

КОНТРОЛ НА ИЗОЛАЦИОННОТО СЪПРОТИВЛЕНИЕ НА ПОСТОЯННОТОКОВАТА МРЕЖА В ЕЛЕКТРОЛИЗНИ ЦЕХОВЕ

Кирил Джустров

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

Драголюб Костов

Минно-геоложки университет
"Св. Иван Рилски"
София 1700, България
E-mail: drakost@hotmail.com

Менто Ментешев

"СМС - С" ЕООД
София 1164, България
ул. Криволак №8
E-mail: cmc_c@mail.orbitel.bg

РЕЗЮМЕ

Разглеждат се проблемите, свързани с ниското изолационно съпротивление в мрежите за постоянен ток в електролизни цехове. Направен е анализ на причините за ниското изолационно съпротивление в тези мрежи и произтичащите от това опасности за работещите, загуби на електроенергия и трудности при измерването.

Разработена е и е внедрена микропроцесорна система в електролизния цех на "Юмикор-мед", с която се отчитат утечните токове, загубите на мощност и енергия, напреженията спрямо земя и асиметрията между тях.

Електрическата енергия за електролизните вани се преобразува от многофазни /16/ изправители и се разпределя в електролизния цех с медни шини със сечение 10^4mm^2 . Напрежението достига нормално до 100 V, а тока – 10 000 A.

Шините са открити, монтирани върху подпорни изолатори, подложени на агресивната атмосфера и на прякото въздействие от попаднал електролит (H_2SO_4). Това обстоятелство, съчетано с проблемите на изолацията на самите вани спрямо земя, определят и значителните по големина утечни токове. Експериментално бе определено, че при еднополюсно директно к.с., токът на утечка достига до 240A. Нормално изолационното съпротивление спрямо земя варира в границите 10^{-1} до $10^2 \Omega$, които са извън обхвата на широко използваните апарати за контрол на изолационното съпротивление. Промяната на изолационното съпротивление във функция от времето е доста динамична.

Съществуващата асиметрията в напреженията спрямо земя се определя от асиметрията на съответните изолационни съпротивления спрямо земя:

$$A = \left| \frac{U^+ - U^-}{U^+ + U^-} \right| \cdot 100, \% \quad (1)$$

Трябва да се подчертае, че асиметрията А носи информация за разликата в изолационните съпротивления R^- и R^+ , но не и за техните абсолютни стойности, които лимитират тока на утечка.

$$I_y = \frac{U}{R^+ + R^-} = \frac{U^+ + U^-}{R^+ + R^-} \quad (2)$$

Цитираните експериментално определени стойности на изолационните съпротивления и лимитираните от тях утечни токове към земя създават проблеми в два аспекта:

- Опасност за обслужващия персонал при еднополюсен допир;
- Значителни загуби на ел. енергия, която не е свързана пряко с електролизния процес;

Количествена оценка на тези два проблема може да се направи по схемата на фиг. 1

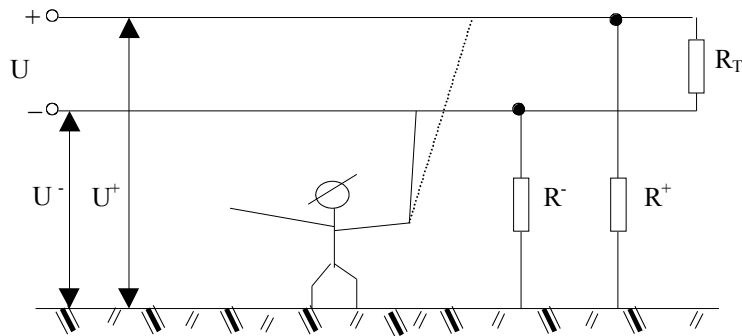
Опасностите за обслужващия персонал са свързани със реално съществуващата възможност за еднополюсен директен допир – чрез докосване на тоководещите шини.

1. Напрежението на допир към шина "+" е:

$$U_h^+ = \frac{R_h \cdot R^+ \cdot U}{R^+ \cdot R_h + R^- \cdot (R^+ + R_h)} \quad (3)$$

а при докосване на шина "-", човекът попада под напрежение:

$$U_h^- = \frac{R_h \cdot R^- \cdot U}{R^- \cdot R_h + R^+ \cdot (R^- + R_h)} \quad (4)$$



фигура 1

Максималните допирни напрежения се получават както следва:

- При допир към шина “+” и $R^- \approx 0$;
 $U_h = U$
- При допир към шина “-” и $R^+ \approx 0$;
 $U_h = U$

По тези съображения и в съответствие с чл. I-7-36(1) на Правилника за устройство на електрическите уредби (ПУЕУ), органите за контрол на безопасните условия на труд са предписали максимално напрежение до 100 V.

На практика захранващото напрежение рядко достига посочената стойност, тъй като се определя от броя на работещите вани, но съществува възможност това напрежение да бъде надвишено, което означава, че при еднополюсен директен допир и директно земно съединение на другите шини са налице реални опасности за човека. Естествено тази рискова ситуация съществува с много малка вероятност, но не е изключена.

Имайки в предвид условията за работа в електролизните цехове, по-правилно е да се приеме разпоредбата в чл. I-7-37 на ПУЕУ, който лимитира максимално допустимо допирно постоянно напрежение до 50V. Това условие на практика се спазва и при захранващо напрежение 100V, но само при липса на асиметрия в изолационната проводимост към земя. На практика това е трудно осъществимо. В този смисъл е необходимо да се контролират както токовете утечки, така и напрежението спрямо земя. Тъй като от технологични съображения защитното изключване е недопустимо, задължително е обслужващия персонал да вземе мерки по отношение на изолационните съпротивления към земя за намаляване на асиметрията в такава степен, че напрежението към земя на всяка от шините да не надвишава 50V.

Вторият аспект е свързан със загубите на енергия от утечните токове, които са със паразитен характер. От схемата на фиг.1 не е трудно да се определи израза за тока на утечка:

$$I_y = \frac{U}{R^+ + R^-} \quad (5)$$

и за мощността

$$P_y = \frac{U^2}{R^+ + R^-} \quad (6)$$

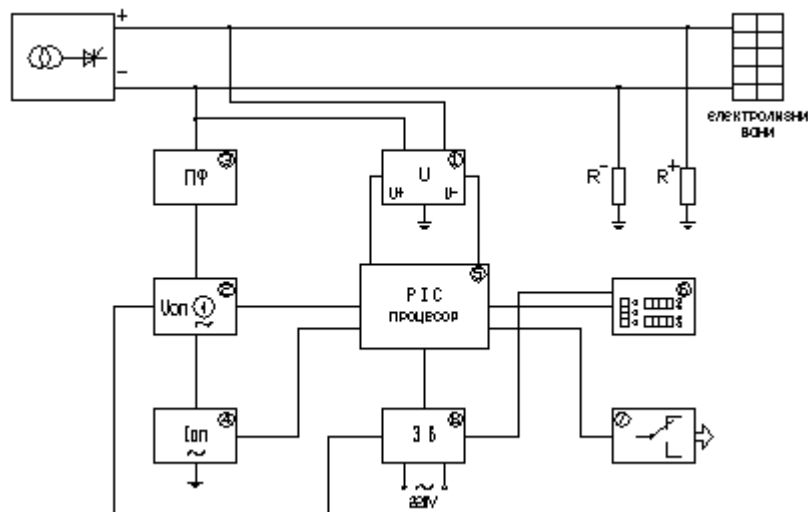
При минимално измерените изолационни съпротивления от порядъка $10^{-1}\Omega$, които реално могат да съществуват, загубата на мощност, изчислена по (6) е от порядъка 10^2kW . А при съпротивление на изолацията $10^2\Omega$, измерено като характерно , мощността на тока на утечка е от порядъка на няколко kW. Поради непрекъснатия характер на технологичния процес, годишната загуба на ел. енергия е в границите от $8,6 \cdot 10^3$ до $8,6 \cdot 10^5 \text{ kWh}$ т. е. от 0,2 до няколко % от енергията, консумирана за осъществяване на технологичния процес.

Изтъкнатите проблеми определиха и полезността от разработване на ел. апарат, който да контролира токовете на утечки и да насочва вниманието към мерки за подравняване на изолационно съпротивление, с което както се ограничават вероятността за опасен еднополюсен допир, така и се намаляват загубите на ел. енергия.

Микропроцесорният апарат за измерване на токовете на утечка КТУ – М е предназначен да контролира и оценява условията за безопасна експлоатация и загубите на мощност и енергия, в резултат на намаленото изолационно съпротивление спрямо земя в мощни електрически мрежи за постоянен ток, предназначени примерно за захранване на електролизни вани в медодобивни заводи. Основните параметри на разработения апарат са:

1.Напрежение на мрежата	125 V
2.Ток на контролираната мрежа	12 kA
3.Оперативно напрежение	12 V
4.Честота на оперативното напрежение	50 Hz
5.Период на сканиране на индикациите	6 s
6.Периоди, отчитащи промените на измерваните величини:	
-За напреженията и тока (моментни стойности)	6 s
-За мощността от 10 измервания	1 min
-За енергията от 6 измервания	6 min
7.Захранващо напрежение	220 V
8.Напрежение на изходящите контакти :	

Структурната схема на апарата и начина на присъединяване към контролираната мрежа са показани на фиг. 2.



фигура 2

Основните съставни блокове на апарата са следните: Блок 1, който реализира измерване на напрежението на мрежата U и напреженията спрямо земя – на плюсовата шина “ $U+$ ” и на минусовата шина “ $U-$ ”. В блок 2 е източникът на оперативно променливо напрежение $U_{оп}$, присъединен към контролираната мрежа посредством филтъра 3. Оперативният ток $I_{оп}$, който е функция на проводимостта спрямо земя, се оценява в блока 4. Изчислителният и управляващ индикацията блок 5 е изграден на базата на PIC-процесор, един нов подход в тези апарати. В него постъпва информация за напрежението U , напреженията, спрямо земя $U+$ и $U-$, оперативното напрежение $U_{оп}$ и оперативният ток $I_{оп}$. Той управлява и блока за индикация 6, състоящ се от изнесени на лицеви панел два четириелементни цифрови дисплея, двуцветна диодна стълбица и разноцветни диоди, указващи измерваните във всеки момент величини от цифровите панели. Релейният блок 7 има изход от три превключващи контакти, които формират сигнали за нивото на токовете на утечка към централизирана информационната система. Захранващият блок 8, присъединен към мрежата 220V, осигурява стабилизирани напрежения за измервателните и изчислителните блокове.

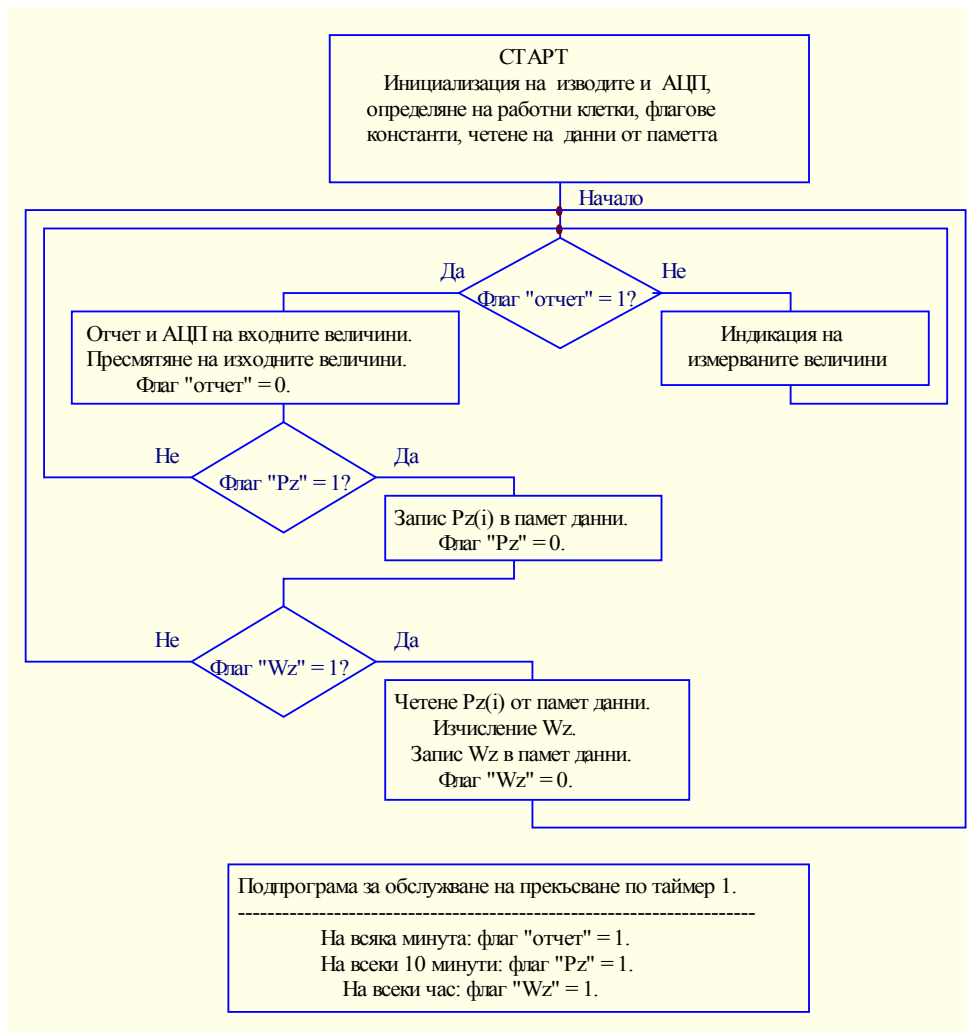
На базата на измерваните стойности на оперативното напрежение и оперативния ток се изчислява съпротивлението на изолацията. С въвеждане на напрежението на мрежата се определят тока на утечка и неговата мощност, а с отчитане и на времето – загубената енергия. Тези три величини се сканират периодично и се индикират на горния цифров панел. На фиг. 3 е показан алгоритъмът на процеса, овхващащ събирането на аналоговите данни, преобразуването им в цифрови, изчисление на изходните величини и индикацията им.

Критерий за електробезопасност на обслужващия персонал е големината на захранващото напрежение на шинната система. Последното се следи с двуцветна диодна стълбица: при напрежение до 120 V нивото се измерва със светещите в жълто диоди, а когато тази стойност се превиши, светят червени диоди, които предупреждават за достигнати опасни стойности на напрежението.

Предвидена е светлинна индикация за три нива на стойностите на тока на утечка: нормално – до 10 A, повишено – от 10 до 100 A и недопустимо – над 100 A. Тези нива количествено подлежат на корекция (чрез настройка) и са свързани преди всичко с нарастващите загуби на електрическа енергия от паразитните токове на утечка. Сигналите трябва да иницират съответни действия за повишаване на изолационното съпротивление спрямо земя: измиване и подсушаване на опорни изолатори за шините, отстраняване на течове от вани и др.

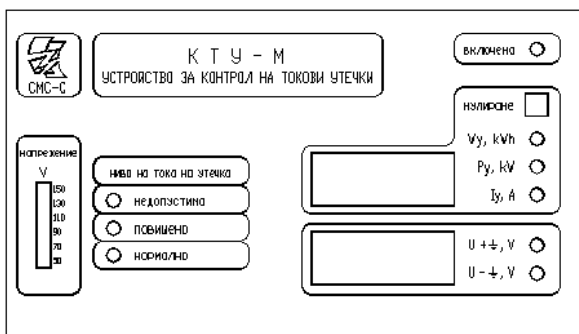
Отчитаната енергия като загуба от тока на утечка дава точна количествена представа за щетите, които се понасят от допълнителните разходи за ел. енергия, която няма нищо общо с реализацията на технологичния процес при добива на електролитна мед. Четириразрядният цифров индикатор позволява да се отчетат до 9999 kWh, което определя необходимостта от периодично нулиране на показанията. Това става автоматично или принудително с бутон за нулиране. Измерват се напреженията на шините спрямо земя и се изчислява асиметрията между тях в % (индикирани от долния цифров панел). Данните позволяват да се оцени асиметрията в проводимостта спрямо земя и да се идентифицира шината с по-голяма токова утечка, с което се насочват и действията за подобряване на изолационното съпротивление: при напрежение $U+ < U-$

по-голямата токова утечка е в шина "+", при $U_+ > U_-$ токовата утечка е по-голяма в шина "-".



фигура 3

На фиг. 4 е показан лицевия панел на апарата, надписите на който определят достатъчно пълно и точно функциите на показаните елементи. Асиметрията в напреженията спрямо земя се индикира с буква "А", предшестваща съответното число на долния цифров панел.



фигура 4

На фиг. 5 е показан външният вид на апарата, който се експериментира успешно в Юмикор мед - гр. Пирдоп.



фигура 5

Литература:

Анев Г., Ментешев М., 1987. Електробезопасност в минните предприятия (Основи на електробезопасването). София, Висш Минно-геоложки институт, 30-63.

Hofheinz, W., 1993. Protective Measures with Insulation Monitoring, Vde-verlag gmbh, Berlin, 147-149
Каталози на фирми: ABB, Bender, Shneider

Препоръчана за публикуване от
катедра "Електрификация на мините", МЕМФ

DC MAINS INSULATION RESISTANCE CONTROL IN ELECTROLYSIS SHOPS

Kiril Djustrov

University of Mining and Geology
 "St. Ivan Rilski"
 Sofia 1700, Bulgaria
 E-mail: justrov@mgu.bg

Dragolyub Kostov

University of Mining and geology
 "St. Ivan Rilski"
 Sofia 1700, Bulgaria
 E-mail drakost@hotmail.com

Mento Menteshv

CMC-C Ltd
 Sofia 1164, Bulgaria
 8 Krivolak St.
 E-mail cmc_c@mail.orbitel.bg

ABSTRACT

The paper discusses the problems related to the low insulation resistance in dc mains of electrolysis shops. An analysis is made of the reasons for the low insulation resistance in these mains, the resulting risks for the workers, electric energy losses and difficulties in measuring.

A microprocessor system has been developed and implemented in the electrolysis shop at Umicor Med, which computes the leakage currents, power and energy losses, voltages to ground and the asymmetry between them.

The electric energy supplied to electrolysis baths is converted from multiphase rectifiers (16) and distributed in the electrolysis shop by copper bus bars having a 10^4 mm^2 cross-section. The voltage normally reaches up to 100 V and the current – 10 000 A.

The bus bars are opened and mounted on pedestal insulators exposed to aggressive atmosphere and the direct attack of an existing electrolyte (H_2SO_4). This situation, combined with the insulation problems of the baths themselves to ground, determine the considerably high leakage currents. It was experimentally found that at a single-pole direct short circuit the leakage current reaches up to 240A. Normally the insulation resistance to ground varies within $10^{-1} - 10^2 \Omega$, beyond the range of the widely used insulation resistance control devices [1, 2]. The change in the insulation resistance as a function of time is rather dynamic.

The existing asymmetry in the voltages to ground is determined by the asymmetry of the corresponding insulation resistances to ground:

$$A = \left| \frac{U^+ - U^-}{U^+ + U^-} \right| \cdot 100, \% \quad (1)$$

It should be noted that the asymmetry A carries information about the difference in the insulation resistance values R^- and R^+ , and not about their absolute values that limit the leakage current.

$$I_y = \frac{U}{R^+ + R^-} = \frac{U^+ + U^-}{R^+ + R^-} \quad (2)$$

The above-mentioned experimentally determined insulation resistance values and the leakage currents to ground that they limit create problems in relation to two aspects:

- Risks for the service personnel in case of a single-pole contact;
- Considerable losses of electric energy not related directly to the electrolysis process;

A quantitative assessment of these two problems can be made by using the diagram in Fig. 1.

The risks for the service personnel are related to the actually existing possibility for a single-pole contact – in contact with the current-conducting bus bars.

1. The bus-bar contact voltage "+" is:

$$U_h^+ = \frac{R_h \cdot R^+ \cdot U}{R^+ \cdot R_h + R^- \cdot (R^+ + R_h)} \quad (3)$$

- In contact with bus-bar "-" one gets energized:

$$U_h^- = \frac{R_h \cdot R^- \cdot U}{R^- \cdot R_h + R^+ \cdot (R^- + R_h)} \quad (4)$$

The maximum contact voltages are obtained as follows:

- In contact with bus-bar "+" and $R^- \approx 0$;

$$U_h = U$$

- In contact with bus-bar "-" and $R^+ \approx 0$;

$$U_h = U$$

For these reasons and in compliance with Art. 1-7-36(1) of the Regulation for Electrical Systems Design (RESO), the labor safety control authorities have recommended a maximum voltage up to 100 V.

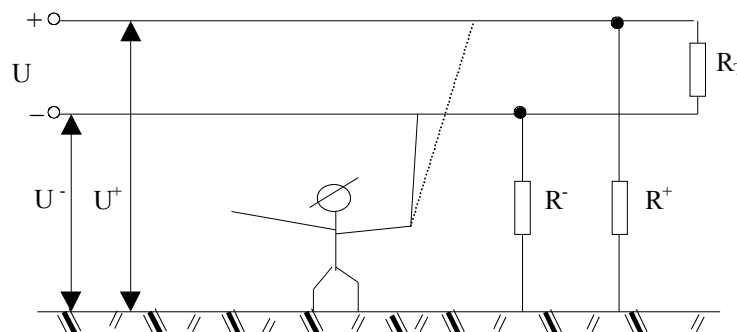


Figure 1

The supply voltage rarely reaches this value in practice since it is determined by the number of operating baths but this voltage may be exceeded thus creating real risks for humans in case of a single-pole direct contact and direct ground fault of the other bus bars. This risk situation has a very low probability but cannot be completely excluded.

Having in mind the working conditions in the electrolysis shops, it is more reasonable to adopt Art. 1-7-37 of RESD, which limits the maximum allowable contact dc voltage to 50V. This limitation is practically observed with supply voltage of 100V but only in the absence of asymmetry in the insulation conductivity to ground. This is difficult to realize in practice. In this sense, it is necessary to control both the current leaks and the voltage to ground. Since the protection switch-off is unallowable due to technological reasons, the service personnel are obliged to undertake measures with respect to the insulation resistance to ground in order to reduce the asymmetry to an extent not permitting the voltage to ground of each bus-bar to exceed 50V.

The second aspect is related to electric energy losses from leakage currents, which have a parasitic nature. From the diagram in Fig. 1 it is easy to determine the leakage current expression:

$$I_y = \frac{U}{R^+ + R^-} \quad (5)$$

and the power expression:

$$P_y = \frac{U^2}{R^+ + R^-} \quad (6)$$

At the minimum measured insulation resistance values of the order of $10^{-1}\Omega$, which can really occur, the power loss, calculated by (6) is of the order of 10^2kW . And at insulation resistance of $10^2\Omega$, measured as characteristic, the leakage current power is of the order of several kW.

Due to the continuous nature of the technological process, the annual electric energy loss is within the range of 8.6×10^3 to

8.6×10^5 kWh, i.e. from 0.2 to several % of the energy consumed to perform the process.

The problems described above determined the need for developing an electrical device that can control the leakage currents and direct the attention to undertaking measures to equalize an insulation resistance value that can be used to limit the probability of a hazardous single-pole contact and reduce the electric energy losses.

The microprocessor device for measuring leakage currents KTU-M is designed to control and assess the conditions for safe operation and power and energy losses resulting from reduced insulation resistance to ground in powerful electric dc mains intended, for example, to supply electrolysis baths in copper refineries. The basic parameters of the designed apparatus are:

1. Mains voltage	125 V
2. Controlled mains current	12 kA
3. Control voltage	12 V
4. Control voltage frequency	50 Hz
5. Period of scanning the indications	6s
6. Periods accounting for the changes in the measured values:	
- For the voltages and the current (moment values) -	6 s
- For the power from 10 measurements -	1 min
- For the energy from 6 measurements -	6 min
7. Supply voltage	220 V
8. Output contact voltage :	
- 30 V dc	
- 120V ac	
9. Output contact current	1 A

The block diagram of the device and the manner of connection to the controlled mains are shown in Fig. 2.

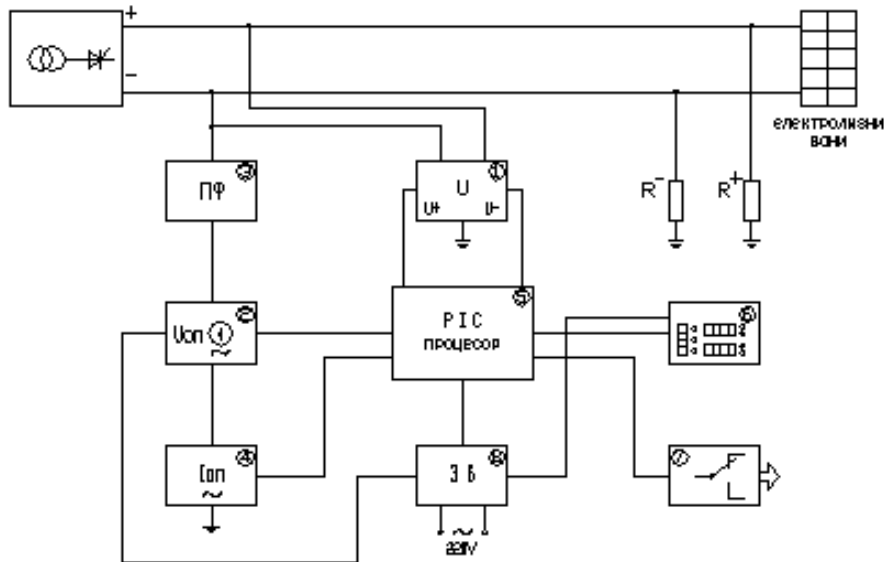


Figure 2

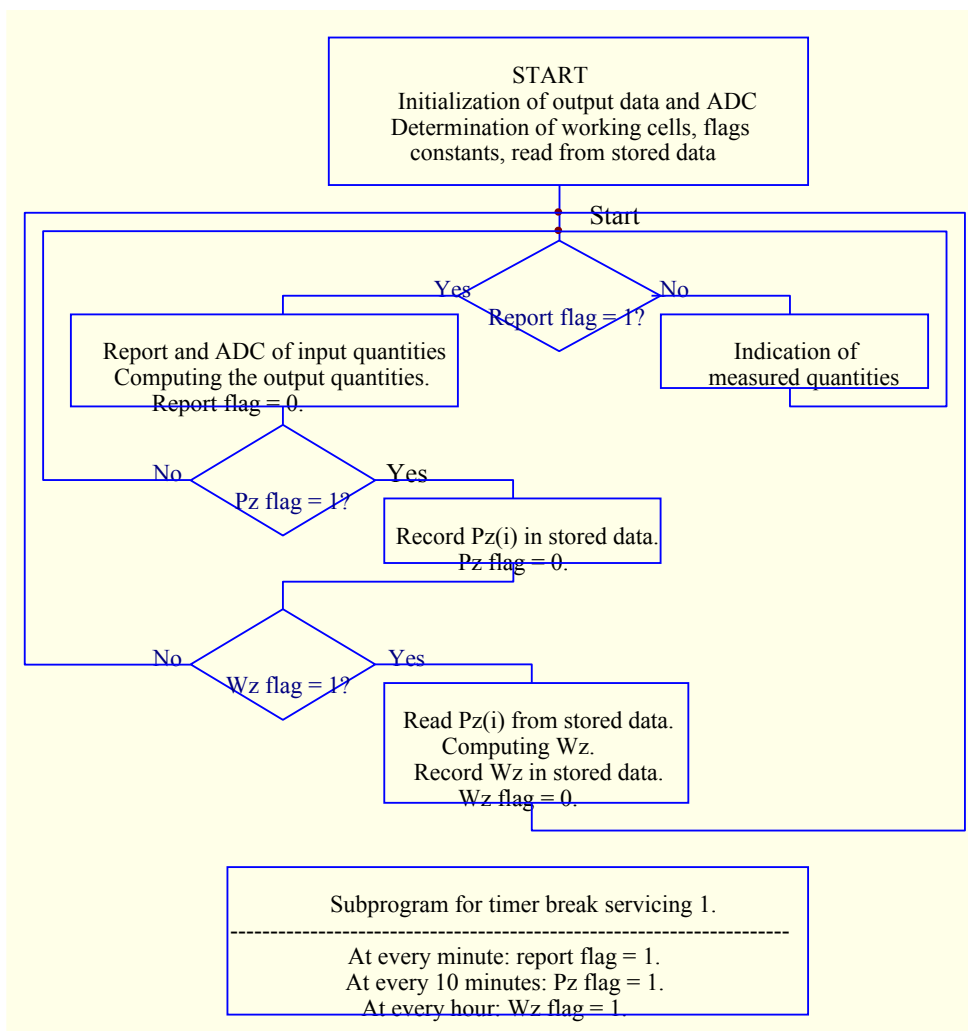


Figure 3

The basic constituent units of the apparatus are the following: Unit 1 carries out measurements of the mains voltage U and voltages to ground – of the plus bus bar “U +”

and of the minus bus bar “U –”. Unit 2 contains the ac control voltage source U_{on}, connected to the controlled mains by a filter 3. The control current I_{on}, which is a function of the

conductivity to ground, is computed in unit 4. The computing and indicating control unit 5 is built up on the basis of a PIC-processor – a new approach to the design of these devices [1, 2]. It receives data on the voltage U , voltages to ground U_+ and U_- , control voltage U_{on} and control current I_{on} . It also controls the indicating unit 6 that consists of two four-element digital displays mounted on the front panel, a two-color diode ladder and variously colored diodes indicating the values from the digital panels measured at any one moment. The relay unit 7 has an outlet of three switching contacts that form signals for the leakage currents to the centralized information system. The supply unit 8, connected to the 220 V mains, provides stabilized voltages for the measuring and computing units.

The insulation resistance is computed on the basis of the measured values of the control voltage and current. The leakage current and its power are determined by introducing the mains voltage and the lost energy is computed by taking into account the time. These three quantities are scanned periodically and indicated on the upper digital panel. Fig. 3 shows the algorithm of the process involving the collection of the analog data, their conversion into digital data, computing the output quantities and their indication.

A criterion for the electrical safety of the service personnel is the magnitude of the supply voltage of the bus-bar system. The latter is controlled by a two-color diode ladder: at a voltage up to 120 V the level is measured by the yellow flashing diodes. When this value is exceeded then the red diodes flash thus warning for dangerous voltage values.

The light indication is designed for three levels of current leakage values: normal – up to 10 A, higher – from 10 to 100 A and unallowable – over 100 A. These levels are subject to quantitative correction (by adjustment) and are primarily related to the increasing electric energy losses from parasitic leak currents. The signals should initiate the corresponding actions for increasing the insulation resistance to ground: washing and drying the pedestal insulators for the bus bars, removing bath leaks, etc.

The energy calculated as a current leakage loss gives an accurate quantitative picture of the damages suffered as a result of additional costs for electric energy, which has nothing to do with the realization of the technological process in recovering electrolytic copper. The four-digit indicator makes it possible to compute up to 9999 kWh so that it is necessary to reset the indications periodically. The resetting is automatic or can be done by the reset button.

The bus-bar voltages to ground are measured and the asymmetry between them is computed in % (indicated by the lower digital panel). The data allow to assess the asymmetry in the conductivity to ground and to identify the bus bar with the higher current leakage thus directing the actions towards improving the insulation resistance: at a voltage $U_+ < U_-$ the

higher current leakage is in bus bar “+”, at $U_+ > U_-$ the current leakage is higher in bus bar “-”.

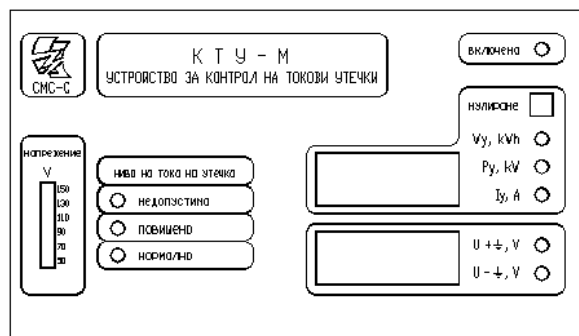


Figure 4

Fig. 4 shows the front panel of the device whose indications define fully and accurately enough the functions of the displayed elements. The asymmetry in the voltages to ground is indicated by the letter “A” preceding the corresponding number on the lower digital panel.



Figure 5

Fig. 5 shows the physical appearance of the device that is being successfully experimented at Umicor Med – Pirdop.

REFERENCES

- Анев Г., Ментешев М., 1987. Електробезопасност в минните предприятия (Основи на електрообезопасването). София, Висш Минно-геоложки институт, 30-63.
- Hofheinz, W., 1993. Protective Measures with Insulation Monitoring, Vde-verlag gmbh, Berlin, 147-149
- Catalogue: ABB, Bender, Shneider.