for Loading Mineral-Oil Immersed Transformers, IEEE Power Engineering Society, The Institute of Electrical and Electronic Engineers, New York, USA, 2003

IEC 60076 – 2 ed 3.0, Power transformers - Part 2: Temperature rise for liquid-immersed transformers, 2011

IEC 60076 – 7 ed 1.0, Power transformers - Part 7: Loading guide for oil-immersed power transformers, 2005

ГОСТ 14209 – 97, Руководство по нагрузке силовых масляных трансформаторов, 2002

Lars E. Lundgaard, Walter Hansen, Dag Linhjell, Terence J. Painter, *Ageing of oil-impregnated paper in power transformers*, IEEE PWRD, 2002

Rashmi Sanghi, *Chemistry Behind the Life of a Transfromer*, Resonance, June 2003, pp.17-23

IEEE Std C57.104™-2008, IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers, IEEE Power & Energy Society, The Institute of Electrical and Electronic Engineers, New York, USA, 2009

LumaSense Technologies, Luxtron Product Fluor Optic Technology FOT, http://lumasenseinc.com/EN/solutions/techoverview/fluoroptic/

OpSens, Opsens SCBG temperature sensing technology http//*www.**opsens**.com/pdf/**SCBG**.pdf*

Иванов К. М., П. М. Узунов, Г. Ц. Велев – Електрическа част на електроцентрали и подстанции, ръководство за лабораторни упражнения – „Габрово Принт"- ЕООД, 2008, ISBN: 978-954-436-013-9

ГОДИШНИК на Минно-геоложкия университет "Св. Иван Рилски", Том 55, Св.III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, 2012
ANNUAL of the University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Vol. 55, Part III, Mechanization, electrification and automation in mines, 2012

МЕТОДИКА ЗА ИЗБОР НА АВТОКРАН ЗА ПОВДИГАНЕ, ПРЕМЕСТВАНЕ, ТОВАРЕНЕ И РАЗТОВАРВАНЕ НА ТЕЖКИ ДЕТАЙЛИ В ОТКРИТИТЕ СКЛАДОВЕ НА МИННИТЕ ПРЕДПРИЯТИЯ

Симеон Савов[1], Иван Минин[2]

[1] Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail: ss.ss@abv.bg
[2] Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail: minin@dir.bg

РЕЗЮМЕ. Разработена е методика за избор на автокран за повдигане на големогабаритни и тежки детайли. Методиката се отнася както за работа с един автокран, така и при използването на два броя кранове. Тя включва аналитични изрази за определяне на товароподемността на избраната машина и проверка с коефициент на сигурност.

METHODS FOR CHOICE OF CRANE FOR LIFTING, MOVING, LOADING AND UNLOADING OF HEAVY DETAILS, IN MINING ENTERPRISES' OPEN-AIR WAREHOUSES

Simeon Savov[1], Ivan Minin[2]
[1] University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail: ss.ss@abv.bg
[2] University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail: minin@dir.bg

ABSTRACT. There are methods developed for choice of crane for lifting of large scale and heavy details. These methods refer both to work with one crane and use of two cranes. They include analytical expressions that determine laudability of a chosen machine and check via a safety coefficient.

1. Детайли и възли подлежащи на повдигане

Развитието на минната техника в последните години доведе до използването на свръх тежки и едрогабаритни машини и съоръжения в откритите рудници. Освен многокофовите багери в експлоатация влязоха големи еднокофови хидравлични багери и полумобилни трошачни комплекси. Всички тези машини и съоръжения се нуждаят от ремонт, който е свързан с товарене, преместване и разтоварване на тежки възли и детайли в откритите складове на минните предприятия.

2. Примерна схема на работа на автокран и основни геометрични параметри.

Нека разгледаме детайл от полумобилен трошачен комплекс. Всеки един от основните детайли се разтоварва от трошачния комплекс посредством портален кран с необходимата товароподемност върху автомобилен влекач. Той транспортира детайла до ремонтна площадка, където посредством избираният автокран, детайлът първоначално се повдига от платформата на влекача. Следва изтегляне на влекача след което детайлът се поставя на площадката. На фигура 1 е показана схемата на работа на автокрана при разтоварване на тяло горно на конусна трошачката, което е с най-голям диаметър и маса.

3. Последователност при определяне на товароподемността при работа с един автокран

3.1. Определяне на координатите на точка А съвпадаща с куката на автокрана при повдигане на съответния детайл.

С автокрана се свързва относителна пространствена Декартова координатна система OXYZ, ориентирана така, че: ос OZ лежи в равнината на симетрия на стрелата и пресича точката на окачване на хидравличният цилиндър повдигащ стрелата на крана; ос OX лежи в равнината на стоене на крана и се дава от пресечницата на тази равнина с равнината на симетрия на изпълнителния орган; ос OY е перпендикулярна на равнината XOZ и заедно с осите OX и OZ образува дясно ориентирана Декартова координатна система.

Координатата на точка А по хоризонталната ос може да се определи по формулата:

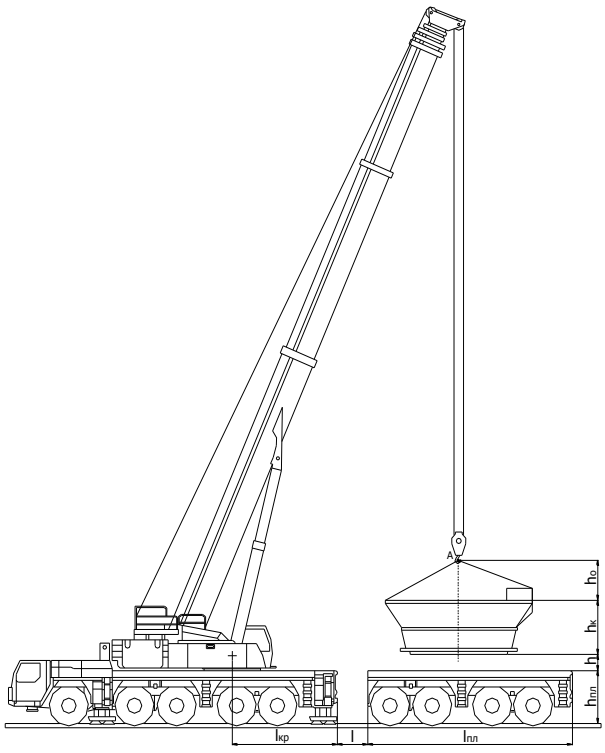
$$x_A = l_{кр.} + l + \frac{l_{ПЛ}}{2}, m \qquad (1)$$

където:

$l_{кр.}, m$ е разстоянието между точката на окачване на хидравличният цилиндър до крайният габарит на автокрана по посока на повдигания детайл.Този параметър трябва да е посочен в офертата на автокрана или е показан на чертеж;

l, m - разстояние между автокрана и транспортното средство доставящо или връщащо детайла. Това разстояние се определя като се отчита безопасността при движението на влекача, както и възможността от люлеене на товара при повдигане и спускане. Може да се приеме от 1 до 2 метра;

$l_{ПЛ}, m$ - дължина на транспортната платформа. Освен габарита на платформата трябва да се съобрази и дали тя ще бъде разполагана напречно или надлъжно. Поради това, че при надлъжно разположение се изисква по-голяма товароподемност се разглежда точно такъв вариант.



Фиг. 1.

Координатата на точка А по вертикалната ос може да се определи по формулата:

$$z_A = h_{ПЛ} + h + h_Д + h_O, m \qquad (2)$$

където:

$h_{ПЛ}, m$ е височината на транспортната платформа с която разполагате;

h, m - височината между автокрана и транспортното средство доставящо или връщащо детайла. Това разстояние се определя като се отчита безопасността при повдигане на детайла.Може да се приеме до 1 метър;

$h_Д, m$ - височина на повдигания или спускан детайл(от чертежите на трошачката);

h_O, m - височина на окачване на детайла. Тази височина зависи от дължината на въжетата, с които се закачва детайла към куката на крана. Увеличаването на дължината на въжетата намалява ъгълът, който сключват въжетата от една страна, а от друга се увеличава силата във въжетата, което води до избор на въжета с по-голями сечения. Поради това се приема този ъгъл да достига минимална стойност от $45°$. Това е положение, при което височината на окачване е максимална.

Следователно може да бъде определена по формулата:

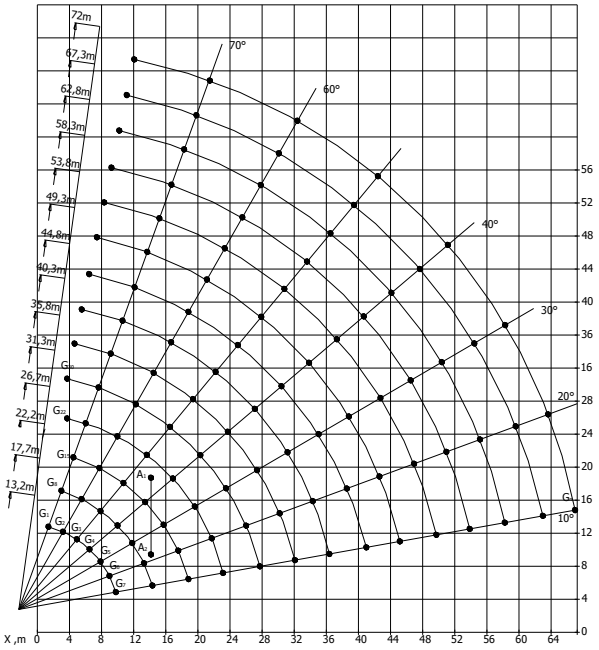
$$h_O = \frac{\frac{l_Д}{2}}{tg\frac{45°}{2}} = \frac{l_Д}{2.tg22{,}5°}, m \qquad (3)$$

където:

$l_Д, m$ е дължината или диаметърът на повдигания или спускан детайл.

3.2. Нанасяне на точка А върху подемната товарна характеристика на автокрана.

Подемните товарни характеристика се предоставят от фирмите производители и показват графично зависимостта на подемната сила от разположението и дължината на стрелата на автокрановете. Предоставят се за различни маси на противотежестите на крана. Освен графично те се представят и в табличен вид. Примерни характеристики са показани на фиг.2.



Фиг. 2.

Следва изчертаването на точка А върху тези графики. Това става със съответния мащаб който е оказан на графиките. Точка А се нанася в две положения, A_1 при

повдигнат максимално детайл и A_2, когато детайлът е спуснат на площадката. Координатите на точка А тогава ще бъдат:

$$x_{A1} = l_{кр} + l + \frac{l_{ПЛ}}{2}, m \quad (4)$$

При вдигнат детайл:

$$z_{A1} = h_{ПЛ} + h + h_{Д} + \frac{l_{Д}}{2.tg22,5°}, m \quad (5)$$

$$x_{A2} = l_{кр} + l + \frac{l_{ПЛ}}{2}, m \quad (6)$$

При спуснат детайл:

$$z_{A2} = h_{Д} + \frac{l_{Д}}{2.tg22,5°}, m \quad (7)$$

Накрая свързваме точка A_1 с точка A_2 и получаваме отсечка, която представлява траекторията описваща куката на крана.

3.3. Проверка на автокрана

Приемаме, че избраният автокран е удачно избран, ако е изпълнено условието:

$$G_{A1,A2} > 1,1G_{Д} \quad (8)$$

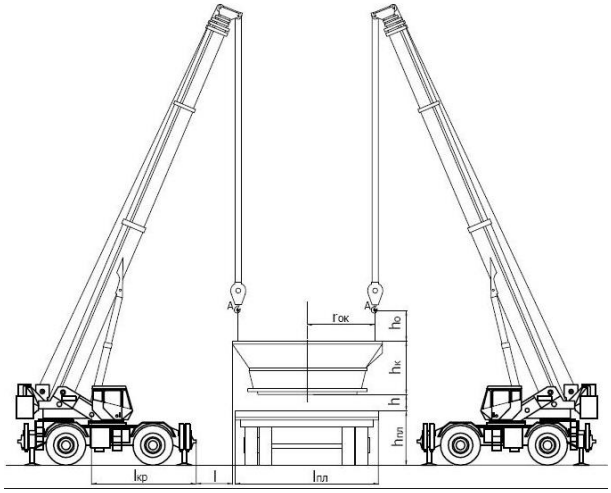
където:

$G_{A1,A2}, t$ - товароподемността на автокрана, която се определя от подемните графични характеристики;

$G_{Д}, t$ - маса на детайла.

4. Последователност при определяне на товароподемността при използването на два автокрана

В някои случаи е удачно да бъде използвана схема вместо с един автокран с висока цена, да се премине на схема с два броя автокраное с по-малка товароносимост и по-ниска цена. Това води и до други предимства, а именно че минното предприятие ще разполага вместо с едно с две подемни съоръжения, които могат да се използват едновременно през останалото време. На фигура 3 е показана схемата на работа с два броя автокранове при разтоварването на тяло горно на трошачка.



Фиг. 3.

4.1. Определяне на координатите на точка А съвпадаща с куката на автокрановете при повдигане на съответния детайл с два крана.

Координатата на точка А по хоризонталната ос може да бъде определена по формулата:

$$x_A = l_{кр} + l + \frac{D}{2} - r_{ОК}, m \quad (9)$$

където:

$l_{кр}, m$ е разстоянието между точката на окачване на хидравличният цилиндър до крайният габарит на автокрана по посока на повдигания детайл. Този параметър трябва да е посочен в офертата на автокрана или е показан на чертеж;

l, m - разстояние между автокрана и горното тяло излизащо от габаритите на транспортното средство доставящо или връщащо го на площадката. Това разстояние се определя като се отчита безопасността при движението на влекача, както и възможността от люлеене на товара при повдигане и спускане. Може да се приеме от 1 до 2 метра;

D, m - най-голямия диаметър на повдигания детайл (горно тялото - таблица 1);

$r_{ОК}, m$ - разстоянието от оста на тялото до равнината минаваща през две от ушите през които се прекарват въжетата и куката на крана. При горното тяло на трошачката това разстояние е около 2,5 м.

Координатата на точка А по вертикалната ос може да се определи по формулата:

$$z_A = h_{ПЛ} + h + h_{Д} + h_{О}, m \quad (10)$$

където:

$h_{ПЛ}, m$ е височината на транспортната платформа с която разполагате;

h, m - височината между повдигания детайл и транспортното средство. Това разстояние се определя като се отчита безопасността при повдигане на детайла. Може да се приеме до 1 метър;

$h_Д, m$ - височина на повдигания или спускан детайл (от чертежите на трошачката);

h_O, m - височина на окачване на детайла. Тази височина зависи от дължината на въжетата, с които се закачва детайла към куката на крана. Увеличаването на дължината на въжетата намалява ъгълът, който сключват въжетата от една страна, а от друга се увеличава силата във въжетата, което води до избор на въжета с по-големи сечения. Поради това се приема този ъгъл да достига минимална стойност от $45°$.Това е положение, при което височината на окачване е максимална.

Следователно може да бъде определена по формулата:

$$h_O = \frac{\frac{l_y}{2}}{tg\frac{45°}{2}} = \frac{l_y}{2.tg22{,}5°}, m \qquad (11)$$

където:

l_y, m е разстоянието между двете уши през които се прекарва подемното въже. При горното тяло на трошачката то е 6,2м

4.2. Нанасяне на точка А върху подемната товарна характеристика на проверяваните автокранове.

Прави се както при повдигане на детайла с един кран.

4.3. Проверка на автокрановете

Приемаме, че избраните автокранове са удачно избрани, ако е изпълнено условието:

$$G_{A1,A2} > 1{,}1\frac{G_Д}{2} \qquad (12)$$

където:

$G_{A1,A2}, t$ - товароподемността на автокрановете, която се определя от подемните графични характеристики;

$G_Д, t$ - маса на детайла.

5. Други фактори влияещи при избор на автокран

Освен условието за товароподемност и цена, което е задължително, при избора на такива машини трябва да се направи проучване за надеждността на автокрановете и да се сравнят цените на резервните им части. Това се прави като се отправи запитване към фирми, които вече експлоатират автокранове от същия производител. Важен е въпросът за гаранционния срок и как е организиран сервизът от доставчика.

6. Заключение

Настоящата методика може да бъде използвана за определяне товароподемността на най-различни марки автокранове при повдигане на детайли с различни габарити и маса.

Литература

Евневич, А. В. 1962. Грузоподьемные машины, Москва, Машгиз.

Дивизев, В. И. 1975. Подемно-транспортни машини и съоръжения, София, Техника.

ГОДИШНИК на Минно-геоложкия университет "Св. Иван Рилски", Том 55, Св.III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, 2012
ANNUAL of the University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Vol. 55, Part III, Mechanization, electrification and automation in mines, 2012

ОПРЕДЕЛЯНЕ НА МОЩНОСТТА НА ДВИГАТЕЛИТЕ НА БАРАБАННИТЕ МЕЛНИЦИ ЧРЕЗ НЕВРОННА МРЕЖА С НЕЗАВИСИМИ ВХОДНИ ПАРАМЕТРИ

Теодора Христова[1], Иван Минин[1]

[1] Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail teodora@mgu.bg
[1] Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail minin@dir.bg

РЕЗЮМЕ: Направен е опит а бъде обучена невронна мрежа за определяне мощността на двигателите на барабанните мелници чрез използването на програмата „QwikNet 2.23". Като резултат е получена обучената невронна мрежа с максимална грешка от 3.16224%, която може да бъде използвана за определяне на приблизителната мощност на електрическите двигатели на барабанните мелници, но не може да се счита за точен математически модел.

DETERMINING THE POWER OF CYLINDRICAL MILL'S ENGINE VIA NEURAL NETWORK WITH INDEPENDENT INPUT PARAMETERS

Teodora Hristova[1], Ivan Minin[1]

[1] University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail teodora@mgu.bg
[1] University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail minin@dir.bg

ABSTRACT: An attempt is made to train a neural network to determine the power of cylindrical mills' engines using program QwikNet 2.23. As a result, we have received trained neural network with maximum error 3.16224%.. It can be used in the determination of the approximate power of cylindrical mills' electric engine, but it cannot be considered an accurate mathematical model.

Въведение в проблема

През последните години определянето на параметрите на електрическите двигатели е немислимо без изчислителни машини и програми. При определяне на мощността на двигателите на барабанните мелници се използват алгоритми, в които като входни параметри влизат размерите, ъгловата скорост и натоварването на мелниците със смилащи тела. При повечето от тях, обаче, се оказва, че изчислената мощност обикновено е по–ниска от необходимата, което води до инсталиране на много по-мощен двигател от изчисления.

За улесняване на проектантската дейност, алгоритмите за изчисление на мощността на двигателите, задвижващи барабанните мелници, се автоматизират чрез използване на компютърни алгоритми за изчисление. Най-простата среда за това е „EXCEL" или „MatLab". Въпреки въвеждането на коригиращи коефициенти изчислената мощност на двигателя отново се различава от инсталираната от завода производител. Това най-вероятно се дължи на факта, че много от входните параметри, участващи в методиките за пресмятане на мощността на електродвигателя на мелницата, не могат да бъдат зададени коректно и се различават от действителните. Например при определяне на топковия товар на барабанните мелници се приема, че всички топки в барабана на мелниците са с еднакъв диаметър. От практиката обаче е известно, че при работа топките се износват и намаляват своя диаметър, което води до повишаване на плътността на смилащата среда, на нейното тегло и до повишаване на изразходваната мощност за издигане на и за предаване на кинетична енергия на топките.

За решаване на този проблем се взе решение да бъде обучена невронна мрежа, чрез която да се определя по-точно мощността на електродвигателите на барабанните мелници.

Същност на невронните мрежи

Невронната мрежа е математическа програма, съставена от взаимносвързани прости изчислителни елементи (неврони). Двете най-съществени характеристики на невронните мрежи са: способност да се "учат" и способност да „генерализират". При „учене" всеки неврон приема сигнали от другите (под формата на числа), обработва ги през съответен математически алгоритъм и определя своята активация, която се предава по изходящите връзки към другите неврони. Всяка връзка има тегло, което умножавайки се със сигнала, определя

неговата значимост (сила). Теглата на връзките са аналогични на силата на синаптичните импулси, предавани между биологичните неврони. Отрицателна стойност на теглото съответства на подтискащ импулс, а положителна - на възбуждащ. Невронната мрежа има входен, изходен слой и няколко междинни слоя. За постигане на по-висока точност междинните слоеве в невронната мрежа може да са няколко. След обучаване на невронната мрежа по съответен математически алгоритъм се въвежда нов масив от неизползвани за обучението данни и обучената система генерализира нови изходи (Иванова,2004).

Невронните мрежи могат да бъдат класифицирани според различни принципи. Според обучващия алгоритъм те могат да бъдат с право или обратно разпространение, с фиксирано нарастване или с обратно разпространение на грешката. Най-широко използваният и най-успешен инструмент за прогнозиране е невронната мрежа с право разпространение (Zhang,2004). Този тип невронни мрежи се използват в над 80 % (Remus,2001) от изследванията, посветени на конекционисткия подход и неговото приложение при решаване на предиктивни проблеми, какъвто в случая се оказва и задачата за определяне на мощността на електрическия двигател. С развитие на технологиите са разработени невронни мрежи, за прогнозиране на натоварване на трафика, за определяне на продажбата или на други статистически задачи.

За обучението на невронна мрежа за определяне на мощността на електрически двигател, задвижващ топкова мелница, се избра универсална невронна мрежа QwikNet 2.23, в чийто масив могат да се използват няколко вида обучаващи алгоритъма. Създаден е масив от данни от размерите и натоварването на работещи мелници, а на изхода на невронната мрежа са зададени параметрите на работещи в реални условия двигатели.

На създадената невронна мрежа бяха изчислени теглата, като принципът на въвеждане на данните за изчисление е следният: в невронната мрежа се въвеждат входните и определените по експертна оценка или взети от практиката стойности на изходни параметри. След това мрежата се обучава до определен процент грешка. Получените тегла показват степента на влияние между всички входове и изходи.

Резултати от обучаването на невронната мрежа.

Обучавана е невронна мрежа съставена от три слоя – вход, един вътрешен и изходен слой. Входове са 5 независими един от друг - дебелина на облицовката,mm; вътрешен диаметър на барабана,mm; дължина на барабана,mm; обороти на мелницата, min^{-1}; маса на топковия товар,t. В скрития слой има 5 възела и 1 изхода – мощност на двигателя. Между входовете не съществува връзка. Изследвани са няколко трениращи алгоритъма Rprop, Quickprop, Delta-bar-delta и Backprop. Най-ниска грешка при обучението на невронната мрежа се получи с алгоритъма Rprop. Алгоритъмът на обучение е с устойчиво размножаване, при който теглата нарастват по градиент. Теглото е ω_{ij} , стъпката на нарастване е Δ_{ij} , а времето е t . Стъпката се определя съгласно системата от неравенства:

$$\Delta_{ij} = \begin{cases} \eta^{+}.\Delta_{ij}(t-1), if\ \dfrac{\partial E}{\omega_{ij}}(t-1).\dfrac{\partial E}{\omega_{ij}}(t) > 0 \\ \eta^{-}.\Delta_{ij}(t-1), if\ \dfrac{\partial E}{\omega_{ij}}(t-1).\dfrac{\partial E}{\omega_{ij}}(t) < 0 \\ \Delta_{ij}(t-1) - - - - - - - * \end{cases} \quad (1)$$

- - в противен случай

Където: $0 < \eta^{-} < 1 < \eta^{+}$

Теглата нарастват (определят се) от следната система :

$$\Delta_{ij} = \begin{cases} -\Delta_{ij}(t), if\ \dfrac{\partial E}{\omega_{ij}}(t) > 0 \\ +\Delta_{ij}(t), if\ \dfrac{\partial E}{\omega_{ij}}(t) < 0 \\ 0 - - - - - - - * \end{cases} \quad (2)$$

Корелационната грешка е 0.383008, а максималната е 3.16224, което за инженерна задача е приемлива стойност. Поради тази причина не се наложи да се обучава невронна мрежа с повече междинни слоя.

Съответно получените тегла са показани на таблица 1:

Таблица 1

Тегла на невроните					
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
-0.480118	0.100213	0.100213	0.100213	0.100213	0.100213
0.121193	0.098507	0.341331	0.0922051	0.0743143	1.02514
0.270474	0.737494	0.613289	0.509399	0.118592	1.10788
-0.234055	0.124486	0.347653	0.340533	0.155228	1.39132
-0.264885	0.539436	0.331884	0.372117	0.734984	1.21029
-1.80386	-1.02805	-1.59019	-1.28683	-1.58724	-1.57216

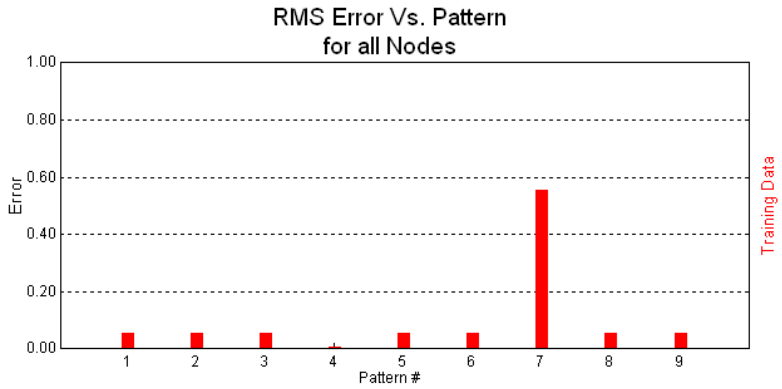
На таблица 2 са визуализирани параметрите на обучената невронна мрежа.

Таблица 2 . Wed Mar 14 10:50:11 2012

Параметър	Стойност	Параметър	Стойност
Epochs –епохи*	1 - 13597	Стъпка на теглото	0.001
Обучаващ алгоритъм	Rprop	Момент	0
Ръст на повишаване	1.2	Входен шум	0
Ръст на понижаване	0.5		
Мининимално нарастване на стъпка на теглото	1e-006	Final_RMS_error Корелационна грешка	0.383008
Максимално нарастване на стъпка на теглото	50	Максимална грешка	3.16224

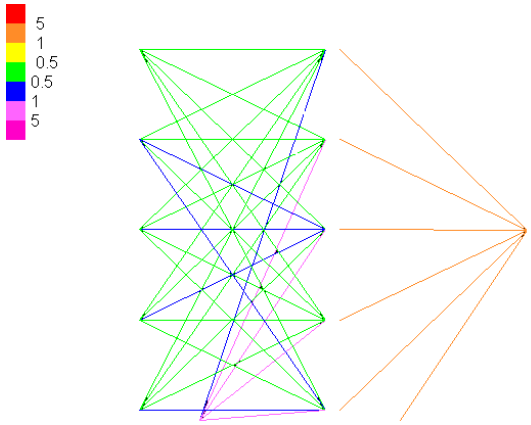
**В таблицата Epochs са брой обучителни итерации.*

В трениращия алгоритъм се получи с висока грешка само показателя за определяне на максималната грешка спрямо стъпката на изчисление, но тя предварително беше зададена висока.



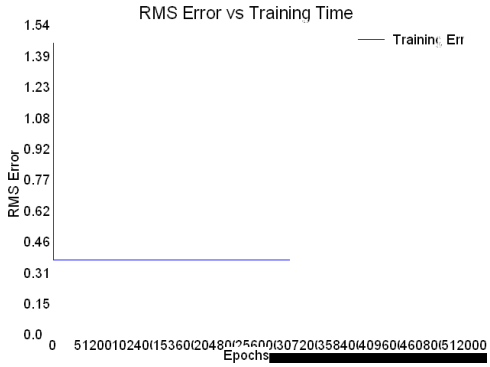
Фиг. 1 Изходни резултати от обучението на невронната мрежа

На фиг. 2 е визуализирана получената невронна мрежа. Цветът на връзките определя грешката и показва, че на изхода тя е в интервала 0—1.



Фиг. 2 Тегла на връзките на обучената невронна мрежа

На следващата фигура 3 е визуализирана промяната на средната грешка спрямо броят на обучаващите изчисления, наречени епохи. Тъй като не е получена промяна в стойността на грешката, се счете, че невронната мрежа е обучена.



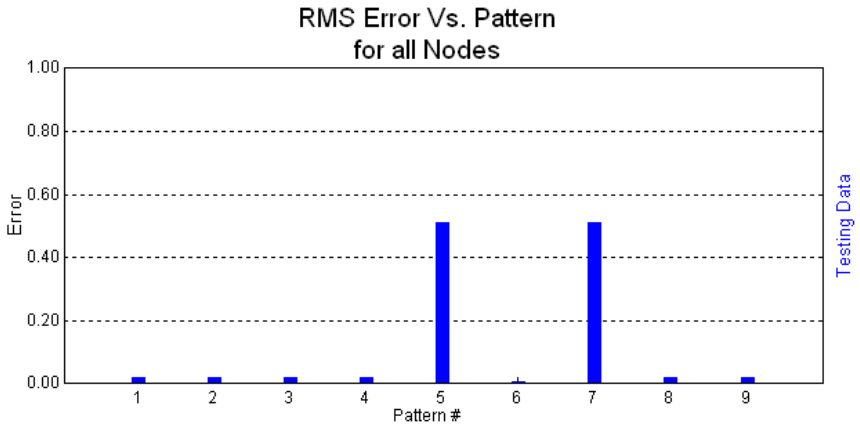
Фиг. 3 Изходни резултати за грешката от трениращия алгоритъм

При задаване на повече изчислителни итерации е възможно грешката да нарастне. За това за постигане на по-точно обучение са дадени среден брой изчислителни итерации (епохи), защото е известно, че в някои алгоритми за обучение с увеличаване на броя им, расте и грешката (Kissiova,2002).

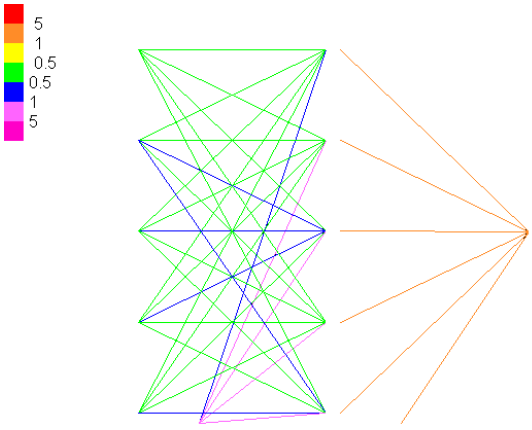
Обучената невронна мрежа се тества с данни, неизползвани при обучението. Резултатите от прилагането на тестващата програма са получаване на същите грешки при определяне на мощностите на новите двигатели Final_RMS_error 0.383008.

Естествено беше „генерализирана” и същата средна прогнозна грешка.

Направи се опит да бъдат премахнати данните от единия входен неврон. На същият възел при тестване беше отчетена висока грешка, или това е появата на грешка на позиция 5 в бар схемата. Данните са отразени и в оцветяването на връзките на невронната мрежа т.е. достоверността на получените данни намалява (Фиг. 4,5).



Фиг. 4 Изходни резултати от тестващия алгоритъм



Фиг. 5 Тегла на връзките от тестваната невронна мрежа

Изводи

Обучената невронна мрежа може да се използва за прогнозиране на приблизителната мощност на електрически двигател, но не може да се използва като сигурен математически модел. Необходимо е данните да се сравнят и с друг модел.

Определянето на мощността на електрически двигател, задвижващ голямо промишлено съоръжение е отговорна инженерна задача и се препоръчва паралелно с невронната мрежа да се използват стандартни алгоритми. Все пак невронната мрежа е сигурен индикатор за търсената приблизителна мощност.

При експериментите с невронната мрежа се установиха следните зависимости:

- с по-голяма грешка е възможно да се определи мощността на двигателя, дори при липса на данни на определен вход;
- грешката нараства при по-голям масив от данни;
- грешката нараства при по-слаба зависимост между отделните входове и изходи.

Във връзка с последния извод се реши да бъде обучена невронна мрежа, в която има повече на брой входни параметри, но с връзка между някои от тях, която ще е тема на следваща публикация

Литература

Ivanova Marusya
http://www.bam.bg/ravda2004/Ivanova_Marusya.htm

Kissiova Teodora, G. Radulov, E. Gegov, V. Christov“ Logical-probabilistic model for assessing the relationship between environmental pollution according to productivity and climatic condi@Ã Ã‰@ “GORUBSO ROF”, **Interenational Symposium “Ecology”, 2002**

Remus, W., O`Connor, M ., “Neural network time-series forecasting” in in Armstrong, J . (Ed.) “Principles of forecasting: a handbook for researchers and practitioners”, *Kluwer Academic Publishers* , 2001 , pp.246.

Zhang, P ., “Neural networks in business forecasting”, *Idea Group Inc.* , 2004, pp.3.

ГОДИШНИК на Минно-геоложкия университет "Св. Иван Рилски", Том 55, Св.III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, 2012
ANNUAL of the University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Vol. 55, Part III, Mechanization, electrification and automation in mines, 2012

ОПРЕДЕЛЯНЕ НА МОЩНОСТТА НА ДВИГАТЕЛИТЕ НА ЧЕЛЮСТНИ ТРОШАЧКИ С ПОМОЩТА НА НЕВРОННА МРЕЖА

Веселин Христов[1], Иван Минин[2], Теодора Христова[3]

[1] Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail: veso@mgu.bg
[2] Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail: minin@dir.bg
[3] Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail: teodora@mgu.bg

РЕЗЮМЕ: Обучена е невронна мрежа за определяне на мощността на двигателите, задвижващи челюстни трошачки. Дадени са предложения за възможностите на невронните мрежи за регулиране на производителността на трошачките в реално време.

DETERMINATION OF THE ENGINE POWER OF JAW CRUSHERS USING A NEURAL NETWORK

Veselin Christov[1], Ivan Minin[2], Teodora Hristova[3]

[1] University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail: veso@mgu.bg
[2] University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail: minin@dir.bg
[3] University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail: teodora@mgu.bg

ABSTRACT: A neural network is trained to determine the engine power of jaw crushers. Here are given some suggestions for the neural networks possibilities of productivity adjustment in real time.

Въведение в проблема.

Челюстните трошачки се използват за едро и средно трошене в процеса на обогатяване на минералните суровини. Тяхна задача е да разтрошават големите рудни късове и да ги подават за допълнително ситно трошене най-често на конусни трошачки. За осигуряване на ефективност на процеса е нужно рудните късове да достигнат определена големина. За постигане на това условие е важно точното определяне и регулиране на изходния отвор на трошачката, точно изчисление на мощността на електрическия задвижващ двигател и възможност за регулиране на праматетрите му според промяна на условията на работа.

Мощността изразходвана от двигателите на челюстните трошачки за трошене на рудни късове е право пропорционална на производителността им. Средната изразходвана мощност е от 60 до 80% спрямо инсталираната.

Челюстните трошачки за едро и средно трошене се задвижват с асинхронни електрически двигатели, мощността на които се определя от заводите производители за всеки типоразмер, като тя надвишава значително получената посредством традиционните алгоритми за изчисляване.

При експлоатация на челюстните трошачки понякога се налага регулиране на оборотите на двигателите, а оттам се променя и необходимата мощност. Тези регулировки, реализирани чрез инверторно управление, са в малък диапазон, но спазвайки изискванията за ефективно потребяване на енергията спрямо тенденциите за устойчиво развитие, тези настройки трябва да се изпълняват стриктно.

За постигане на оптимален режим на работа е необходимо следене онлайн на техническото състояние на трошачката и параметрите на рудата и според тях да се регулират оборотите на двигателите. За решаване на изброените проблеми се взе решение да бъде обучена невронна мрежа, чрез която да се определя по-точно мощността на електродвигателите на челюстните трошачки. Чрез използването на обучени невронни мрежи е възможно при подаванена променени входни параметри, мрежите да се самообучават и да генерират нови изходни данни, което свойство може да е използва за регулиране на производителността на мелницата или оборотите на задвижващия двигател.

Решение на проблема чрез използване на невронни мрежи

Невронната мрежа е математическа програма, съставена от взаимно свързани прости изчислителни елементи (неврони). Двете най-съществени характеристики на невронните мрежи са: способност да се "учат" и способност да „генерализират". След обучаване на невронната мрежа по съответен математически алгоритъм се въвежда нов масив от неизползвани за обучението данни и обучената система генерализира нови изходи [Иванова, М, 2004].

Невронна мрежа Qwik Net 2.23.

Невронните мрежи се използват при решаване на предиктивни проблеми, какъвто в случая се оказва и задачата за определяне на мощността на електрическия двигател [Христова, Минин, 2012]. Невронните мрежи могат да се използват и за онлайн настройка на управляваните обекти, каквато в случая се явява регулирането на оборотите на електрическите двигатели. За обучението на невронна мрежа за определяне на мощността на електрически двигатели, задвижващи челюстни трошачки, е избрана универсална невронна мрежа Qwik Net 2.23, в чийто масив могат да се използват няколко вида обучаващи алгоритъма.

Обучавана е невронна мрежа съставена от три слоя – входен слой с три възела, един вътрешен с пет възела и един изходен възел. Входове представляват геометричните параметри на трошачките: – дължина a на приемния отвор, m; широчина на приемния отвор,m; широчина на изпускателния отвор, m, а изходът: – мощност на двигателя, kW. Изследвани са няколко трениращи алгоритъма **R propagation**, **Quick propagation**, **Delta-bar-delta** и **Back propagation**. Проблем при обучението на невронната мрежа се оказва малкият брой обучителни данни и малкият брой входове. Поради тази причина най-ниска грешка дадоха алгоритмите за обучение **Delta-bar-delta и Back propagation**, докато при най-често използваните алгоритми с право разпространение на грешката беше обучена мрежа, но тя генерализира изходи с висока грешка. При тестване на работата на получената невронна мрежа се получи висока грешка и беше необходимо да се търси друг тип мрежа за обучение.

Невронна мрежа в Statistica 7.

Една от основните трудности при анализ на данни с невронни мрежи е подбора на вида мрежа и нейните характеристики, които са най-подходящи за конкретния анализ на данните, с които разполагаме.

Системата Statistica 7 на фирата StatSoft Inc. притежава модул Neural Network за анализ на данни чрез невронни мрежи. В този модул е вграден инструмента Intelligent Problem Solver (IPS), който позволява на изследователя да даде основни параметри на 5 вида невронни мрежи и да ги изпробва върху своите данни. По време на изпробването IPS обучава десетки разновидности от избраните видове мрежи и накрая дава няколкото с най-подходящи показатели.

В настоящия анализ са взети характеристиките на 37 челюстни трошачки от различни марки и производители Целта е с тези данни да се намери и обучи регресионна невронна мрежа, която по зададени на нейния вход параметри:

- L – дължина на приемния отвор на трошачката, m;
- B – широчина на приемния отвор на трошачката, m;
- b – – широчина на изпускателния отвор на трошачката, m;

да определя инсталираната мощност P, kW на двигателя на машината.

За да се извърши анализа в IPS се задават следните видове невронни мрежи:

- Многослоен персептрон. (Muli-Layer Perceptron – MLP). Той има един, два или повече скрити слоеве. В нашия случай се изпробват с един и с два скрити слоя. Входът към възлите, различни от входните е притеглена сума от изходите на невроните от предния слой, а активираща функция може да е нелинейна функция, най-често сигмоид. Използва се главно обучение с обратно разпространение, но също спрегнато градиентно спускане, квази-нютонов метод и др.
- Мрежи с радиални базисни функции (Radial Base Function - RBF). Това е трислойна мрежа с разпространение напред, в която невроните от скрития среден слой са радиални, а невроните от изходния слой са с псевдо-линейна активираща функция. Активиращата функция на радиалния неврон се нарича радиална базисна функция и зависи от разстоянието на входния сигнал до точка определена като централна точка на неврона. Най-често се избира Гаусова функция. Обучението на мрежата включва два етапа: намиране на оптимални централни точки за радиалните неврони и обучение на невроните от изходния слой. Обучаващи методи са: методи на подизвадките и на k – средното.
- Обобщени регресионни невронни мрежи (Generalized Regression Neural Network – GRNN). Те са модификация на вероятностните невронни мрежи. Основните им характеристики са: мрежа с два скрити слоя, с разпространение напред. Първият слой е с радиални неврони. Препоръчва се броят им да е равен на обучаващите данни, което е трудно постижимо при голям брой данни. Вторият скрит слой се състои от неврони, които са с един в повече от изходните. Задачата им е да изчислят претеглено средно от сигналите на невроните от предния слой и да го дадат на невроните от изходния слой. Обучението на този вид мрежи е сходно с това на тези с радиални базисни функции. Те работят по-бавно и изискват повече памет.

Резултати от обучаването на невронната мрежа

Данните за 37 челюстни трошачки се разделят по случаен начин на извадка от 27 записа за обучение и 10 записа за тестване на търсените мрежи. В резултат от работата на IPS са намерени като най-подходящи два многослойни персептрона (MLP) с по два скрити слоя и две невронни мрежи с радиални базисни функции, (RBF) дадени в Таблица 1.

Таблица 1.
Намерени чрез IPS невронни мрежи

Profile	Train Error	Test Error	Training/Members	Inputs	Hidden(1)	Hidden(2)
MLP 3:3-9-5-1:1	0.009661	0.252019	BP100,CG20,CG95b	3	9	5
MLP 3:3-9-7-1:1	0.008696	0.193466	BP100,CG20,CG13b	3	9	7
RBF 3:3-13-1:1	0.000529	0.009997	KM,KN,PI	3	13	0
RBF 3:3-15-1:1	0.000318	0.001709	KM,KN,PI	3	15	0

Използвани са следните методи на обучение и самообучение: BP – обучение с обратно разпространение (Back Propagation), KM – K средно (K Mean), CG – спрегнато градиентно спускане (Conjugate Gradient Descent), KN – K-ти най-близък съсед (K-Nearest Neighbor) и PI – псевдо-инвертиране (Pseudo-Invert). В Таблица 2 са дадени коефициенти на корелация между мощностите на 37 челюстни трошачки и мощностите предсказани от четирите намерени от IPS мрежи.

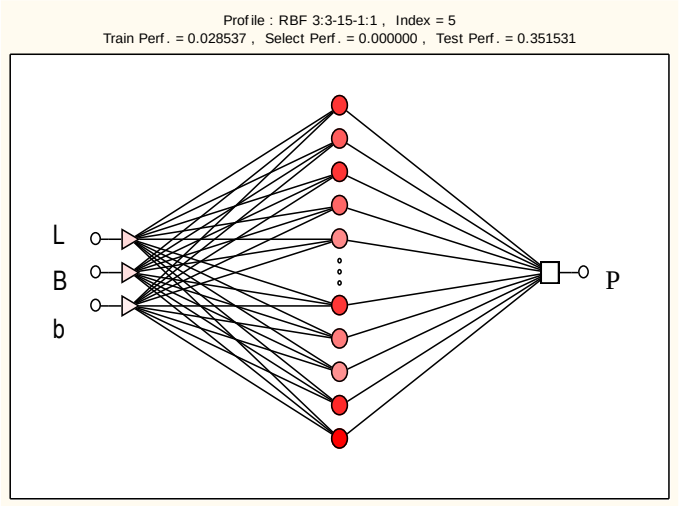
Таблица 2.
Коефициенти на корелация

MLP 3:3-9-5-1:1	MLP 3:3-9-7-1:1	RBF 3:3-13-1:1	RBF 3:3-15-1:1
0.82927	0.83539	0.90671	0.99574

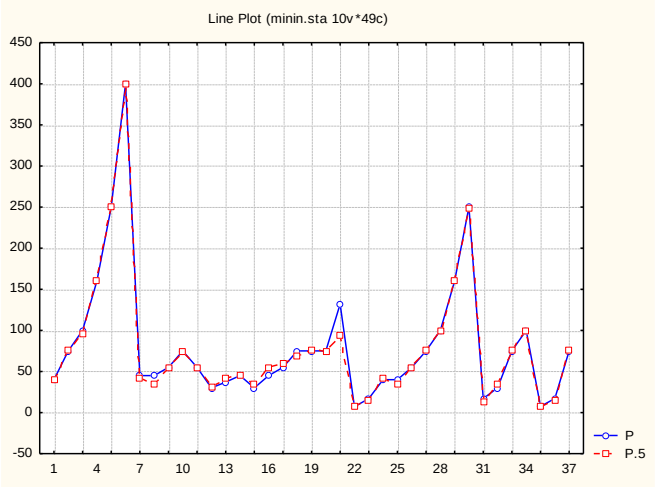
От двете таблици се вижда, че невронната мрежа с радиални базисни функции (RBF 3:3-15-1:1) с 15 неврона в скрития слой дава най-малки грешки при обучение и тестване и най-добър коефициент на корелация. На Фигура 1 е дадена нейната архитектура.

След като е намерена най-подходящата невронна мрежа, тя може да се използва за определяне с минимална грешка на изходната мощност на челюстните трошачки при различни стойности на входните параметри L, B и b в зададените в 37 данни диапазони. На Фигура 2 е показана сравнителна графика на мощността на 37 броя челюстните трошачки и предсказаната мощност от намерената мрежа.

Не е обучена невронна мрежа за определяне на оборотите на електрически двигател в процеса на експлоатация с цел промяна на поизводителността. Това ще е бъдеща задача за екипа



Фиг. 1. Архитектура на намерената чрез IPS невронна мрежа с радиални базисни функции



Фиг. 2. Сравнителна графика на мощността P на 37 броя челюстните трошачки и предсказаната мощност P.5 от намерената мрежа

Изводи

След извършената работа по обучение на невронната мрежа, могат да бъдат направени следните изводи:

1. За точното обучение на невронна мрежа трябва да има достатъчно на брой входни данни. Известно е, че и прекалено големият масив входни данни води до повишаване на грешката [Кисьова, Г. Радулов, 2002].
2. Тестовете трябва да се провеждат не само с един входен параметър.
3. Обучената невронна мрежа може да се използва за прогнозиране на приблизителната мощност на електрически двигател, но не може да се използва като сигурен математически модел. Необходимо е данните да се сравнят и с друг модел.
4. Определянето на мощността на електрически двигател, задвижващ голямо промишлено съоръжение е отговорна инженерна задача и се препоръчва паралелно с невронната мрежа да се използват стандартни алгоритми. Все пак невронната мрежа е сигурен индикатор за търсената приблизителна мощност.
5. Чрез обучаване на невронна мрежа могат в процеса на работа да се променят настройките на обслужваното съоръжение, каквато в случая би било регулирането на оборотите на асинхронен двигател.

Литература

Иванова, М.
http://www.bam.bg/ravda2004/Ivanova_Marusya.htm

Кисьова, Т., Г. Радулов, Е. Гегов, В. Христов. 2002. “Logical-probabilistic model for assessing the relationship between environmental pollution according to productivity and climatic conditions in “GORUBSO ROF”, International Symposium “Ecology”.

Христова, Т., И. Минин. 2012. Определяне на мощността на двигателите на барабанните мелници чрез невронна мрежа с независими входни параметри, София.

ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ДИАМЕТЪРА НА КРЪГОВАТА РЕЛСА ПРИ ОПОРНО-ВЪРТЯЩИ УСТРОЙСТВА С РОЛКИ

Христо Шейретов

Минно-геоложки университет „Св.Иван Рилски", 1700 София, sheiretov@abv.bg

РЕЗЮМЕ. Направени са изчисления на диаметъра на кръговата релса на въртящ се грайферен кран при използуване на две методики: първата по условието за устойчивост на въртящата се част и втората по условието за минимално натоварване на ролките. Направено е сравнение на получените резултати по двете методики.
Направен е извода, че определящо условие за определяне на необходимия диаметър на кръговата релса е второто, т.е. да няма ролки, които са натоварени с обратни сили и да се стремят да се отделят от релсата. При малък брой ролки (n_o=20) резултатите по двете методики са еднакви. При по-голям брой на ролките по втората методика се получава по-голям необходим диаметър.
Получените резултати и направените изводи могат де се използуват и при еднокофовите багери.

DETERMINATION OF YHE DIAMETER OF THE CURCULDR RAUL OF ROLLER SLEWUNG DEVICE

Hristo Sheiretov
University of Mining and Geology "St.Ivan Rilski" Sofia, sheiretov@abv.bg

ABSTRACT. The diameter of the circular rail is determined for a slewing grab crane. Two methodologies are used: the first is based on the condition for the stability of the slewing platform and the second – on the condition for the minimum loading of the rollers. The results of the calculations of the two methodologies are compared.
A conclusion is made that the determining condition is the second, i.e. there must be no rollers, loaded with opposite forces, which tend to set apart from the rail. If the number of the rollers is small (n_o=20) the results of the calculations are almost equal. But if the number of the rollers is greater, the calculated diameter when using the second methodology is greater.
The results of the calculations and the conclusions can be used for excavators also.

Увод

Опорно-въртящите се устройства с ролки се използуват при багерите и въртящите се кранове. Състоят се от конични или цилиндрични ролки контактуващи с две кръгови релси монтирани на въртящата се платформа и ходовата част на машината. Ролките са свързани чрез лостове към централна цапфа или са лагерувани към сепараторен обръч (Гохберг, 1988).

В настоящата статия ще разгледаме конкретен пример на въртящ се грайферен пристанищен кран, който прехвърля насипния материал от шлепа върху лентов транспортьор (Trumper, 2010).

Определяне на диаметъра на кръговата релса по условието за устойчивост на въртящата се част

Условието за устойчивост е (Тросколянски, 1957):

$$\frac{M_{уст}}{M_{обр}} \geq 1{,}3 \qquad (1)$$

където:
$M_{уст}$ – установяващ момент на силите действуващи върху въртящата се част спрямо т.*A*;
$M_{обр}$ – обръщателен момент на силите действуващи върху въртящата се част спрямо т.*A*.

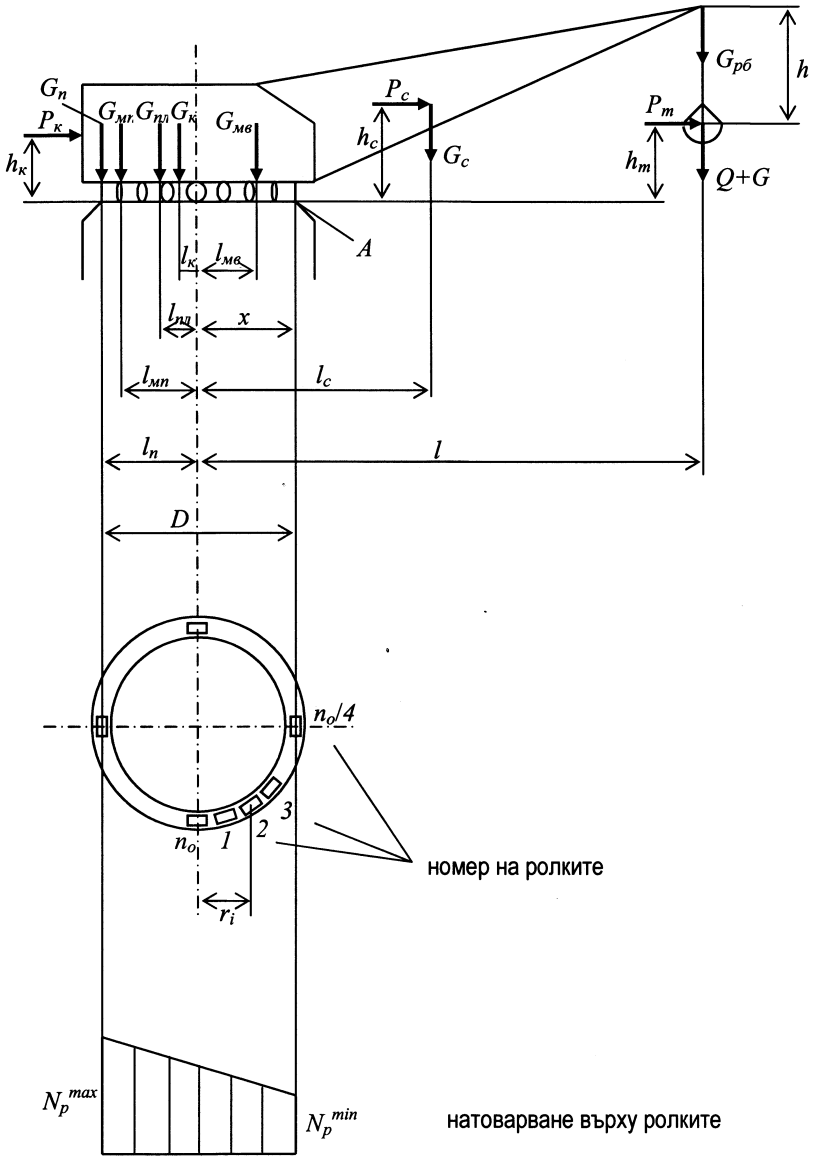
Преди да определим диаметъра на кръговата релса трябва да се определи големината на противотежестта. Тя се определя от условието равнодействуващата от вертикалните сили при натоварен и ненатоварен кран (фиг.1) да се намира на едно и също разстояние от оста на въртене, т.е.:

$$\frac{\left(Q+G+G_{рб}\right)l+G_c.l_c+G_{мв}-}{Q+G+G_{рб}+G_c+G_{мв}+G_к+G_{пл}+G_{мп}+G_п}$$

$$\frac{-G_к.l_к-G_{пл}.l_{пл}-G_{мп}-G_п.l_п}{} =$$

$$= \frac{G_к l_к+G_{пл}.l_{пл}+G_{мп}.l_{мп}+G_п.l_п-}{G_к+G_{пл}+G_{мп}+G_п+G_{мв}+G_c+G+G_{рб}}$$

$$\frac{-\left(G+G_{рб}\right)l-G_c.l_c-G_{мв}.l_{мв}}{}$$, където:



Фиг.1 Схема за определяне на диаметъра на ролково опорно-въртящо устройство

Q, G, $G_{рб}$, G_c, $G_{мв}$, $G_к$, $G_{пл}$, $G_{мп}$, $G_п$ – сили на тежестта на товара, подвижния ролков блок, неподвижния ролков блок, стрелата, механизма за въртене, кабината, платформата, механизма за подем и противотежестта;
l, l_c, $l_{мв}$, $l_к$, $l_{пл}$, $l_{мп}$, $l_п$ – рамена на съответните сили до оста на въртене.

При зададени Q=30kN, G=1kN, $G_{рб}$=1kN, G_c=25kN, $G_{мв}$=9kN, $G_к$=30kN, $G_{пл}$=21kN, $G_{мп}$=18kN, l=12m, l_c=6,2m, $l_{мв}$=1m, $l_к$=0,1m, $l_{пл}$=0,6m, $l_{мп}$=1,6m и $l_п$=2,8m се получава:

$$G_п^2 + 2{,}54.G_п - 1311270 = 0$$

$G_п$=113 kN. Приемаме $G_п$=120 kN.

$$M_{уст} = G_п.(l_п + x) + G_{пм}.(l_{пм} + x) + G_{пл}.(l_{пл} + x) + G_к.(l_к + x) + G_{мв}.(x - l_{мв}) = 366 + 198.x$$

$$M_{обр} = (Q + G + G_{рб})(l - x) + G_c.(l - x) + P_m.h_m + P_c.h_c + P_к.h_к + M_{ин}$$

където: x-разстояние от т.A до оста на въртене;
P_m, P_c, $P_к$ – сили от вятъра върху товара, стрелата и кабината;
h_m, h_c, $h_к$ – рамена на силите от вятъра спрямо равнината, където е разположен крана;
$M_{ин}$ – инерционен момент от въртенето на крана.

$P_m = S_m.k_з.k_\alpha.p = 2{,}3.1.1{,}2.30 = 0{,}83$ kN

$P_c = S_c.k_з.k_\alpha.p = 25.0{,}4.1{,}2.30 = 4{,}8$ kN

$P_к = S_к.k_з.k_\alpha.p = 7{,}5.1.1{,}2.30 = 2{,}7$ kN

S_m, S_c, $S_к$ – обветрени площи на товара, стрелата и кабината;
$k_з$ – коефициент на запълване на сечението;
k_α – коефициент на аеродинамичност;
p=30kN/m^2 – налягане на вятъра.

$$M_{ин} = (Q+G).\frac{l.\omega^2}{g - h.\omega^2}.h_m +$$

$$+\frac{\omega^2}{g}.(G_{рб}.l.h_m + G_c.l_c.h_c - G_n.l_n.h_к)$$

$$\omega.\frac{\pi.n}{30}$$

При h_m=10,5m, h_c=7m, $h_к$=2m и n=2min^{-1} се получава:

ω = 0,21 rad/s; $M_{ин}$ = 20,6 kN.m
$M_{обр}$ = 609 – 57.x

Тогава:

$$\frac{366 + 198.x}{609 - 57.x} \geq 1{,}3 \qquad x \geq 1{,}56 \text{ m}$$

Приемаме x=1,6m.
За диаметъра на кръговата релса се получава:

$$D = 2.x = 3{,}2 \text{ m}$$

Определяне на диаметъра на кръговата релса по условието за минимално натоварване върху ролките

Минималното натоварване върху ролките (фиг.1) трябва да е по-голямо или равно на нула (Гохберг, 1988), т.е.:

$$N_p^{\min} = \frac{V}{n_o} - \frac{M.D}{2.\sum_{i=1}^{n_o} r_i^2} \geq 0 \qquad (2)$$

където:
V – сума от вертикалните сили;
по – брой на ролките;
M – резултантен момент на всички сили спрямо оста на въртене;
n – разстояния между центровете на ролките и оста на въртене.

Ако $N_p^{\min}<0$, тогава задните ролки ще бъдат натоварени с обратна по посока сили и ролките ще се стремят да се отделят от долната кръгова релса.

Неравенството (2) може да се преобразува във вида:

$$D \leq \frac{2.V.\sum_{i=1}^{n} r_i^2}{M.n_o} \qquad (3)$$

Като използуваме зависимостите:

$$r_i = \frac{D}{2}.\sin\left(\frac{360.i}{n_o}\right) \quad \text{и} \quad \sum_{i=1}^{n_o} r_i^2 = 4.\sum_{i=1}^{\frac{n_o}{4}} r_i^2$$

се получава окончателно:

$$D \geq \frac{M.n_o}{2.V}.\frac{1}{\sum_{i=1}^{\frac{n_o}{4}}\left(\sin\frac{360.i}{n_o}\right)^2} \qquad (4)$$

За конкретния пример определяме стойностите на величините V и M:

$$V = Q + G + G_{рб} + G_c + G_{мв} + G_к + G_{пл} +$$
$$+G_{пм} + G_n = 255 \text{ kN}$$

$$M = (Q + G + G_{рб}).l + G_c.l_c + G_{мв}.l_{мв} - G_к.l_к -$$
$$- G_{пл}.l_{пл} - G_{пм}.l_{пм} - G_n.l_n + P_c.h_c + P_к.h_к + M_{ин} +$$
$$P_m.h_m = 243 \text{ kN}$$

Направени са изчисления за диаметъра на кръговата релса по формула (4) при различен брой на ролките n_o. Резултатите са дадени в долната таблица:

n_o	20	36	44	84
D [m]	3,19	3,44	3,51	3,66

Изводи

От направените изчисления по двете методики се вижда, че определяща е втората методика. При брой на ролките n_o=20 се получават еднакви стойности за диаметъра на кръговата релса, но при по-голям брой на ролките по втората методика се получава по-голям необходим диаметър.

Литература

Гохберг, М.М. 1988. *Справочник по кранам ,* Машиностроение, 559 с.

Тросколянски, А.Т. 1957. *Подемно-транспортни съоръжения*. Наука и изкуство. София, 669 с.

Trumper, R.M., Walpers, F.M..5/2010. New coal hanfling facility for a coke oven plant. *Bulk Solids Handling*, 46-48