

Минно – геоложки университет „Св.Иван Рилски“, София

Минно- електромеханичен факултет

Катедра „Електрификация на минното производство“

инж.Милен СамоиловДренков

ЕФЕКТИВНО ЗАЗЕМЯВАНЕ НА ПОДВИЖНИ МИННИ МАШИНИ В IT МРЕЖИ С НАПРЕЖЕНИЕ ДО 1200V AC

АВТОРЕФЕРАТ

НА ДИСЕРТАЦИЯТА

**За получаване на образователна и научна степен
„Доктор“**

Професионално направление: 5.2 Електротехника, Електроника,
автоматизация

Научна специалност: Електроснабдяване и електрообзавеждане

Научни ръководители:

проф.д-р Менто Ментешев

Доц.д-р Ст.Чобанов

София

2014г.

Дисертацията съдържа 131 страници, от които 33 страници приложения; 34 фигури; 10 таблици и 14 литературни източници

Дисертационния труд е обсъден от разширен състав на катедрения съвет на катедра „Електрификация на минното производство“ на 19.06.2014 г. и е насрочен за защита към Научно жури.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 29.10.2014 г. от 14 часа в зала 204 на МЕМФ,“ на МИННО-ГЕОЛОЖКИ УНИВЕРСИТЕТ „Св. Иван Рилски“ за присъждане на образователна и научна степен „Доктор“ пред Научно жури.

Материалите по защитата са на разположение на интересувашите се в канцеларията на сектор „Следдипломна квалификация“ на МГУ „Св. Иван Рилски“

Адрес: 1700 София, Студентски град
МГУ „Св. Иван Рилски“

Тираж: 256роя

Печат: ИК "Св. Иван Рилски" МГУ НИС

Съдържание

ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД	5
Актуалност на проблема	5
Цел и задачи на работата	5
Методи на изследване	5
Научна новост	6
Приложимост и полезност	6
Апробация	6
Публикации	6
Обем и структура на дисертацията	6
СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД	6
Глава Първа -Постижения и проблеми за ефективно заземяване на подвижни минни машини	6
Изводи	8
Глава Втора -Теоретично изследване за електробезопасността на подвижни минни машини в IT системи с ниско напрежение	9
2.1. Електробезопасност в уредби със синусоидално напрежение до 1200V 50Hz	9
2.1.1. Случай А:	11
2.1.2. Случай В:	12
2.1.3. Случай С:	13
2.2. Електробезопасност в уредби с напрежения съдържащи висши хармоници	13
2.2.1. Параметри, характеризиращи несинусоидалността на тока и напреженията.	14
2.2.2. Токове на утечка и напрежения при индиректен допир в подвижните машини към IT мрежи с висши хармоници в напрежението	14
Изводи	16
Глава Трета - Предварителни експериментални изследвания в руднични условия	17
3.1. Експериментално изследване на висши хармоници в руднични мрежи НН, при честотно управление на електрозадвигвания	17
3.1.1. Измерване напрежения, токове и хармоничните им съставки осреднени за 1s.	17
3.1.2. Измервания на осреднените стойности на хармониците за 1h	18
3.2. Експериментално изследване за заземяването на подвижни минни машини.	20
3.2.1. Метод на измерване	20
3.2.2. Измерване на подвижни сонди СБШ	20
3.2.3. Измерване на пробивни карети и анкерна сонда	20
Изводи	21
Глава Четвърта – критерии и параметри за ефективното заземяване на подвижни минни машини	21
4.1. Критерии за ефективност при заземяване на подвижни машини	22
4.2. Параметри за ефективно заземяване на подвижни машини	22
4.2.1. Допирно напрежение	22
4.2.2. Съпротивление на заземяване на подвижни машини към заземителна мрежа	23
Изводи	24
Глава Пета – Устройства за контрол на заземяването на подвижни минни машини	25
5.1. Схеми и основни параметри на използваните в мините устройства	25
5.1.1. Релета за контрол на заземителния проводник РКЗП (България)	25
5.1.2. Устройства за контрол на заземителния проводник, включен във веригата за дистанционно управление на руднични взривозащитени пускатели.	25
5.1.3. Блок за контрол на съпротивлението на заземителния проводник (БКЗ).	25
5.1.4. Устройства за контрол на заземителния проводник в пускови агрегати	25

5.1.5. <i>Pilot Relay JUMBO</i>	26
5.1.6. <i>PILOT CABLE MONITOR PCM 177</i>	26
5.2. Лабораторно изпитване на съществуващите апарати	26
Изводи	29
Глава Шеста – Апарат за контрол на съпротивлението на заземителния контур АКЗК	29
6.1. Функционални качества и параметри на апарата за контрол на заземяването на подвижните машини АКЗК	29
6.2. Блокова схема	30
6.3. Принципна електрическа схема на АКЗК	31
6.4. Конструкция	31
6.5. Технически данни	32
6.6. Монтаж	33
Изводи	33
Глава Седма – Лабораторни и руднични изпитвания на АКЗК	34
7.1. Лабораторни изпитвания	34
7.1.1. Измерване на оперативния ток	34
7.1.2. Измерване на съпротивлението на задействане	35
7.1.3. Измервания за оценка на цифровия индикатор	35
7.2. Изпитване в промишлени условия	36
Изводи	36
ОБЩИ ИЗВОДИ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ	37
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	37
ПУБЛИКАЦИИ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД	38
ABSTRACT	39
РЕЗЮМЕ	40

ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

Заземяването на подвижните минни машини е съществен проблем, свързан с безопасната им експлоатация.

Актуалността на този проблем придобива ново качество в IT мрежите, съдържащи висши хармоници в напрежението.

Съвременните руднични мрежи се характеризират с нарастващо присъствие на нелинейни товари: честотно управляеми електрозадвижвания, които генерират висши хармоници в тока и напрежението, токоизправители и други. Въпреки мерките за дискриминиране на висшите хармоници се наблюдава осезаема деформация във формата на синусоидата на тока и в по-малка степен в напрежението. Това води до нарастване на тока на утечка и на риска за токов удар, за възникване на експлозии и пожари. Радикално решение за ограничаване на риска, при увеличено напрежение при индиректен допир, е намаляване на съпротивлението на заземителния контур. Това е особено съществено за подвижните минни машини, които априорно не могат да бъдат локално заземени. Степента на намаляване на съпротивлението на заземяване за да се гарантира безопасна работа е функция на увеличения ток на утечка, който зависи от напрежението на мрежата и амплитудно-честотния спектър на висшите хармоници, лимитиран от капацитивната и проводимост спрямо земя.

Цел и задачи на работата

Целта на работата е да се изследват и детерминират изискванията към заземителния контур на подвижните минни машини, включени към IT мрежи с напрежение до 1200V AC, съдържащо висши хармоници и да се разработи съвременен апарат за непрекъснато измерване и контрол за съпротивлението на заземяване.

Задачите в работата, които трябва да позволят изпълнението на поставените цели са следните: обзор на съществуващите изследвания по проблема; оценка на възможностите на съществуващите апарати, контролиращи ефективното заземяване на подвижни минни машини; теоретично изследване с анализ на опасностите от нарастващите токове на утечка при висши хармоници в напрежението; възникващите напрежения при индиректен допир и произтичащите от това корекции в безопасните стойности за съпротивлението на заземителния контур; експериментални изследвания в реални руднични мрежи, съдържащи мощни честотно управляеми задвижвания, за определяне на амплитудно-честотния спектър на хармониците; формулиране на критерии и основни параметри за обезопасяване на подвижните минни машини; разработване и изпитване на качествено нов апарат за непрекъснат контрол и измерване на съпротивлението на заземителния контур за подвижни машини, синтезиран на съвременна елементна база и с разширени възможности за настройка във функция от напрежението и спектралния състав на висшите хармоници.

Методи на изследване.

В теоретичните изследвания са използвани методи за анализ на трифазни IT мрежи със синусоидална и несинусоидална форма на напрежението, допускайки съсредоточеност на активните и капацитивните проводимости спрямо земя. В несинусоидалните режими се използва преобразуването на Фурие и принципа на суперпозицията при определяне на честотно зависимата зависимост на изолацията спрямо земя и на пълния ток на утечка.

Експерименталните изследвания са проведени по метода на непосредственото измерване с използване на специализирани апарати за хармоничен анализ, идентифициращ амплитудата, честотата и фазата на съставните хармоници и за определяне на съпротивлението на заземяване.

При синтеза на новия апарат е използван метод за оптимизация по критерии за минимизиране броя на елементите, повишаване на надеждността и максимално приложение на електронни елементи със средна и висока степен на интеграция.

Изпитването на апарата в лабораторни и промишлени условия е осъществено по методите, препоръчани за изпитване на апаратите за защита от токове на утечка с непрекъснат и предварителен контрол на изолационното съпротивление, предназначени за руднични мрежи с напрежение до 1200V AC.

Научна новост

Научна новост в дисертационния труд са изследванията и получените резултати за обезопасяване чрез заземяване на подвижни минни машини, присъединени към мрежи с висши хармоници. Новост представлява и разработеният апарат АКЗК с кодирана настройка, в зависимост от напрежението и амплитудно честотния спектър на хармониците в напрежението.

Приложимост и полезност

Разработеният апарат за измерване и контрол на съпротивлението на заземителния контур АКЗК, е приложим за подвижни минни машини в IT мрежи с и без висши хармоници в напрежението.

Полезността на апарата е защитена с възможностите, които притежава: непрекъснат контрол и измерване на съпротивлението на заземителния контур; настройваем обхват във функция от напрежението на мрежата и коефициента на несинусоидалност; висока надеждност; самоконтрол; искробезопасни параметри; минимална маса и размери.

Апробация

Изследванията, резултатите и заключенията от теоретичните анализи и експериментите са апробирани с участие в научни сесии с международно участие в МГУ „Св.Иван Рилски“, чрез публикации в Годишниците на МГУ и в Техническото списание „Минно дело и геология“. Получените резултати са апробирани и в обучението за повишаване на квалификацията на специалисти от СМС-С ЕООД и Dundee Precious Metals Chelopech.

Публикации

Теоретичните и експериментални изследвания, описанието на синтезираният апарат АКЗК са отразени в общо 7 публикации в периода 2007-2014.

Обем и структура на дисертацията

Дисертацията е написана в обем 158 страници и съдържа Увод, седем глави, Заключение, Литература по проблема – общо 74 източника, от които 36 - на български език и 48 на чужди езици.

СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Глава Първа -Постижения и проблеми за ефективно заземяване на подвижни минни машини

Обезопасяването чрез заземяване е основна мярка, която се използва в електрическите уредби НН при системите с изолирана неутрала. Прилага се независимо от задължителната за рудниците защита от токови утечки [1, 2, 18, 26, 30, 31, 32, 39, 51, 52, 70]. Осъществява се чрез изграждане на заземителна мрежа, включваща централен заземител и система от допълнителни (локални) заземители, свързващи машините и съоръженията към земя. Локалното заземяване на стационарните машини

може да се счита за безпроблемно, независимо, че в някои случаи трудно се достигат необходимите стойности на съпротивлението дори и чрез комбинация от броя и вида изкуствени заземители.

Използването на локални заземители в подвижните машини в рудниците е практически неосъществимо, независимо от скоростта на преместването им.

Всяка машина, в различна степен е естествено заземена чрез контакта си със земя, с ходова част (вериги), с опорните лапи и с пробивният инструмент. Големината на съпротивлението при естественото заземяване в известен смисъл е непредсказуема, трудно прогнозируема величина.

Няма данни за изследвания у нас на естественото заземяване на електрифицирани подвижни машини НН (пробивни машини, проходчески и добивни комбайни, товарачи и др.) в подземните рудници, както и за пробивни сонди в откритите рудници за добив на полезни изкопаеми.

Оскъдни са данните от подобни изследвания в чужбина [46, 59, 60, 70], а и данните от тях дават само качествени представи за нашите условия.

Изобилие от изследвания има за специфичното съпротивление на полезните изкопаеми и вместиците ги скали, предшестващи въвеждането на електрохимични методи за заздравяване на минните изработки [1, 8, 23] и във връзка с разпространението на блуждаещите токове в откритите рудници с електрифициран ЖП транспорт [1, 3, 35, 46, 72].

Единодушно е мнението, че за обезопасяването на подвижните машини при индиректен допир трябва да се разчита на основната заземителна мрежа [3, 4, 5, 8, 9, 10, 35, 36, 66, 67, 68], присъединяването към която по правило става с жило (проводник) от захранващия кабел.

Съпротивлението на основните и допълнителни заземители е регламентирано в зависимост от напрежението на мрежата, режимът на неутралата, лимитиращ т.к.с., както и от възникващите допирни напрежения при нарушавания в изолацията. Допирните напрежения представляват опасност и се нормират когато напрежението на уредбата надвишава 50V AC и 120V DC [26]. Тези стойности съвпадат изцяло с регламентираните от IEC и EN [53, 70] (IEC 60364.4-41).

В минните правилници у нас [30, 31, 32] напрежението 42V AC е посочено като гранично допустимо безопасно напрежение. Мрежи с по-голямо напрежение задължително се защитават от токовете на утечки, а машините и съоръженията се заземяват. Допустимото допирно напрежение в [30] е регламентирано на 24V, но в [31 и 32] не се коментира.

За мините има предложения и за други безопасни напрежения. В [18] (Русия) се предлага 40V AC; в [52] се цитира напрежение 48V AC, прието за безопасно в САЩ, защото „няма констатирани травми“; в [45, 55] за безопасно напрежение е възприето 36V AC.

В хармонизацията с европейските норми стандартът БДС НД 384.4.41 [26, 39, 40] за среда с особена опасност и на открито, препоръчва допустимо безопасно напрежение 25V AC и 60V DC.

В БДС 11623-83 [43], регламентиращ електрическите съоръжения в руднично нормално (РН) изпълнение, са точно дефинирани параметрите на защитата от прекъсване или недопустимо увеличаване съпротивлението на заземяващата верига (пускател – двигател) за подвижните машини. Нормираните стойности са: за напрежение до 1000V - 100 Ω , а за напрежение 1200 - 50 Ω . Тези стойности очевидно не кореспондират с изискванията, цитирани по-горе, за подземните рудници, ако заземяването се разглежда като самостоятелно защитно средство. При ток на утечка 0,5A [46, 63] допирното напрежение може да достигне до опасни стойности.

За контролиране на съпротивлението на РЕ проводника в кабела, присъединяващ подвижната машина към заземителната мрежа, са разработени и се прилагат различни

устройства. Част от тях, с по-стари схеми, но все още масово прилагани в експлоатацията, са базирани на електромеханични елементи [4, 6, 10, 15, 17, 22, 58, 64, 66, 67]. Съвременните устройства са хибридни, в които контролиращата и оценяваща съпротивлението част е изпълнена на безконтактни елементи, а само крайния (управляващ) елемент е електромеханично реле [36, 68] с необходимите комутационни възможности.

В част от устройствата предназначени за мрежи НН [5, 15, 36, 59], параметрите за настройка съответстват на посочените в [43], т.е. те реагират, когато съпротивлението на РЕ проводника, надхвърли стойностите 100 Ω (до 1000V) и 50 Ω (над 1000V). Но има описани устройства, произведени в чужбина и възпроизведени у нас [4, 36, 66, 67, 68], които реагират при съпротивление над 1300 Ω или практически **само при прекъсване на проводника**, което е в противоречие с изискванията дори в либералните норми на БДС 11623-83.

Не са публикувани изследвания с обосноваване на възприетите лимити за съпротивлението на заземяване, ограничаващо допирното напрежение в подвижните минни машини.

Литературното проучване показва, че проблемът свързан с безопасните стойности на допирното напрежение, респективно със заземяването в електрически мрежи, **съдържащи висши хармоници в напрежението и тока**, изобщо не е третиран. Има изследвания свързани с безопасните изолационни параметри на IT мрежи и висши хармоници в захранващото напрежение и за функционалните промени в използваните релета за защита от токови утечки [37, 49, 52, 53, 54, 55, 56], но не са анализирани необходимите промени в контура на защитното заземяване, произтичащи от нарасналите токове на утечка.

Изводи

1. В литературата, включително в нормативните документи за устройство и експлоатация на електрически уредби НН (Правилници по безопасност и здраве и Наредби), не съществуват еднозначни обосновани норми и препоръки по отношение на безопасното допирно напрежение, в зависимост от характера на работната среда и критериите за безопасност.
2. В мините, където рискът за експлозия и пожари е относително най-голям, при тежките условия за експлоатация, при наличието на висока влажност, при значителните физически натоварвания за работещите и ограниченото работно пространство, традиционно възприетото безопасно напрежение за променлив ток с промишлена честота е неоправдано високо (42V). Тази стойност не е защитена с аргументи и доказателства, а се приема априорно лимитирана от критерии за безопасност от преди няколко десетилетия в мините на Германия и Австрия и заимствани у нас.
3. Използваните у нас устройства контролиращи съпротивлението на заземителния проводник, осигуряващ безопасността при експлоатация на подвижните минни машини, действат на различни стойности, като някои реагират само на големи съпротивления, надминаващи дори 1к Ω , което практически означава прекъсване на контура, и потенциална реална възможност за недопустимо нарастване на допирните напрежения. В повечето случаи тези устройства са изградени на остаряла елементна база и не гарантират необходимата степен на безопасност, точност и надеждност.
4. Очевидна е необходимостта от теоретични и експериментални изследвания за обосноваване на граничните безопасни и допустими допирни напрежения, с които да се актуализират и отразят в Правилници, Наредби и Стандарти, свързани с електробезопасността в минната промишленост. Те трябва да бъдат и основа за изискванията на съвременните апарати за контрол на съпротивлението на заземителния контур на подвижните машини, присъединени към мрежи с различна степен на замърсеност с висши хармоници в напрежението.

5. При подчертаната тенденция за разширяващо се прилагане на честотно управление на електрозадвижванията, на системи изправител – батерия - двигател за постоянен ток в електрическата тракция, на други мощни нелинейни товари в минните предприятия – изправители, UPS, осветление, обективно съществуват предпоставки за генериране или внасяне на висши хармоници в напрежението и тока, с което качествено и количествено се променят параметрите, характеризиращи електро-безопасността. Това налага необходимостта освен от теоретични да се извършат и експериментални изследвания относно необходимостта от корекции и в параметрите на контролиращите и защитни устройства, ограничаващи допирното напрежение в IT системи с висши хармоници в напрежението.

Глава Втора -Теоретично изследване за електробезопасността на подвижни минни машини в IT системи с ниско напрежение

2.1. Електробезопасност в уредби със синусоидално напрежение до 1200V 50Hz

Теоретичните изследвания се провеждат при следните допускания и априорно приети стойности на основни величини, характеризиращи електробезопасността при директен и индиректен допир.

а) *Реалната руднична мрежа се замества с еквивалентна схема характеризираща се с:*

- съсредоточеност и линейност на активната проводимост на изолацията спрямо земя;
- съсредоточеност и линейност на капацитета на всички елементи на мрежата;
- пренебрегване на импеданса на тоководящите жила в кабелите Z_k , поради относително малката му стойност сравнена с изолационното съпротивление спрямо земя, примерно в 10^{-4} степен.

Тези допускания са коректни от теоретична гледна точка [8, 16.] и са в основата на всички аналогични изследвания за електробезопасните качества в рудничните мрежи.

б) *Съпротивление на човешкото тяло – R_h*

Мащабни изследвания в условията на рудниците [7, 25, 46, 53, 55] показват, че практически за съпротивлението на човека са регистрирани стойности от 350 до 4500 Ω , при напрежения над 250V IEC60479 препоръчва асимптотична стойността $R_h = 650\Omega$ [53].

Съпротивлението на човешкото тяло е възприето $R_h = 600\Omega$ [7, 25, 46], която е близка до минималната (350 Ω), по-малка както от възприеманите 1000 Ω за промишлеността, така и от препоръчаната от IEC асимптотна стойност 650 Ω . При допирно напрежение 24V, съпротивлението на човека е значително по-голямо и се изменя в границите: 1750 Ω (за 5% от хората) до 6100 Ω (за 95% от хората) – таблица 2.1.

в) *Критерии за оценка*

При анализите са възприети:

- Безопасни стойности на тока 6-8mA AC, съответстващи на тока на отпускане [7, 39, 46, 50, 59].
- Безопасното напрежение при индиректен допир е 24V AC [26];
- Мощността на тока на утечка, предизвикваща пожар е възприета $P_y \geq 60W$ [46];
- Енергията на тока на утечка, предизвикваща експлозия се ограничава до 1,1mJ [8].

г) *Капацитет на кабелите*

Капацитетът на жилата на кабелите е възприет за симетричен спрямо земя. [8, 19, 46, 50, 59, 69].

д) *Симетрия в напреженията на трифазните системи*

В нормален режим при честота 50Hz е възприета симетрия на фазните напрежения по отношение на големина, форма и начална фаза.

Подвижната машина има естествено заземяване (самозаземяване) с три компонента: от проводимостта на ходовия механизъм към земя (g_{xm}); проводимостите на стабилизиращите или хоризонтиращи лапи (g_l) и проводимостта, създавана от работния инструмент (g_{pi}) (фиг.2.1).

На фиг.2.2. е показана заместваща схема на руднична мрежа, по която ще се изследват токовете и допирните напрежения за човек при директен еднopolюсен допир до фаза, стъпил на земята (А) и ако се намира на машината (В); при индиректен допир до корпуса на машината, стъпил на земята (С).

Възприети са следните означения:

- За съпротивление на централния заземител $\frac{1}{g_0} = r_0 \leq 2\Omega$, съгласно [26, 30, 31]
- За съпротивление на контура, машина- РЕ проводник $\frac{1}{g_{з.пр.}} = r_{з.пр.}$

Фазните проводимости на изолацията на кабелната мрежа $Y_{mp}^1, Y_{mp}^2, Y_{mp}^3$, на n потребителите (локално заземени) $Y_{п}^1, Y_{п}^2, Y_{п}^3$ са представени с комплексните си общи проводимости за всяка фаза

$$Y_1^0 = Y_{mp}^1 + \sum_1^n Y_{п}^1; \quad Y_2^0 = Y_{mp}^2 + \sum_1^n Y_{п}^2; \quad Y_3^0 = Y_{mp}^3 + j \sum_1^n Y_{п}^3$$

Изразени с активната и капацитивната проводимости:

$$Y_1^0 = g_1^0 + j\omega C_1^0; \quad Y_2^0 = g_2^0 + j\omega C_2^0; \quad Y_3^0 = g_3^0 + j\omega C_3^0 \quad (2.1)$$

Проводимостите на изолацията в ел.уредба на подвижната машина (двигател и табла за управление и контрол), спрямо корпусът са:

$$Y_1^M = g_1^M + j\omega C_1^M; \quad Y_2^M = g_2^M + j\omega C_2^M; \quad Y_3^M = g_3^M + j\omega C_3^M \quad (2.2)$$

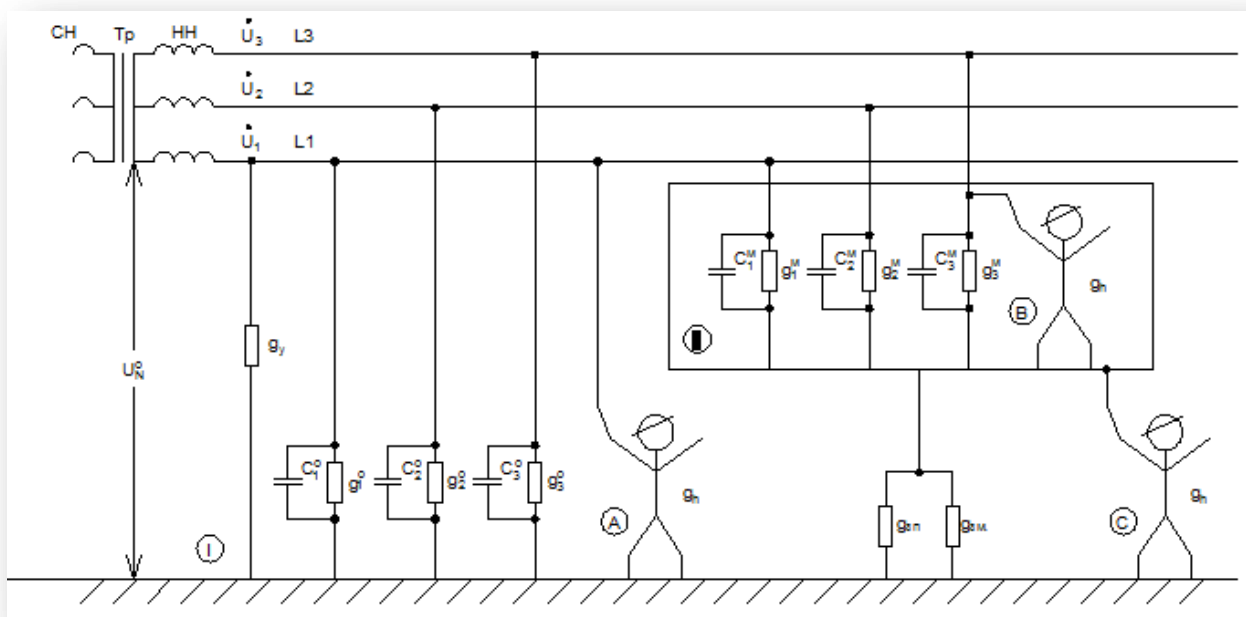
Корпусът на машината от своя страна е заземен чрез проводимостите на:

- естествено заземление (самозаземяване) – $g_{ест} = g_{сз}$, включващо проводимостта на работния орган на машината, g_{pi} , на ходовата конструкция, g_{xm} , на стабилизиращите лапи g_l :

$$g_{ест} = g_{pi} + g_{xm} + g_l = g_{сз}$$

- контура на защитния проводник $g_{з.пр.}$.

Обща еквивалентната проводимост на машината спрямо земя е $g_e = g_{ест} + g_{з.пр.} = g_{pi} + g_{xm} + g_l + g_{з.пр.}$.



Фиг.2.2.

Напрежението на звездният център спрямо земя $\dot{U}_N$ при $|\dot{U}_1| = |\dot{U}_2| = |\dot{U}_3| = U$ е:

$$\dot{U}_N = U \frac{Y_1^0 + \frac{Y_1^M \cdot Y_e}{3Y_1^M + Y_e} + a^2 \left(Y_2^0 + \frac{Y_2^M \cdot Y_e}{3Y_2^M + Y_e} \right) + a \left(Y_3^0 + \frac{Y_3^M \cdot Y_e}{3Y_3^M + Y_e} \right)}{Y_1^0 + Y_2^0 + Y_3^0 + Y_e \left(\frac{Y_1^M}{3Y_1^M + Y_e} + \frac{Y_2^M}{3Y_2^M + Y_e} + \frac{Y_3^M}{3Y_3^M + Y_e} \right)} \quad (2.3)$$

където $Y_e = Y_{ест} + Y_{з.пр} = g_{ест} + g_{з.пр}$

Напрежението на звездния център на машината спрямо корпусът и ще бъде (при симетрична общомрежова проводимост) и при симетрия в напреженият.е.

$$|\dot{U}_1| = |\dot{U}_2| = |\dot{U}_3| = \dot{U}.$$

е

$$\dot{U}_N^M = U \frac{Y_1^M + a^2 Y_2^M + a Y_3^M}{Y_1^M + Y_2^M + Y_3^M}, \quad (2.4)$$

където a е комплексния фазов оператор;

$$a = e^{j\frac{2\pi}{3}} = -0.5 + j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

Разгледани са няколко характерни ситуации.

2.1.1. Случай А:

Ако към фаза L_1 възникне еднофазна утечка с проводимост g_y , напрежението на звездния център ще бъде:

$$\dot{U}_N^A = U \frac{\left(Y_1^0 + g_y + \frac{Y_1^M \cdot g_e}{3Y_1^M + g_e} \right) + a^2 \left(Y_2^0 + \frac{Y_2^M \cdot g_e}{3Y_2^M + g_e} \right) + a \left(Y_3^0 + \frac{Y_3^M \cdot g_e}{3Y_3^M + g_e} \right)}{Y_1^0 + g_y + Y_2^0 + Y_3^0 + g_e \left(\frac{Y_1^M}{3Y_1^M + g_e} + \frac{Y_2^M}{3Y_2^M + g_e} + \frac{Y_3^M}{3Y_3^M + g_e} \right)} \quad (2.5)$$

А токът на утечка:

$$\begin{aligned} \dot{I}_y^A &= (\dot{U}_1 - \dot{U}_N) g_y = \\ &= \left(\dot{U}_1 - U \frac{\left(Y_1^0 + g_y + \frac{Y_1^M \cdot g_e}{3Y_1^M + g_e} \right) + a^2 \left(Y_2^0 + \frac{Y_2^M \cdot g_e}{3Y_2^M + g_e} \right) + a \left(Y_3^0 + \frac{Y_3^M \cdot g_e}{3Y_3^M + g_e} \right)}{Y_1^0 + g_y + Y_2^0 + Y_3^0 + g_e \left(\frac{Y_1^M}{3Y_1^M + g_e} + \frac{Y_2^M}{3Y_2^M + g_e} + \frac{Y_3^M}{3Y_3^M + g_e} \right)} \right) \cdot g_y \end{aligned} \quad (2.6)$$

Мощността, която ще се разсейва в дефектиралата изолация ще бъде:

$$P_y^A = \left| \dot{I}_y^A \right|^2 \cdot \frac{1}{g_y} = \left(\dot{U}_1 - \dot{U}_N^A \right)^2 g_y \quad (2.7)$$

При еднополюсен допир на човека с проводимост g_h (Случай А) и нормална изолация, токът през него ще се определи от уравнение, аналогично на (2.6).

2.1.2. Случай В:

Когато изолационната проводимост на мрежата може да се приеме за симетрична, т.е. $Y_1^0 = Y_2^0 = Y_3^0 = Y^0$ и възникне еднофазна утечка в машината, например към фаза L_3 , токът при еднофазна утечка ще се определи по:

$$\dot{I}_y^B = \left(\dot{U}_3 - \dot{U}_N^B \right) \left(\frac{g_y \cdot (g_{ест} + g_{з.лр})}{3g_y + g_{ест} + g_{з.лр}} \right), \quad (2.13)$$

Където напрежението на звездния център е:

$$\dot{U}_N^B = U \frac{\frac{Y_1^M \cdot (g_{ест} + g_{з.лр})}{3Y_1^M + (g_{ест} + g_{з.лр})} + a^2 \frac{Y_2^M \cdot (g_{ест} + g_{з.лр})}{2Y_2^M + (g_{ест} + g_{з.лр})} + a \frac{(Y_3^M + g_y) \cdot (g_{ест} + g_{з.лр})}{3 \cdot (Y_3^M + g_y) + (g_{ест} + g_{з.лр})}}{3Y^0 + (g_{ест} + g_{з.лр}) \left(\frac{Y_1^M}{3Y_1^M + (g_{ест} + g_{з.лр})} + \frac{Y_2^M}{3Y_2^M + (g_{ест} + g_{з.лр})} + \frac{(Y_3^M + g_y)}{3 \cdot (Y_3^M + g_y) + (g_{ест} + g_{з.лр})} \right)} \quad (2.15)$$

Мощността, разсейвана от тока на утечка е:

$$P_y^B = \frac{I_y^2}{g_y} = \left(\dot{U}_3 - \dot{U}_N^B \right) \left[\frac{g_y \cdot (g_{ест} + g_{з.лр})}{3g_y + (g_{ест} + g_{з.лр})} \right]^2 \cdot \frac{1}{g_y}$$

Ако човек, който се намира на машината се докосне до една от фазите (напр. L_3 , фиг. 1) през него ще протече ток

$$\dot{i}_h^B = \left(\dot{U}_3 - \dot{U}_N^B \right) \left[\frac{g_h \cdot (g_{ест} + g_{з.пр})}{3g_h + g_{ест} + g_{з.пр}} \right] \quad (2.22)$$

Където напрежението на звездния център спрямо земя ще се определи от израза:

$$\dot{U}_N^B = U \frac{\left[Y_1^0 + \frac{Y_1^M \cdot (g_{ест} + g_{з.пр})}{3Y_1^M + (g_{ест} + g_{з.пр})} \right] + a^2 \left[Y_2^0 + \frac{Y_2^M \cdot (g_{ест} + g_{з.пр})}{3Y_2^M + (g_{ест} + g_{з.пр})} \right] + a \left[Y_3^0 + \frac{(Y_3^M + g_h) \cdot (g_{ест} + g_{з.пр})}{3(Y_3^M + g_h) + (g_{ест} + g_{з.пр})} \right]}{Y_1^0 + Y_2^0 + Y_3^0 + (g_{ест} + g_{з.пр}) \left(\frac{Y_1^M}{3Y_1^M + (g_{ест} + g_{з.пр})} + \frac{Y_2^M}{3Y_2^M + (g_{ест} + g_{з.пр})} + \frac{Y_3^M + g_h}{3(Y_3^M + g_h) + (g_{ест} + g_{з.пр})} \right)} \quad (2.23)$$

Токът през човека е:

$$\dot{i}_h = \left(\dot{U}_3 - U \frac{\left[Y_1^0 + \frac{Y_1^M \cdot (g_{ест} + g_{з.пр})}{3Y_1^M + (g_{ест} + g_{з.пр})} \right] + a^2 \left[Y_2^0 + \frac{Y_2^M \cdot (g_{ест} + g_{з.пр})}{3Y_2^M + (g_{ест} + g_{з.пр})} \right] + a \left[Y_3^0 + \frac{(Y_3^M + g_h) \cdot (g_{ест} + g_{з.пр})}{3(Y_3^M + g_h) + (g_{ест} + g_{з.пр})} \right]}{Y_1^0 + Y_2^0 + Y_3^0 + (g_{ест} + g_{з.пр}) \left(\frac{Y_1^M}{3Y_1^M + (g_{ест} + g_{з.пр})} + \frac{Y_2^M}{3Y_2^M + (g_{ест} + g_{з.пр})} + \frac{Y_3^M + g_h}{3(Y_3^M + g_h) + (g_{ест} + g_{з.пр})} \right)} \right) \cdot g_h = \dot{U}_{доп} \cdot g_h \quad (2.25)$$

2.1.3. Случай С:

Допирното напрежение $U_{доп}$, към което ще се окаже човек, ще възникне при утечки в машината, които както бе показано по-горе, зависят и от параметрите на цялата мрежа – активни проводимости g_i^0 , капацитивни проводимости (капацитети C_i^0), от напрежението на мрежата U , и разбира се от шунтиращите човека проводимости на естественото заземяване $g_{ест}$ и на защитния проводник $g_{з.пр}$.

$$U_h = \frac{|\dot{U}_1 - \dot{U}_N| g_y'}{3g_y' + g_{ест} + g_{з.пр} + g_h} \quad , \quad (2.37)$$

където $\dot{U}_N$ се определя по:

$$\dot{U}_N = U \frac{\left[Y_1^0 + \frac{(Y_1^M + g_y') \cdot (g_{ест} + g_{з.пр} + g_h)}{3(Y_1^M + g_y') + (g_{ест} + g_{з.пр} + g_h)} \right] + a^2 \left[Y_2^0 + \frac{Y_2^M \cdot (g_{ест} + g_{з.пр} + g_h)}{3Y_2^M + (g_{ест} + g_{з.пр} + g_h)} \right] + a \left[Y_3^0 + \frac{Y_3^M \cdot (g_{ест} + g_{з.пр} + g_h)}{3Y_3^M + (g_{ест} + g_{з.пр} + g_h)} \right]}{Y_1^0 + Y_2^0 + Y_3^0 + (g_{ест} + g_{з.пр} + g_h) \left(\frac{Y_1^M + g_y'}{3(Y_1^M + g_y') + (g_{ест} + g_{з.пр} + g_h)} + \frac{Y_2^M}{3Y_2^M + (g_{ест} + g_{з.пр} + g_h)} + \frac{Y_3^M}{3Y_3^M + (g_{ест} + g_{з.пр} + g_h)} \right)} \quad (2.38)$$

От (2.31) се определя граничната стойност на съпротивлението на заземителния контур при еднофазна утечка, която зависи от възприетото безопасно допирно напрежение:

$$g_{з.пр} \geq \frac{(\dot{U}_1 - \dot{U}_N) g_y' - U_{доп} (g_y' + g_{ест} + g_h)}{U_{доп}} \quad (2.43)$$

2.2. Електробезопасност в уредби с напрежения съдържащи висши хармоници

Висши хармоници в тока и напрежението се генерират когато захранващото напрежение е с несинусоидален характер или когато в електрическите уредби са инсталирани консуматори с нелинейна волтамперна характеристика. Приложението на

нелинейните електрически консуматори расте прогресивно: изправители, заваръчна техника, електрически задвижвания с честотно управление, захранвания (UPS), апарати с магнитно насищане (трансформатори, магнитни усилватели), осветление с газоразрядни лампи и др.

Хармонични съставки в тока и напрежението възникват и при преходни процеси и ударни товари. Хармониите на тока, причинявайки спадове на напрежения в съпротивленията на електрическата верига (трансформатор, кабели), деформират синусоидата на напрежението.

В промишлеността [14, 38] и в частност в мините се налага тенденция за нарастване на мощността на консуматорите с нелинейна волтамперна характеристика достигаща $10^3 - 10^4 \text{ kW}$ и се наблюдава засилено присъствие на висши хармоници в тока и напрежението. Нарастват и негативните последствия от това: увеличаване на загубите в електрическите машини, трансформатори, проводници; претоварване на генератори, трансформатори, UPS; електромеханични смущения; влияние върху точността на електрическите измервания; проблеми с работата и настройките на защитите и не на последно място (особено за мините) създаване проблеми за електробезопасността [12, 19, 20, 52, 62, 63].

Висшите хармоници се дискриминират, в някаква степен успешно, като се използва филтрирането им- апаратно и програмно. Но дори да се покрият изискванията на стандартите, влиянието на висшите хармоници трябва да бъде оценено и взето в предвид при анализа на събития и процеси, включително свързани с електробезопасността особено когато се прилага IT системата с изолираната неутрала обезпечена с необходимите защитни апарати [20, 52, 62, 63].

Определящ фактор за силното влияние на хармоничните съставки върху електробезопасността в IT системите с изолирананеутрала е капацитетът на мрежите спрямо земя, чиято проводимост е честотно зависима.

2.2.1. Параметри, характеризиращи несинусоидалността на тока и напреженията.

Дефинирани са основните параметри, които характеризират нивото на висшите хармоници и степента на деформация (отклонението) спрямо периодичното синусоидално напрежение (ток) [8, 12, 16, 19, 41]: коефициент на хармониците (2.45), коефициент на несинусоидалност (THD) (2.46), коефициентите на деформация на синусоидалността (2.47).

Характерната особеност на трифазните системи, които съдържат висши хармоници, е че независимо от симетрия в напреженията, в общия случай се генерират съставки с нулева, права и обратна последователност (2.49), (2.50) и (2.51).

2.2.2. Токове на утечка и напрежения при индиректен допир в подвижните машини към IT мрежи с висши хармоници в напрежението

Анализът се извършва по схемата дадена на фиг.2.2.

Приема се с достатъчна точност, че активната проводимост на изолацията g и съпротивлението на човека $R_h = \frac{1}{g_h}$ не зависят от честота.

За случая А

Изведени са зависимостите за токовете на утечка по действието на напрежението с права и обратна последователност и за общия ток (2.52), (2.53), (2.54), както и за разсейваната мощност (2.55). Тези зависимости са изведени и при еднополюсен допир на човек (2.56), (2.57), (2.58), (2.59), (2.60), (2.61).

За случая В

Изведени са зависимостите за тока и мощността при еднофазна утечка (2.62), (2.63), (2.64), (2.65). Зависимостите на тока през човека при еднополюсен допир към фаза L₃ под действията на напреженията с права и обратна последователност са следните:

$$\dot{i}_{h1k}^B = \frac{g_h(g_{ест} + g_{3пр})}{3g_h + g_{ест} + g_{3пр}} \cdot \left[\dot{U}_{31k} - U \frac{\frac{Y_{1k}^M(g_{ест} + g_{3пр})}{3Y_{1k}^M + g_{ест} + g_{3пр}} + a^2 \frac{Y_{2k}^M(g_{ест} + g_{3пр})}{3Y_{2k}^M + g_{ест} + g_{3пр}} + a \frac{Y_{3k}^M(g_{ест} + g_{3пр})}{3Y_{3k}^M + g_{ест} + g_{3пр}}}{3Y_{1k}^0 + (g_{ест} + g_{3пр}) \left(\frac{Y_{12k}^M}{3Y_{12k}^M + g_{ест} + g_{3пр}} + \frac{Y_{22k}^M}{3Y_{22k}^M + g_{ест} + g_{3пр}} + \frac{Y_{32k}^M}{Y_{32k}^M + g_{ест} + g_{3пр}} \right)} \right] \quad (2.66)$$

$$\dot{i}_{h2k}^B = \frac{g_h(g_{ест} + g_{3пр})}{3g_h + g_{ест} + g_{3пр}} \cdot \left[\dot{U}_{32k} - U \frac{\frac{Y_{1k}^M(g_{ест} + g_{3пр})}{3Y_{1k}^M + g_{ест} + g_{3пр}} + a \frac{Y_{2k}^M(g_{ест} + g_{3пр})}{3Y_{2k}^M + g_{ест} + g_{3пр}} + a^2 \frac{Y_{3k}^M(g_{ест} + g_{3пр})}{3Y_{3k}^M + g_{ест} + g_{3пр}}}{3Y_{2k}^0 + (g_{ест} + g_{3пр}) \left(\frac{Y_{12k}^M}{3Y_{12k}^M + g_{ест} + g_{3пр}} + \frac{Y_{22k}^M}{3Y_{22k}^M + g_{ест} + g_{3пр}} + \frac{Y_{32k}^M}{Y_{32k}^M + g_{ест} + g_{3пр}} \right)} \right] \quad (2.67)$$

$$I_h^B = \sqrt{\sum_{n=0}^{k=3m+1} \sum_{k=1}^m |I_{h1k}|^2 + \sum_{n=0}^{k=3m+2} \sum_{k=2}^m |I_{h2k}|^2} \quad (2.68)$$

Ако машината е в суха изработка, с голямо специфично съпротивление и е на колесен ход (с гуми), при повдигнати стабилизиращи лапи, и когато не се пробива (не се заземява ефективно от работния инструмент), например при сонди, допирното напрежение ще се определя само от проводимостта на заземяващия контур - $g_{3пр}$. Това е критичен случай, който трябва да бъде определящ за съпротивлението на блокиране на машината в която операторът се намира в кабина на работната машина.

Случай С

Този случай е определящ за параметрите на заземителния контур, които трябва да гарантират безопасна експлоатация на подвижните машини при наличие на висши хармоници в напрежението.

Допирното напрежение ще бъде:

$$U_{доп} = \frac{I_{у неc}}{g_{ест} + g_{3пр} + g_h} V \quad (2.70)$$

където $I_{у неc}$ е ефективната стойност на несинусоидалния ток на утечка, а $g_{ест}$, $g_{3пр}$, g_h са проводимостите на: естественото заземяване (самозаземяването) на подвижните машини, на защитния проводник (РЕ контура) и на човека. Проводимостта на човешкото тяло g_h е с 1-2 степени по-малка от сумарната проводимост $g_{ест} + g_{3пр}$, както бе посочено в 2.1

$$g_h \ll g_{ест} + g_{3пр} \quad (2.71)$$

Това дава основание (2.70) да се запише като

$$U_{доп} = \frac{I_{неc}}{g_{ест} + g_{3пр}} = \frac{\sqrt{\sum_{n=0}^{k=3n+1} \sum_{k=1}^n I_{y1k}^2 + \sum_{n=0}^{k=3n+2} \sum_{k=2}^n I_{y2k}^2}}{g_{ест} + g_{3пр}} \quad (2.72)$$

От където можем да изчислим $g_{з.пр}$ при възприето безопасно напрежение $U_{доп} \leq U_{без.доп}$

$$g_{з.пр.без} = g_{з.пр} \geq \frac{1}{U_{без.доп}} \sqrt{\sum_{n=0}^{k=3n+1} \sum_{k=1}^{n=m} I_{y1k}^2 + \sum_{n=0}^{k=3n+2} \sum_{k=2}^{n=m} I_{y2k}^2 - g_{ест} \cdot U_{без.доп}} \quad (2.73)$$

Безопасната стойност за проводимостта на заземителния контур трябва да се определи по зависимостта:

$$g_{з.пр.без} \geq \frac{1}{U_{без.доп}} \sqrt{\sum_{n=0}^{k=3n+1} \sum_{k=1}^{n=m} I_{y1k}^2 + \sum_{n=0}^{k=3n+2} \sum_{k=2}^{n=m} I_{y2k}^2} \quad (2.74)$$

От (2.74) следва, че съпротивлението на заземителния контур на подвижните машини зависи от максималната ефективна стойност на тока на утечка, $I_{нес}^{max}$, включващ всички хармоници и възприетото за безопасно допирно напрежение.

За да се определят токовете на еднофазна утечка, по аналогия на т.2.1. е необходимо да се определят комплексите на напреженията спрямо земя на неутралата за съответните хармоници.

За хармониците с напреженията, образуващи права последователност ($k=3n+1$)

$$\dot{U}_{N_{1k}} = U \frac{\left[Y_{1k}^0 + \frac{(Y_{1k}^M + g_y')(g_{ест} + g_{з.пр} + g_h)}{3(Y_{1k}^M + g_y') + (g_{ест} + g_{з.пр} + g_h)} \right] + a^2 \left[Y_{2k}^0 + \frac{Y_{2k}^M (g_{ест} + g_{з.пр} + g_h)}{3Y_{2k}^M + (g_{ест} + g_{з.пр} + g_h)} \right] + a \left[Y_{3k}^0 + \frac{Y_{3k}^M (g_{ест} + g_{з.пр} + g_h)}{3Y_{3k}^M + (g_{ест} + g_{з.пр} + g_h)} \right]}{Y_{1k}^0 + Y_{2k}^0 + Y_{3k}^0 + (g_{ест} + g_{з.пр} + g_h) \left(\frac{Y_{1k}^M + g_y'}{3(Y_{1k}^M + g_y') + (g_{ест} + g_{з.пр} + g_h)} + \frac{Y_{2k}^M}{3Y_{2k}^M + (g_{ест} + g_{з.пр} + g_h)} + \frac{Y_{3k}^M}{3Y_{3k}^M + (g_{ест} + g_{з.пр} + g_h)} \right)} \quad (2.75)$$

За хармоници на напреженията, образуващи обратна последователност ($k=3n+2$)

$$\dot{U}_{N_{2k}} = U \frac{\left[Y_{2k}^0 + \frac{(Y_{2k}^M + g_y')(g_{ест} + g_{з.пр} + g_h)}{3(Y_{2k}^M + g_y') + (g_{ест} + g_{з.пр} + g_h)} \right] + a \left[Y_{1k}^0 + \frac{Y_{1k}^M (g_{ест} + g_{з.пр} + g_h)}{3Y_{1k}^M + (g_{ест} + g_{з.пр} + g_h)} \right] + a^2 \left[Y_{3k}^0 + \frac{Y_{3k}^M (g_{ест} + g_{з.пр} + g_h)}{3Y_{3k}^M + (g_{ест} + g_{з.пр} + g_h)} \right]}{Y_{2k}^0 + Y_{1k}^0 + Y_{3k}^0 + (g_{ест} + g_{з.пр} + g_h) \left(\frac{Y_{2k}^M + g_y'}{3(Y_{2k}^M + g_y') + (g_{ест} + g_{з.пр} + g_h)} + \frac{Y_{1k}^M}{3Y_{1k}^M + (g_{ест} + g_{з.пр} + g_h)} + \frac{Y_{3k}^M}{3Y_{3k}^M + (g_{ест} + g_{з.пр} + g_h)} \right)} \quad (2.76)$$

След което се изчисляват токовете на еднофазна утечка:

- с права последователност

$$i_{y1k} = \left(\dot{U}_{1k} - \dot{U}_{N_{1k}} \right) \cdot \frac{g_y (g_{ест} + g_{з.пр} + g_h)}{3g_y + g_{ест} + g_{з.пр} + g_h} \quad (2.77)$$

- и собратна последователност:

$$i_{y2k} = \left(\dot{U}_{2k} - \dot{U}_{N_{2k}} \right) \cdot \frac{g_y (g_{ест} + g_{з.пр} + g_h)}{3g_y + g_{ест} + g_{з.пр} + g_h} \quad (2.78)$$

Изводи

1. Безопасните стойности на съпротивлението на заземителния контур при индиректен допир са различни за рудничните мрежи със синусоидално напрежение (50Hz) и за случаите, когато напрежението съдържа висши хармоници.

2. Различията в допирното напрежение зависят от амплитудно-честотния спектър на висшите хармоници и от относителния дял на капацитивната проводимост на кабелната мрежа спрямо земя.
3. Налагат се експериментални изследвания в промишлени условия за идентификация и определяне на реално съществуващите хармоници в напрежението в мрежи с честотно управление на задвижванията и за количествена оценка насамозаземяването и влиянието му върху съпротивлението на заземителния контур на мобилните машини.

Глава Трета - Предварителни експериментални изследвания в руднични условия

3.1. Експериментално изследване на висши хармоници в руднични мрежи НН, при честотно управление на електрозадвижвания

Измерванията са проведени в подземния рудник „Челопеч“ на „Dundee Precious Metals Chelorech“, където е въведена поточна транспортна линия от ГТЛ, задвижвани с честотно управляеми двигатели и управлявани от 5бр. MCC (Motor Control Center) (таблица 3.1.).

Измерванията са осъществени с анализатор на хармоници MAVOWATT-50.

Проведени са два вида измервания по продължителност: кратковременни измервания с продължителност до 10min, за отчитане на стойности на напрежението и тока осреднени за 1s и измервания с продължителност 1 денонощие, осреднени за 1 час.

3.1.1. Измерване напрежения, токове и хармоничните им съставки осреднени за 1s.

Изследванията са проведени на ГТЛ, управлявани от MCC2703, задвижвана от два двигателя по 200kW с честотнорегулатори тип ATV71HC20N4D. От MCC2703 се управляват честотно още двигатели с мощност 45kW (за задвижване на къса лента) с ATV71HD45N4, за регулиране на натегателния механизъм с мощност 18kW на следващата ГТЛ и мощност 140 kW с релейно контакторно управление. Сумарната инсталирана мощност е 603kW, в която честотно управляемата е 463kW. Тези мощности са прикачени към трансформатор 6/0,4kV и мощност 1000kVA (табл.3.1).

Фазни напрежения. Симетрия

На фиг.3.1 са дадени измененията в усредените за 1s ефективни стойности на трите фазни напрежения U_A , U_B и U_C , в мащаб избран за подчертаване на асиметрията и размаха в измененията им. Данните са посочени в таблица 3.2.

Таблица 3.2.

Фаза	Измерена стойност на фазните напрежения, V				Отклонения на фазните напрежения, %	
	Максимални	Минимални	ΔU	$\Delta U, \%$	Минимални	Максимални
A	229,35	228,25	1,1	0,48	-0,28	-0,76
B	228,30	227,30	1,0	0,43	-0,74	-1,17
C	228,30	227,30	1,0	0,43	-0,74	-1,17

Висши хармоници в междуфазните напрежения

Висшите хармоници в междуфазните напрежения са показани на фиг.3.2, 3.3., 3.4, 3.5 и 3.6, а осреднените им ефективни стойности са дадени в таблици 3.3, 3.4, 3.5. Данните са обединени в следната таблица:

Хармоник в напрежението №		1	5	7	11	13	17	19	23	25	29	31
Измерени напрежения	U _{AB}	395	14,00	5,80	5,54	3,08	2,58	2,35	1,65	2,63	1,06	1,27
	U _{BC}	394,2	13,16	5,82	5,69	2,62	2,94	1,92	1,99	2,24	1,21	1,08
Коефициент на хармониците, %	K _{UAC}	100	3,47	1,47	1,41	0,78	0,65	0,60	0,42	0,67	0,27	0,32
	K _{UBC}	100	3,25	1,47	1,45	0,67	0,75	0,49	0,51	0,57	0,31	0,27

Най-изявени са 5-ти, 7-ми, и 11-ти хармоник с коефициенти съответно 3,47%, 1,47%, 1,45%. Останалите хармоници се характеризират с коефициенти под 1%.

Средната стойност на коефициента на несинусоидалност, характеризиращ висшите хармоници в линейните напрежения, изчислена по (3.3) е:

$$K_{н.с.U}(THD)_U = \frac{\sqrt{\sum_{i=5}^{31} U_i^2}}{U_1} 100 = 4.20\% \quad (3.8)$$

Като стойностите му се променят от 4,12% до 4,29% (фиг.3,8).

Висши хармоници в тока

Измерени са стойности до 49 хармоник на трите тока, съотношението, на които се променя непрекъснато при честотното регулиране. Осреднените за 1s ефективни стойности на първия хармоник на тока са показани на фиг.3.9.

Най-изявени са 3-ти, 5-ти, 7-ми и 11-ти хармоници на тока със осреднени стойности на трите фази съответно 5,78A, 62,53A, 18,25A и 13,31A (фиг.3.10 и таблица 3,6).

Коефициента за несинусоидалност за тока по аналогия на (3.3) е:

$$K_{н.с.I}(THD)_I = \frac{\sqrt{\frac{1}{3} \sum_{i=3}^{49} I_i^2}}{I_1} 100 = 63\% \quad (3.10)$$

Тази стойност се отнася към мрежите силно замърсени от хармоници $K_{н.с.}(THD)_I > 50\%$ [41, 44].

3.1.2. Измервания на осреднените стойности на хармониците за 1h

Резултатите от осреднените за час стойности на напреженията на съставните хармоници (таблица 3.7) са показани графично на фиг.3.11, 3.12, 3.13, 3.14, 3.15.

Получените данни потвърждават данните от кратковременните измервания (т.3.1.1), което дава право за следните заключения.

1. Асиметрията във напреженията е малка и следователно пренебрегването и в теоретичния анализ в Глава 2 е напълно приемливо.
2. Отклоненията са функция от големината на напрежението, т.е. от натоварването. При най-ниските напрежения, отклоненията са и най-големи. Това се потвърждава от измерванията на всички МСС, но най-голяма е в МСС 2702, където достига 2,7%

Най-изявен е първият хармоник, а от висшите хармоници – 5-тият достигащ до $U_B^B = 19.60V$ (МСС2703). Освен 5-тия хармоник (250Hz) изявени са силно хармониците с кратност $k=7$ и 11, а в по-малка степен 13 и 17, които потвърждават и съвпадат напълно от кратковременните измервани, усреднени на 1s (т.3.1.1).

Коефициентите на несинусоидалност $K_{н.с.U}(THD)_U$ имат най-големи стойности за K_5, K_7 и K_{11} , и са функция от натоварването на съответните трансформатори.

На таблица 3.8. са дадени минималните и максималните стойности на $K_{\text{нec } U} (THD)_U$, характеризиращи степента на деформация на напрежението.

Таблица 3.8.

МСС	Коефициент на несинусоидалност $K_{\text{нec } U} (THD)_U, \%$ Среден за трите фази		Време в което $THD_U > 5\%$, часове
	Max	Min	
МСС 2701	2,5	0,9	0
МСС 2702	4,6	1,0	0
МСС 2703	6,0	1,1	9
МСС 2704	6,25	1,0	8
МСС 2705	5,47	0,9	3

Сравнявайки данните от табл.3.8. и фиг.3.22. с изчисленият $K_{\text{нec } U} (THD)_U = 4,2\%$ при кратковременен запис на МСС2703, се вижда, че три от мрежите, управлявани от МСС2703, МСС2704 и МСС2705 имат периоди, в които отклоненията от синусоидалната форма напрежение, е по-голямо от стандартно допустимата ($THD \leq 5\%$). Тези отклонения, в интерес на точността не са големи, в рамките на +1,25 пункта. От денонощния запис следва, че мрежите към МСС2703, 2704 и 2705 работят съответно 9, 8 и 3 часа в денонощието с недопустима макар и относително малка деформация на напрежението, което означава съответно 50%, 36% и 14%.



Проведените измервания и анализът на получените данни дават основание за следните заключения:

1. Честотния спектър на хармониците при изменение на натоварването на регулируемите АД не се променя.
2. При изменение на натоварването на регулируемите двигатели, респективно на захранващите силови трансформатори се изменя само амплитудния спектър на хармониците.
3. Приложението на честотното управление в електрозадвижванията, въпреки използваните апаратни и софтуерни средства за дискриминация на висши хармоници в тока, респективно напрежението на практика имат осезателно

влияние. Това трябва да се отчита при проектиране и експлоатация на електрически уредби.

4. В аспект електробезопасност са необходими корекции в стандартите и нормативните изисквания за рудничните IT мрежи, в зависимост от относителния дял на висшите хармоници в напрежението, по отношение на токовете на утечка, допирните напрежение и съпротивленията на заземяване.
5. Апаратите за защиты от утечки и апаратите за контролиране на съпротивлението на заземителните мрежи трябва да притежават универсални възможности за приложение в мрежи с и без висши хармоници за да се гарантира необходимата степен на безопасност.

3.2. Експериментално изследване за заземяването на подвижни минни машини.

В реални руднични условия са проведени измервания за заземяването на мобилни машини с напрежение до 1000V AC. Изследвано е съпротивлението на самозаземяване на машината и зависимостта му от специфичното съпротивление на почвата, от стабилизиращите лапи и от работния инструмент.

Измерванията са осъществени с апарати GEOHM 4D.

3.2.1. Метод на измерване

Използвани са трипроводна и четирипроводна схема.

3.2.2. Измерване на подвижни сонди СБШ

Проведени са измервания на 4 сонди, в открития рудник „Елаците“. Осъществени са 5 дни след силни продължителни дъждове. Резултатите са дадени в таблица 3.9 и 3.10

Таблица 3.9

№	№ на сондата	Пространствено разположение	Измерено съпротивление, Ω	Позиция на лапите за нивелиране	Наличност и дължина на работния инструмент /щанги/
1	22	Хоризонт 1120	27,7	Спуснати	15м.
2	23	Хоризонт 1120	41,1	Спуснати	няма
3	24	Ниво КЕТ 2	13,6	Вдигнати	Няма
4	26	Хоризонт 1105	32,2	Спуснати	15м.
5	26	Хоризонт 1105	48,0	Спуснати	няма

Таблица 3.10

№ на сондата	Пространствено разположение	Измерени стойности		Специфично съпротивлението $\rho = 2\pi \cdot a \cdot R_x, \Omega \cdot m$	Състояние на почвата, характеристика
		Разстояние между електродите а, m	R_x, Ω		
22	Хоризонт 1120	5,0	6,40	201	влажна
23	Хоризонт 1120	6,0	5,33	201	влажна
24	Ниво КЕТ 2	5,0	0,76	24	Кал и вода *
26	Хоризонт 1105	5,5	4,34	150	влажна

*Сондата се намира в локва.

3.2.3. Измерване на пробивни карети и анкерна сонда

Измерванията са проведени в подземен рудник „Челопеч“ на машини AXERA, SOLO и BOLTEC.

Всички машини са на колесен ход. Притежават от 2 до 4 стабилизиращи опорни лапи, с един или два работни органа и се намират върху вода и кал, с изключение на машината в камерата (х.345) (таблица 3.11).

Таблица 3.11

Параметри, характеристика	Характеристика на работната зона			Контактуващи със земя елементи на машината			Измерено съпротивление на само-заземяване, Ω
	Хоризонт	Блок	Машината се намира върху	Работни органи *	Спуснати стабилизатор (лапи)	Колела	
Подвижна машина							
Пробивна карета AXERA SANDVIK	260	150	Вода, кал	2	4	4	1,98
Пробивна карета SOLO SANDVIK	165	151	Вода, кал	1	4	4	2,15
Анкер машина BOLTEC ATLAS COPCO	400	-	Кал, влажно	1	2	4	28,1
Пробивна карета SOLO TAMROC	345	В камера не работи	Без вода, влажно	1	4	4	48,8

* **Забележка:** Работните органи не са в отворите

Данните за специфичното съпротивление на долнището са дадени в таблица 3,12.

Изводи

1. Получени са експериментални данни за амплитудно-честотния спектър на хармониците в руднични мрежи с честотно управляеми асинхронни задвижвания. Най-изявени са 5-тите хармоници, като преобладаващи, но в по-малка степен са хармониците 7, 11, 13, 17.
2. Измерванията потвърдиха, че при изменение на натоварването и регулиране на скоростта на двигателите, честотния спектър на висшите хармоници в напрежението се запазва, а се променя само амплитудния спектър. В някои случаи коефициента на несинусоидалност (THD) надхвърля стандартното ограничение за 5%.
3. От проведените измервания на подвижни машини в открит и подземен рудник за добив на медна руда са получени данни за естественото (самозаземяването) на подвижните машини, което се изменя в широки граници от 2Ω до 48Ω . Трудната предвидимост на съпротивлението на заземяването и диапазона на неговото изменение дават основание за препоръка самозаземяването на машините да не се взима в предвид при определяне настройките на апаратите, контролиращи съпротивлението на заземяване на подвижните машини.

Глава Четвърта – критерии и параметри за ефективното заземяване на подвижни минни машини

Систематизирани са критериите и са определени количествено основните параметри, които трябва да осигурят ефективно заземяване и неговия контрол в подвижни машини, задвижвани с ниско напрежение (НН) за подземни и открити рудници, като необходимо условие за безопасната им експлоатация, независима от използваните релета за защита от токове на утечки с непрекъснат и предварителен

контрол на изолационното съпротивление в рудничните мрежи с напрежение до 1200V AC.

4.1. Критерии за ефективност при заземяване на подвижни машини

- Ограничаване на допирното напрежение до безопасна стойност;
- Съпротивлението на заземяването трябва да се ограничи от възприетото безопасно допирно напрежение и максималните стойности на токовете на утечка;
- Токовете на утечка трябва да се определят за мрежи до 1200V AC, с различна степен на замърсеност от висши хармоници в напрежението;
- Съпротивителния контур на заземяването трябва непрекъснато да се контролира и измерва
- Изключване (блокиране) на подвижната машина при потенциална възможност за превишаване на допирното напрежение над възприетото за безопасно;
- Необходима е подходяща визуална информация към оперативния персонал за ефективността на заземяването, позволяваща превантивни мерки;
- Подвижните машини трябва задължително да бъдат съоръжени със специализиран универсален апарат, който да отговаря на формулираните по-горе изисквания, но и с възможност за адаптиране на настройките за блокиране на работата в зависимост от напрежението и степента на замърсеност с висши хармоници

4.2. Параметри за ефективно заземяване на подвижни машини

4.2.1. Допирно напрежение

Предлага се минималната стойност за безопасно продължително допирно напрежение за подвижните машини да се възприеме 24V AC по следните съображения:

- В Наредба №3 за устройство на електрическите уредби и електропроводни линии, която е хармонизирана с IEC EN, за условия, характеризирани с висока влажност, валежи и висока температура, съответстващи на тези в подземните и откритите рудници, е възприето за безопасно напрежение 24V AC [26];
- Токът, който би протекъл през човек под действието на напрежение 24V AC с честота 50Hz, съобразен с минималната стойност на съпротивлението на човешкото тяло $Z_{h_{min}} = 1750\Omega$ (5%), съгласно IEC 60479 (за 25V) е:

$$I_{h_{max}} = \frac{U_{доп}}{Z_h} = \frac{24}{1750} = 0,0137A = 13,7mA$$

А при максимална стойност $Z_{h_{max}} = 6100\Omega$ (95%), токът ще бъде:

$$I_{h_{min}} = \frac{U_{доп}}{Z_h} = \frac{24}{6100} = 0,0039A = 3,9mA$$

И двете стойности на тока са по-малки от 25mA – допустимия граничен ток с честота 50Hz, като минималната стойност е дори под тока на отпускане (6-8 mA) [46].

- Минималният възпламеняващ ток при метано-въздушна смес и напрежение 24V е приблизително 1A [8 - фиг.2.25], който е почти два пъти по-голям от максималният ток на утечка в подземните рудници и който не надвишава 0,5A [46];
- Минималното възпламеняващо напрежение при капацитет на мрежата спрямо земя – 1,6μF / фаза е 30V > 24V [8 - фиг.2.31];
- Времето, за което подвижната машина трябва да се блокира или да се изключи се лимитира от продължителния ток през човека. При възприетото максимално

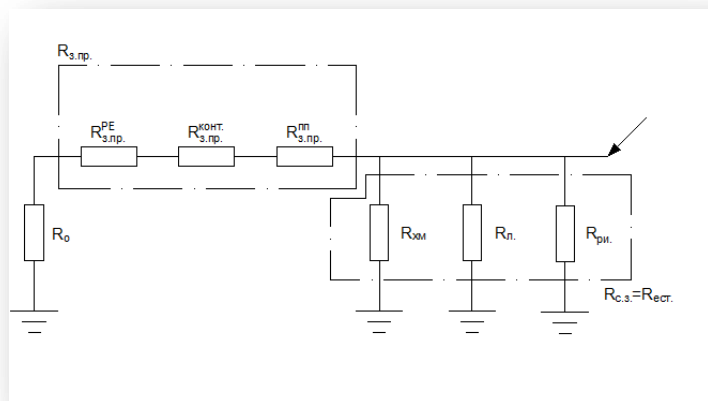
допирно напрежение 24V AC, съгласно IEC 60364-4, времето за въздействие е неограничено:

4.2.2. Съпротивление на заземяване на подвижни машини към заземителна мрежа

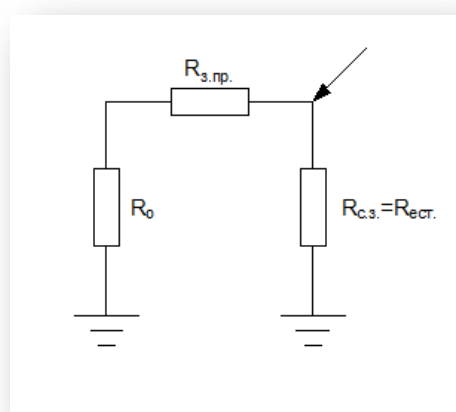
Съпротивлението на заземяване на подвижните машини, присъединени към общорудничната заземителна мрежа, в най-общия случай съдържа следните съставки:

- Съпротивление на общорудничната заземителна мрежа $R_{0 \text{ заз}}$, което не трябва да надхвърля във всяка точка от нея 2Ω ;
- Съпротивление на присъединения на подвижната машина към общорудничната заземителна мрежа - $R_{з.пр.}$ със следните съставни съпротивления:
- Съпротивление на заземителния проводник за присъединяване (в кабела PE) - $R_{з.пр.}^{PE}$
- Съпротивление на преходните контактни съпротивления - $R_{з.пр.}^{конт}$
- Съпротивление на измерителния проводник за контрол на заземяването (обикновено вграден в захранващ кабел) - $R_{з.пр.}^{ип}$
- Съпротивление на самозаземяване на подвижната машина – $R_{с.з.}$ със следните компоненти:
 - Съпротивление на самозаземяване от ходовата конструкция за подвижната машина (верижна, колесна, шейна) - $R_{хм}$
 - Съпротивление на самозаземяване чрез стабилизиращи лапи - $R_{л}$
 - Съпротивление на самозаземяване чрез работния инструмент - $R_{ри}$

Схемата на свързване на всички компоненти е показана на фиг.4.2.а, а еквивалентната и схема – на фиг. 4.2.б.



а



б

Фиг.4.2

Еквивалентното съпротивление по 4.2.б. е:

$$R_e = \frac{R_{с.з.}(R_{з.пр.} + R_0)}{R_{с.з.} + R_{з.пр.} + R_0} \quad (4.1)$$

Където:

$$R_{с.з.} = \frac{R_{хм} \cdot R_{л} \cdot R_{ри}}{R_{хм} \cdot R_{л} + R_{хм} \cdot R_{ри} + R_{л} \cdot R_{ри}} \quad (4.2)$$

$$R_{з пр} = R_{з пр}^{PE} + R_{з пр}^{конт} + R_{з пр}^{пп} \quad (4.3)$$

Относително влияние на компонентите в общото съпротивление на заземителния контур $R_{зк}$ се определя от следните обстоятелства:

- съпротивлението във всяка точка на общорудничната заземителна мрежа, съгласно ПТБ [30, 31, 32] е ограничено до 2Ω ($R_0 \leq 2\Omega$). Априорно се приема горната граница $-R_0 = 2\Omega$;
- съпротивлението на самозаземяване на подвижни машинив подземните и откритите рудници се изменя в широки граници. При работа на машината във вода и кал естественото заземяване (самозаземяване) е от порядък 10^0 до $10^1\Omega$, потвърдено и от наши измервания (Глава Трета). В сухи изработки и голямо специфично съпротивление на полезното изкопаемо и вместиците скали, съпротивлението на самозаземяване е от 10^1 до $10^2\Omega$ (например в подземните въглищни рудници) [5, 18, 45, 56, 61, 69].

Цитираните стойности за R_0 и $R_{сз}$, както и непредвидимостта на съпротивлението на самозаземяване, дават достатъчни основания да бъдат пренебрегнати при определяне на допустимото съпротивление на заземителния контур, изчислено по възприетото безопасно допирно напрежение 24V AC и максималната стойност на тока на утечка в рудничните IT мрежи НН.

Максималните токове на утечка, изчислени по зависимостите в Глава втора, са определени за максимални стойности на капацитивната и активна проводимости, при синусоидално напрежение на мрежата 380V, с честота 50Hz по данните на табл.4.2. Максималните стойности на токовете на утечка в мрежата с различни напрежения са дадени в таблица 4.3., която се отнася за мрежи със синусоидални напрежения [7, 50].

Увеличаването на тока на утечка от всички хармоници в напрежението, изисква намаляване на съпротивлението на заземителния контур за да се ограничи допирното напрежение до възприетата безопасна стойност – 24V.

От цитираните в таблица 4.4. и фиг.4.3. данни се вижда, че при наличие на висши хармоници, ограничени до $K_{нс U} = 5\%$, максималните стойности за съпротивлението на заземителния контур трябва да се намалят до 11%, а при $K_{нс U} > 5\%$, нарастват значително повече, достигащи до 37%. Спрямо нормираните стойности в БДС 11623-83 предложените стойности се отличават за мрежи без хармоници от 4% (380V) до 50% (за 1000V), а за мрежите със стандартно дискриминирано влияние на висшите хармоници ($THD_U < 5\%$), разликата достига до 55%, а за мрежи с $THD_U = 12\%$ до 66%.

Изводи

1. Обосновани са основните критерии за ефективно заземяване на подвижните минни машини и са доказани максимално допустимите стойности на съпротивлението на заземителния контур в мрежи с различни напрежения и без или съдържащи висши хармоници в напрежението, които осигуряват необходимата степен на безопасност и ограничават риска за опасни стойности на напрежението при индиректен допир.
2. Формулирани са предложения за непрекъснат контролът и измерване на съпротивлението на заземителния контур, за необходимостта от въвеждане на самоконтрол, и за тестване на апарата за функционалност и точност.

Глава Пета – Устройства за контрол на заземяването на подвижни минни машини

Описани са схеми и конструкции както и основни технически параметри на съществуващи апарати за контрол на заземяването на подвижни машини, използвани в минната практиката у нас и в чужбина.

Част от тези апарати, намерили приложение в рудниците у нас, са изпитани в лабораторни условия, което дава възможност да бъдат оценени по обосноващите и възприети критерии и параметри.

5.1. Схеми и основни параметри на използваните в мините устройства

5.1.1. Релета за контрол на заземителния проводник РКЗП (България)

Релетата отговарят на изискванията на БДС 11623-83, за контрол на целостта на защитния проводник за подвижни ел. съоръжения[43] (фиг.5.1., 5.3, и 5.3). Предназначени са за вграждане в пускателиили МСС.

Двете възможни настройки, в съответствие с БДС 11623-83[43], 100Ω и 50Ω, съответно за мрежи с напрежение до 1000V и над 1000V, са изведени на отделни клеми – съответно на 1 и 2.

В последната модификация на РКЗП (фиг.5.2.в) е въведена защита от повишено напрежение, включваща варисторRU1 и предпазител FU1, която предпазва апарата от комутационни пренапрежения, или от повишено напрежение при погрешно присъединяване.

5.1.2. Устройства за контрол на заземителния проводник, включен във веригата за дистанционно управление на руднични взривозащитенипускатели.

Този подход е възприет в някои по-стари руднични пускатели произвеждани в Русия, Полша и Украйнаи се допуска ПТБ за въглищни рудници у нас [9, 15, 50] (фиг.5.4).

Малката стойност на коефициента на възвръщане на релето K2 – разширява недопустимо зоната на нечувствителност, като потребителят няма да се изключи по време на работа ако съпротивлението на заземителния контур нарасне до 7,5 пъти спрямо настройката при включване и това е много съществен недостатък.

Обединението на заземителния проводник с управляващия се счита за опасно и поради това не се допуска в по-съвременните схеми.

В тези схеми не се измерва съпротивлението на заземителния проводник. Те са приложими само за двигатели с малка мощност.

5.1.3. Блок за контрол на съпротивлението на заземителния проводник (БКЗ).

В сравнително по-новите руднични взривозащитенипускатели произвеждани в Русия и Украйна, блоковете за контрол на съпротивлението на заземителния проводник БКЗ [8, 15]се осъществяват от блока за дистанционно управление БДУ. Те са унифицирани схемно. Отговарят на БДС 11623-83 [43] (фиг.5.6 и 5.7).

БКЗ представлява мостова схема.В едно от рамената на моста е включено измерваното съпротивление на заземителния проводник.

Захранването на схемата се осъществява от стабилизирани източник с напрежение 18V (TL2) с искробезопасни параметри.

Приложими са само за мрежи със синусоидално напрежение 50Hz, без висши хармоници. Съпротивлението на заземяване не се визуализира.

5.1.4. Устройства за контрол на заземителния проводник в пускови агрегати

Пусковите агрегати се използват в подземните рудници за захранване на пробивни машини, например ръчни бормашини с напрежение 127V или 220V AC, за които контролът на целостта и съпротивлението на защитния (PE) проводник има още по-голямо значение спрямо подвижните минни машини.

Възприет е принципа за интегриране на веригата за управление и РЕ проводника (фиг. 5.8 и 5.9).

Тези схеми са приложими за двигатели с малка мощност (ръчни инструменти). Контролират само целостта на заземителния проводник, а измерването на съпротивлението му с визуализация е лишено от смисъл.

5.1.5. Pilot Relay JUMBO

Изпълнено е по елементарна схема (фиг. 5.10). Прилага се в Австралия, и се използва у нас в Dundee Precious Metal Chelopech.

Предимствата на релето се изчерпват с простотата на схемата, на която се дължат съществени недостатъци – слаба чувствителност, ниска точност, не реагира на нарастване на съпротивлението, чиято стойност е функция от колебанията на захранващото напрежение. По тази принципна схема, но с различни съставни елементи се произвежда от фирма OSKAR EL (България) [66] (фиг.5.11) и в СМС-С ЕООД (фиг.5.12)[67].

Особеното в схемното решение е, че Pilot Relay Jumbo изпълнява функцията и на управляващото – за включване и изключване на машината (с SB3 и SB2). По тази причина освен схемата на релето (заградено в пунктирана линия) са показани и управляващите и сигналните елементи(фиг.5.10).

Съпротивлението на задействане $1400 \pm 50 \Omega$ на заземителния контур, т.е. практически реагират на прекъсване на заземителния проводник, и не ограничават допирното напрежение до безопасна стойност. В този смисъл не отговарят и на изискванията на БДС 11623-83 [43].

5.1.6. PILOT CABLE MONITOR PCM 177

Релето за контрол на съпротивлението и целостта на заземителния проводник PCM 177 се използва в Dundee Precious Metal Chelopech за подвижни минни машини. Произведено е в Австралия [68], фиг.5.13, а, б.и се прилага в Dundee Precious Metal Chelopech.

Това е съвременно техническо решение, преди всичко по отношение на използваната елементна база, със значително подобрени показатели спрямо описаните в 5.1.5.

Експертно оценено релето е изградено на съвременна елементна база, с възможности за настройка за съпротивлението на задействане в определени граници. Няма предвидена възможност за непрекъснато визуализиране на текущите стойности на съпротивлението на заземителния контур.

5.2. Лабораторно изпитване на съществуващите апарати

Лабораторните изпитвания на съществуващи и прилагани в практиката апарати за контрол на заземителния контур при подвижните минни машини обхващат:

1. Определяне на минималната стойност за съпротивлението на заземителния контур на задействане и блокиране на подвижната машина.
2. Влияние на колебанието на захранващото напрежение върху съпротивлението на задействане
3. Влияние на температурата на околната (работната) среда върху съпротивлението на задействане.

Резултатите от измерванията за съпротивленията на задействане в Ω за апарати РКЗП, PR JUMBO – OSKAR, PR JUMBO – СМСи БКЗ са дадени на таблици от 5.2 до 5.5.

РКЗП $\leq 1000V$

Таблица 5.2.

Температура на работната	Съпротивление при напрежение, V и %					Съпротивление на задействане по
	21,6	22,8	$U_n = 24V$	25,2	26,4	

среда, °C	-10%	-5%	0	+5%	+10%	БДС11623-83, Ω
20	30,11	30,11	30,12	30,13	30,13	100
50	30,18	30,19	30,20	30,26	30,28	

PR JUMBO – OSKAR ≤ 1000V

Таблица 5.3.

Температура на работната среда, °C	Съпротивление при напрежение, V и %					Съпротивление на задействане по БДС11623-83, Ω
	21,6	22,8	$U_H = 24V$	25,2	26,4	
	-10%	-5%	0	+5%	+10%	
20	275	265	243	225	196	100
50	264	249	229	208	188	

PR JUMBO – СМС-С ≤ 1000V

Таблица 5.4.

Температура на работната среда, °C	Съпротивление при напрежение, V и %					Съпротивление на задействане по БДС11623-83, Ω
	21,6	22,8	$U_H = 24V$	25,2	26,4	
	-10%	-5%	0	+5%	+10%	
20	1217	1334	1431	1502	1591	100
50	1240	1344	1440	1498	1599	

БКЗ – 1140V и БКЗ - 660V

Таблица 5.5.

Температура на работната среда, °C	Съпротивление при напрежение, V и %					Съпротивление на задействане по БДС11623-83, Ω
	21,6	22,8	$U_H = 24V$	25,2	26,4	
	-10%	-5%	0	+5%	+10%	
1140V	20	29,8	29,9	30,5	31,6	50
	50	29,7	30,4	30,9	31,5	
660 >	20	167,0	167,1	171,0	173,7	100
	50	180,0	176,1	173,3	176,7	

От всички изследвани апарати на изискванията на БДС 11623-83 [43] отговарят само РКЗП 1000V и БКЗ 1140V. Съпротивленията на настройките, приемайки за напрежение 1000V по-голямата гранична стойност 100Ω, в PR JUMBO – СМС-С настройките са по-големи над 14 пъти, т.е. те практически не гарантират безопасност само при прекъсване на заземителния контур. В апаратите PR JUMBO – OSKAR ≤ 1000V, нарастването е по-голямо от 2 пъти, а в БКЗ660V – с 70% по-голяма от стандартната изискуема стойност.

На таблица 5.6 е показано влиянието на отклоненията на напрежението върху съпротивлението на задействане

Таблица 5.6.

Тип на апарати		РКЗП 1000V	PR JUMBO – OSKAR 1000V	PR JUMBO – СМС-С 1000V	БКЗ 1140V	БКЗ 660V
Захранващо напрежение, V		24	24	24	18	18
Отклонение напрежението, %	+10	-0,03	-19,3	-14,9	-2,3	-2,4
	+5	-0,03	-7,4	-6,8	-2,0	-2,3
	-5	+0,03	+9,0	+4,9	+3,6	+1,6
	-10	+0,03	+13,2	+11,2	+4,9	+3,6

Апаратите PR JUMBO, в които нямаме стабилизиране на захранващото напрежение 24V AC отклоненията при измерването достигат +13,2% и -19,3% и +14,9% и -13,2%, което е значително и неприемливо. В останалите апарати максималното отклонение не надхвърля 5%.

Сравнителна оценка за влиянието на температурата на работната среда е дадено на таблица 5.7.

Таблица 5.7.

Тип на апарати	РКЗП 1000V	PR JUMBO – OSKAR 1000V	PR JUMBO – СМС-С 1000V	БКЗ 1140V	БКЗ 660V
Нарастване на съпротивлението $\Delta R = \frac{R_{50} - R_{20}}{R_{20}} \cdot 100, \%$	0,3	5,8	0,6	1,3	1,3

Всички изследвани апарати имат добра температурна стабилност. При нарастване на температурата в обвивката до 50°C съпротивлението на задействане нараства средно под 1,5%. Изключение прави PR JUMBO – OSKAR, където се наблюдава максимално отклонение 5,8%.

Изводи

1. Използваните у нас апарати за контрол на съпротивлението на заземяването на подвижните машини притежават само една настройка, която се отнася за мрежи с определено напрежение и синусоидална форма;
2. Настройките в повечето използвани апарати не съответстват на действащите норми по БДС 11623-83. Само два от изпитаните апарати РКЗП ≤1000V и БКЗ 1140V гарантират условията за безопасна работа по изискванията на действащия стандарт;
3. Описаните защитни релета не осигуряват необходимата степен на безопасност в мрежи съдържащи висши хармоници.
4. Във всички изследвани апарати не е предвидена визуализация на съпротивлението на заземителния контур
5. В повечето от цитираните апарати не е осъществен самоконтрол за нормалното му функциониране.

Глава Шеста – Апарат за контрол на съпротивлението на заземителния контур АКЗК

В съответствие с направения анализ на проблемите и постиженията при заземяване на подвижни минни машини за ниско напрежение, (Глава Първа и Глава Пета) е разработен, с принципно нови възможности универсален апарат за контрол на съпротивлението на заземителния контур в IT мрежи – АКЗК, приложим в трифазни руднични мрежи с напрежение до 1200V с и без висши хармоници.

6.1. Функционални качества и параметри на апарата за контрол на заземяването на подвижните машини АКЗК

Апарата АКЗК е синтезиран със следните функционални качества и параметри:

1. Не се допуска работа на мобилни машини при опасно увеличаване на съпротивлението на заземяване, при което нараства риска от електрозлополуки.
2. Граничното допустимо съпротивление на заземителния контур се определя в зависимост от:
 - Възприето максимално допустимо безопасно допирно напрежение 24V AC;
 - Напрежението на мрежата;
 - Наличността и амплитудно-честотния спектър на хармоници в напрежението, характеризирани с коефициента на несинусоидалност THD;
3. Възможност за въвеждане на следните настройки:
 - Напрежения на мрежата: 380; 500; 660; 1000 и 1140V AC
 - Три нива за хармониците в напрежението:
 - При отсъствие на хармоници - $K_{nc}(THD)_U = 0\%$

- При наличност на допустими IEC и БДС EN хармоници в напрежението - $K_{nc}(THD)_U \leq 5\%$ [41, 44]
 - При засилено присъствие на хармоници - $K_{nc}(THD)_U > 5\%$
4. Непрекъснато измерване на съпротивлението на заземителния контур с точност до 5%;
 5. Възможност за периодично ръчно тестване за функционалното състояние на апарата и за точността, с която се измерва съпротивлението на заземителния контур.
 6. Въвеждане на самоконтрол, който при неизправност на съставни блокове и елементи, компрометиращи защитните функции на апарата да блокира работата на подвижната машина
 7. Схемата е хибридна, осъществена с електронни елементи със средна и висока степен на интеграция и съвременни електромеханични елементи, с висока надеждност.

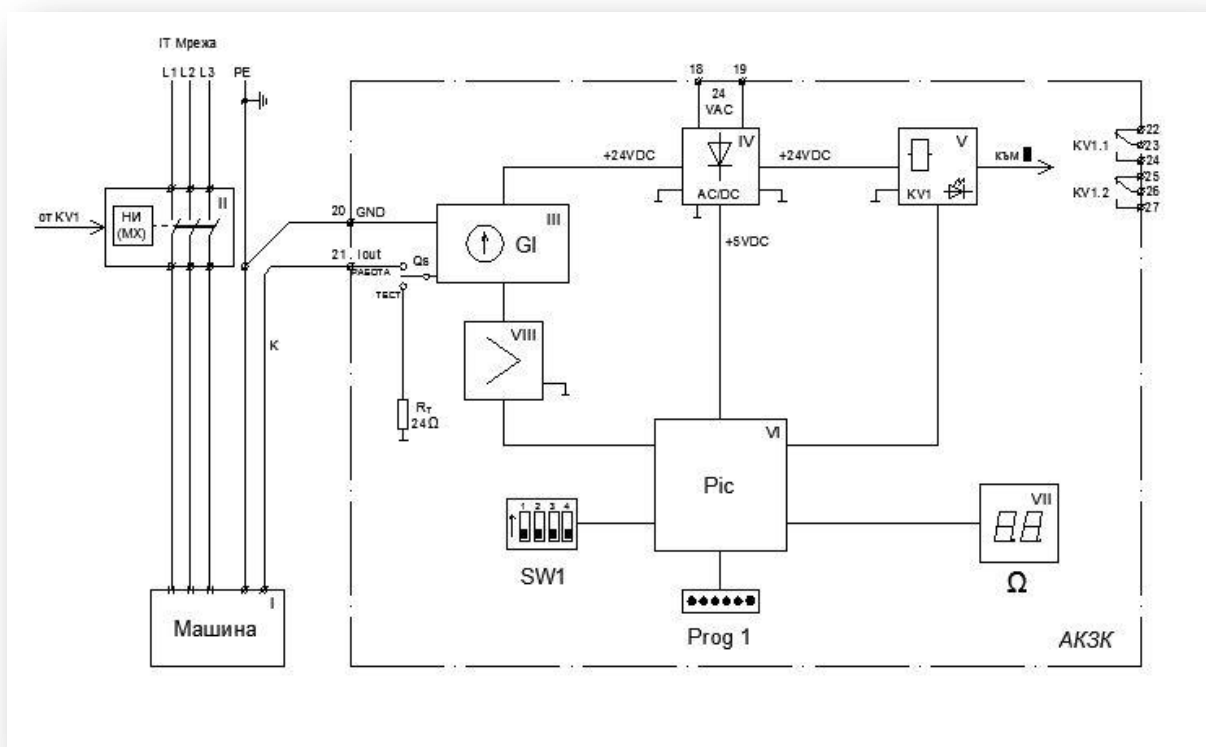
6.2. Блокова схема

На фиг.6.1 е дадена блокова схема на апарат за контрол на съпротивлението на заземителния контур (АКЗК) на подвижни машини, притежаващ посочените в т.6.1. функционални качества и параметри.

За измерване на съпротивлението на заземителния контур се използва източник на постоянен ток (GI – блок III). Изчислява отношението на измерения спад на напрежение ($U_{з.к.}$) в заземителния контур и константния оперативен ток ($I_{оп}$) (блок VIII):

$$R_{з.к.} = \frac{U_{з.к.}}{I_{оп}}. \quad (6.1)$$

В блок VI Pic процесор преобразува аналоговия сигнал, носещ информация за измереното съпротивление на заземяване, в цифров, който се индикира от двуразряденседемсегментендисплей (Блок VII).



фиг.6.1. Блокова схема на АКЗК

Рис процесорът (Блок VI) изпълнява още една функция – сравнява измереното съпротивление с гранично допустимата безопасна стойност и когато бъде надхвърлена, формира сигнал към изключващия Блок V. Блокът V е хибриден и съдържа безконтактни елементи и електромеханично реле, контактите на което предизвикват изключване (блокиране) работата на подвижната машина (Блок I) чрез комутационния апарат (Блок II).

Гранично допустимите съпротивления на заземителния контур се въвеждат в процесора (Блок VI) чрез съответна комбинация от състоянията на четири двупозиционни контакти (ON-OFF) на микропревключвателя SW1.

Рис процесорът се програмира посредством шест-шифтов съединител Prog.1.

Апаратът АКЗК се захранва от Блок IV. Изходящите две напрежения са стабилизирани – 24V DC и 6V DC.

АКЗК има режими: „ТЕСТ“ и „РАБОТА“, избирани от двупозиционният ключ QS.

6.3. *Принципна електрическа схема на АКЗК*

На фиг.6.2 е показана принципната електрическа схема на апарата за контрол на съпротивлението на заземителния контур АКЗК.

Настройките, в съответствие с табл. 6.1, се въвеждат в Рис, чрез двупозиционния микропревключвател SW1. Съществуват 15 комбинации, които се реализират с четирите контакта на SW1, и с две състояния ON и OFF „1“ и „0“ (отворени и затворени), и които еднозначно чрез включване на резисторите R3, R4, R5 и R6, определят съответните стойности на напреженията (5 вида) и съответните стойности на коефициента на несинусоидалност THD (3 нива - $0\% \leq 5\% > 5\%$).

6.4. *Конструкция*

Всички елементи са разположени на три платки, монтирани в поликарбонатна кутия (фиг.6.8.а), която може да се фиксира на DiNшина: две от платките 1 и 3 са разположени вертикално, а третата - 2, която ги свързва е хоризонтална (фиг.6.8.б).



а



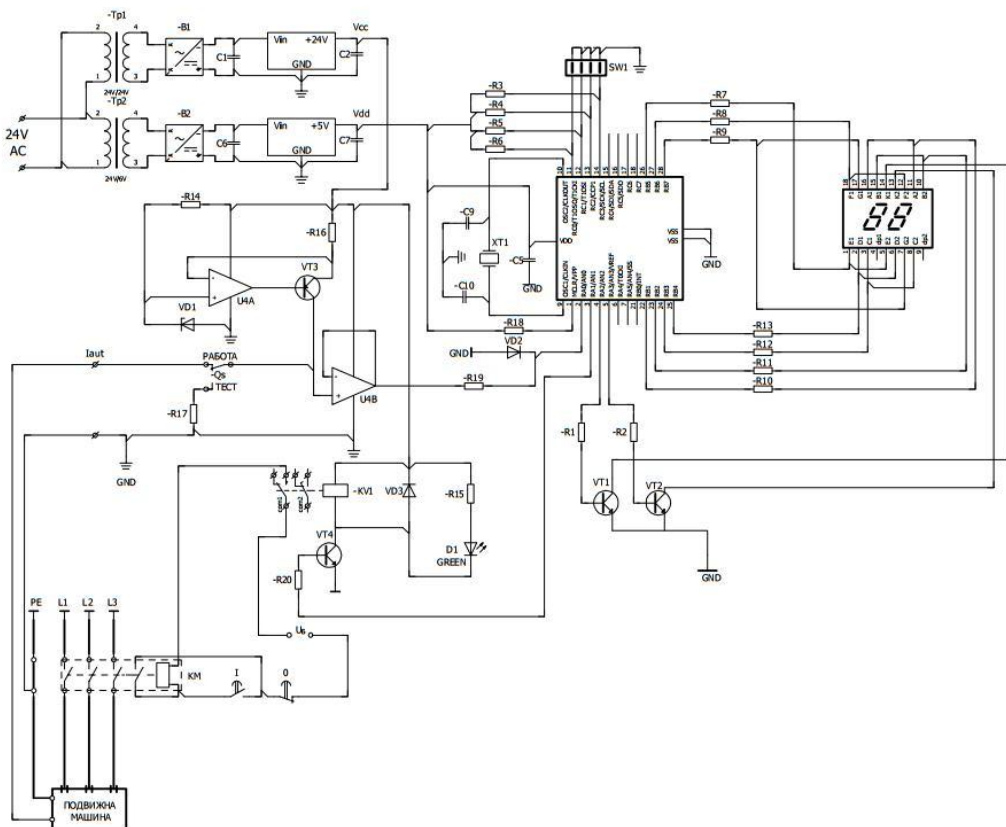
б

фиг.6.8

6.5. Технически данни

Апаратът за контрол на съпротивлението на заземяване на подвижните минни машини се характеризира със следните основни технически данни

- Обявени напрежения на мрежата: 380, 500, 660, 1000 и 1140 V AC
- Захранващо напрежение: 24V AC
- Измерителен (оперативен) ток: 44,1 mADC
- Нива на висши хармоници в мрежово напрежението:
 - отсъствие на в.х. $K_{\text{HC}}(THD)$ 0%
 - допустимо присъствие на в.х. $K_{\text{HC}}(THD)$ $\leq 5\%$
 - силно присъствие на в.х. $K_{\text{HC}}(THD)$ $> 5\%$
- Диапазон на индикираното съпротивление на заземяване, Ω : 1-99* Ω
- Максимално допустима грешка при измерване на съпротивлението на заземяване: 5 %
- Комутационна възможност на изходните контакти, AC 6A/250V
- Максимална консумирана мощност 10VA
- Размери на обвивката 100/75/110mm
- Маса, кг. (без заливане с компаунд) 0,5



фиг.6.2. Принципната
електрическа схема на АКЗК

6.6. Монтаж

Монтажът на апаратите АКЗК за контрол на съпротивлението на заземителния контур на подвижни минни машини се осъществява по схемите показани на фиг.6.9. и 6.10.

Присъединяването на АКЗК се извършва при изключено напрежение на мрежата.

Първоначално се включва напрежението 24V AC, при което зеленият диод светва. Qs сепоставя в позиция „ТЕСТ“. Цифровия индикатор трябва да показва $23 \pm 1\Omega$. Превключвателят Qs се поставя в позиция „РАБОТА“.

Изводи

1. Разработена е схема и работна документация на универсален апарат за контролиране на съпротивлението на заземяване АКЗК на подвижни минни машини,

приложим за IT мрежи с напрежение до 1200AC с различна степен на замърсеност от висши хармоници.

2. Апаратите АКЗК съдържат микропроцесор с две основни функции: измервателна, управлявайки двуразряден седемсегментен дисплей за отчитане съпротивлението на заземителния контур и изключваща (блокираща), която не допуска работа на подвижната машина при съпротивление на заземяване по-голямо от допустимото, като предпоставка за предпазване от опасно допирно напрежение.
3. Апаратите АКЗК притежават възможност за настройка в трифазни мрежи с напрежение 380, 500, 660, 1000, 1140V, при три нива на висши хармоници, характеризиращи се с коефициент на несинусоидалност (THDu -0, ≤5%, >5%).

Глава Седма – Лабораторни и руднични изпитвания на АКЗК

Два образца на АКЗК са изпитани в лабораторни и промишлени условия.

7.1. Лабораторни изпитвания

Проведени са в лабораторията на СМС-С ЕООД в периода 2012 и 2013г., при температура на околната среда 18°C до 23°C и в термокамера с форсирана конвекция тип FD53 BINDER, при температура 45°C и колебания на напрежението в граници ±10%.

7.1.1. Измерване на оперативния ток

Измерени са стойностите на оперативния ток, при изменения на захранващото напрежение до ±10%, и температура на околната среда 20°C и 45°C, при съпротивление на контура от 1Ω до 100Ω (табл. 7.1 и 7.2).

Таблица 7.1.

Захранващо напрежение, $U_n = 24V AC$		Напрежение, V	21,6	22,8	24,0	25,2	26,4
		Отклонение, %	-10%	-5%	0%	+5%	+10%
Образец № 001	При $R_{зк} = 1\Omega$	mA	43,7	44,1	44,1	44,1	44,1
		Откл., %	-0,9%	0%	0%	0%	0%
	При $R_{зк} = 100\Omega$	mA	44,1	44,1	44,1	44,1	44,1
		Откл., %	0%	0%	0%	0%	0%
Образец № 002	При $R_{зк} = 1\Omega$	mA	43,8	44,1	44,2	44,2	44,2
		Откл., %	-0,7%	0%	+0,2%	+0,2%	+0,2%
	При $R_{зк} = 100\Omega$	mA	44,1	44,1	44,1	44,2	44,2
		Откл., %	0%	0%	0%	+0,2%	+0,2%

Таблица 7.2.

Захранващо напрежение, $U_H = 24V AC$		Напрежение, V	21,6	22,8	24,0	25,2	26,4
		Отклонение, %	-10%	-5%	0%	+5%	+10%
Образец № 001	При $R_{ЭК} = 1\Omega$	mA	42,9	43,3	43,3	43,3	43,4
		Откл., %	-2,7%	-1,8%	-1,8%	-1,8%	-1,6%
	При $R_{ЭК} = 100\Omega$	mA	43,4	43,4	43,4	43,4	43,4
		Откл., %	-1,6%	-1,6%	-1,6%	-1,6%	-1,6%
Образец № 002	При $R_{ЭК} = 1\Omega$	mA	43,6	43,7	43,7	43,7	43,7
		Откл., %	-1,2%	-0,9%	-0,9%	-0,9%	-0,9%
	При $R_{ЭК} = 100\Omega$	mA	43,7	43,7	43,7	43,7	43,7
		Откл., %	-0,9%	-0,9%	-0,9%	-0,9%	-0,9%

Тези резултати показват, че оперативния ток е достатъчно стабилен, както по отношение на напрежението 24V, така и по отношение на температурата (при 45°C) на околната среда и гарантира, при това със значителен резерв, обявената точност от 5%.

7.1.2. Измерване на съпротивлението на задействане

Изследвани са измененията на съпротивлението на задействане при изменения на захранващото напрежение $U_H = 24V \pm 5\%$ и $\pm 10\%$ при температура на околната среда 22°C (стаяна температура) и 45°C (в термостат) (табл. 7.4).

Таблица 7.4.

Захранващо напрежение, $U_H = 24V AC$		Напрежение, V	21,6	22,8	24,0	25,2	26,4
		%	-10%	-5%	0%	+5%	+10%
Съпротивле ние на задействан е, Ω	Образец № 001	21°C	39,8	40,0	40,0	40,0	40,0
		45°C	39,7	40,0	40,0	40,0	40,0
	Образец № 002	21°C	95,0	96,0	96,0	96,0	96,0
		45°C	96,0	96,5	96,5	96,5	96,5

Съпротивлението на задействане и в двата образца, в зависимост от напрежението няма съществени изменения. Те не надвишават 0,5% при 20°C и не надвишават 1,57% при температура 45°C (табл.7.5.).

7.1.3. Измервания за оценка на цифровия индикатор

7.1.3.1. При измерване на съпротивлението на заземителния контур

При възприетия в Глава Шеста диапазон за настройка на съпротивлението на задействане (табл.6.1.) от 30 Ω / за замърсени с хармоници мрежи 1140V (до 95 Ω) за мрежи с напрежение 380V, без хармоници, грешката от закръглението до 1 Ω се движи в границите от 3,3% до 1,1%.

Точността на измерването на съпротивлението на заземителния контур в диапазона 10-99 Ω при номинално захранващо напрежение $U_H = 24V$ е висока (табл.7.6 и 7.7).

Температура на околната среда 22°C

Таблица 7.6.

Съпротивление на декадата, Ω		10	20	30	40	50	60	70	80	90	99
Измерено съпротивление, Ω	001	10	20	30	40	50	60	70	80	90	99
	002	10	20	30	40	50	60	70	80	90	98

Температура на околната среда 45°C

Таблица 7.7.

Съпротивление на декадата, Ω		10	20	30	40	50	60	70	80	90	99
Измерено съпротивление, Ω	001	10	20	30	40	50	60	70	80	90	98
	002	10	20	30	40	50	60	70	80	90	98

Както се вижда от таблиците, измерванията се осъществяват достатъчно точно. Констатирана е грешка при $R_{кз} \geq 90\Omega \approx 1\%$. С това се потвърждава правилността на решението да се използва в АКЗК двуелементен цифров индикатор.

Трябва да се подчертае, че точността на индикацията не влияе върху точността на измерването на съпротивлението на заземителния контур и на сравнението му с гранично зададените стойности.

7.1.3.2. При проверка „ТЕСТ“

При проверка „ТЕСТ“, цифровият индикатор трябва да показва $23 \pm 1\Omega$.

Измерванията са проведени при захранващо напрежение $U_n = 24V, \pm 5\%, \pm 10\%$ и температура на околната среда $20^\circ C$ при отклонение до 10% ($22^\circ C$) и $45^\circ C$ (табл.7.8).

Максималните отклонения са при $45^\circ C$ захранващо напрежение ($-10\% U_n$) и са в размер на 2Ω (8,7%), което е приемливо, тъй като за всички останали стойности на напрежението и за двете температури е спазено $R_{ТЕСТ} = 23 \pm 1\Omega$ (4,3%) < 5%.

7.1.3.3. Изпитване при продължителна работа на АКЗК

Изпитването при непрекъсната работа на двата образца АКЗК е с продължителност 111 часа. В този период не са отбелязани откази на опитните образци 001 и 002, а параметрите са запазени без изменения (табл. 7.9).

7.2. Изпитване в промишлени условия

Изпитването на АКЗК в промишлени условия е осъществено в подземен рудник „Челопеч“, на пробивна карета Jumbo с помпа 8-20kW за 1000V, обзаведена с Pilot Relay JECR и главен двигател - 130kVA, с Pilot Relay JECR.

Опитният образец с № 001 на АКЗК е вграден в таблото за управление и контролира заземителния контур на двигателя на помпата (фиг.7.2), вариант на пускател за управление Rev.5 / 20.11.2009г. (фиг.7.3).

Пробивната карета е свързана с технологичния процес и престоите при евентуални проблеми с опитния образец АКЗК са абсолютно недопустими. За да се спази условието за непрекъснатост в работата на каретата, АКЗК се включва чрез превключвателя SA1, от който може да се избира контроланата съпротивлението на заземителния контур от Pilot Relay Jumbo-Pump (JECR), или от АКЗК. При отказ на АКЗК, контролът и управлението на помпата може да се прехвърлят веднага чрез SA1 към JECR.

В руднични условия е осъществен експеримент в продължение на 6 месеца (м.юли – м.декември) 2013. АКЗК е работил нормално и продължава да работи.

Контролните тестове, периодично провеждани, са показали $R_{к.т} = 23\Omega$.

Това дава основание провежданият експеримент в руднични условия да се приеме за напълно успешен.

Изводи

1. Резултатите от лабораторните изпитвания доказват, че опитните образци притежават и запазват функционалните си качества при температурни условия и колебания на напрежението характерни за условията в мините.
2. Промисленият експеримент в условията на подземен рудник потвърдила практически работоспособността на АКЗК и пригодността му да се прилага при

обезопасяване на подвижни минни машини, при значително намаляване на риска за поражения от електрически ток.

3. Получените положителни резултати при лабораторните и промишлените експерименти на образците доказват, че работната документация може успешно да се използва при производство на апаратите за контрол на заземителния контур на подвижни минни машини с напрежения до 1200V

ОБЩИ ИЗВОДИ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

1. Безопасните стойности за съпротивлението на заземителния контур на подвижни минни машини, посочени в литературата, са определени без да се отчитат висши хармоници в напрежението, които присъстват в съвременните IT мрежи.
2. Произвежданите апарати и използвани схеми за контролиране на заземяването, с малки изключения, реагират на недопустими високи стойности на съпротивлението, а за част от тях – само при прекъсване на заземителния контур, което е недопустимо.
3. Конвенционалните схеми и апарати оценяващи ефективността на заземяването на подвижни машини, не гарантират необходимата степен на безопасност, както за хората, така и срещу възникване на пожари и експлозии, особено в мрежи, съдържащи висши хармоници в напрежението.
4. Предлага се 24V AC да се приеме за гранично допустимо безопасно напрежение при индиректен допир в условията на мините.
5. Гранично допустимото съпротивление на заземителния контур за подвижни минни машини да бъде определено като функция от напрежението на мрежата и от степента на замърсяване с висши хармоници.
6. Целесъобразно е апаратите и схемите за контрол на заземяването да бъдат универсални с възможност за настройка и приложимост в мрежи без и с висши хармоници в напрежението.
7. Предлага се да се въведе непрекъснато измерване на съпротивлението на заземителния контур, с което се създават условия за превенция и оценяване на риска при експлоатацията на подвижни минни машини.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поставената цел за теоретични и експериментални изследвания като предпоставка за разработване на съвременно универсално техническо решение за контролиране на съпротивлението на заземителния контур на подвижни минни машини, с експериментално доказани качества, може да се счита за успешно изпълнена.

Последователно са решени задачи, свързани с актуализирана оценка на състоянието на проблема при промяната в характера на рудничните IT мрежи за НН от внесените или генерирани висши хармоници в напрежението. С теоретични и експериментални изследвания са синтезирани, осъществени и експериментално потвърдени технически решения.

Резултатите от изпълнението на поставената цел и задача се свеждат до следните ОСНОВНИ ПРИНОСИ:

1. Доказана е неприложимостта на действащите норми за съпротивлението на заземителния контрол и прилаганите у нас апарати за мрежи съдържащи висши хармоници, които генерират повишен риск

2. Теоретично е изследвано влиянието на висшите хармоници в напрежението в IT системи, върху големината на напрежението при индиректен допир.
3. Изведени са зависимости, които определят безопасните стойности на съпротивлението на заземителния контур на подвижните минни машини като функция от коефициент на несинусоидалност (THD – фактор) в напрежението, при обоснована безопасна стойност на продължителното допирно напрежение 24V AC.
4. Резултатите от експерименталните изследвания за амплитудно честотния спектър на висшите хармоници в тока и напрежението в рудничната мрежа с напрежение 400V, съдържаща честотно управляеми задвижвания.
5. Резултатите от експерименталните изследвания за samozаземяването на подвижни минни машини в условия на подземен и открит рудник и определяне относителното влияние на специфичното съпротивление на почвата, ходовата част, стабилизиращите лапи и работния инструмент.
6. Доказана е перспективата на универсалните апарати за контрол на съпротивлението на заземителния контур в руднична IT мрежа до 1200V с лесно осъществима настройка в зависимост от напрежението и степента на замърсеност с висши хармоници.
7. Синтезирани са изискванията към функционалните възможности на апарати за контрол на съпротивлението на заземяване на подвижни машини в IT мрежи, с възможности за: въвеждане на настройка от напрежението на мрежата и нейната характеристика; непрекъснато измерване на съпротивлението на заземителния контур; тестване на точността при измерване на съпротивлението на заземителния контур.
8. Доказаните експериментално в лабораторни и промишлени (руднични условия), функционални възможности и надеждност на апаратите АКЗК.
9. Разработената техническа документация за производство на апаратите АКЗК.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Дренков М., Относно защитното заземяване на подвижни машини в IT системи, Годишник на МГУ „Св. Иван Рилски“, т.5, св.III Механизация, електрификация и автоматизация на мините, С., 2007г.
2. Ментешев М., Ст. Чобанов, М. Дренков, Защитно заземяване на подвижните минни машини., Минно дело и геология, №6, С., 2007г.
3. Дренков М., Експериментално определяне на съпротивлението на естествено заземяване на електрически сонди в Рудник „Елаците“., Годишник на МГУ „Св. Иван Рилски“, т.51, св.III Механизация, електрификация и автоматизация на мините, С., 2008г.
4. Дренков М., Параметри на заземителния контур за подвижни минни машини в IT системи съдържащи висши хармоници. Годишник на МГУ „Св.Иван Рилски“, т.52, св.III, 2009г.
5. Чобанов Ст., М.Дренков, М. Ментешев - Експериментално изследване и анализ на висшите хармоници в руднична мрежа НН с честотно управляеми двигатели. Международна научна сесия 2013, Годишник на МГУ „Св.Иван Рилски“, т.56, св.III, стр.113 – 119, 2013г.
6. Дренков М., Ст.Чобанов, Др. Костов, М. Ментешев – Синтез на апарат за контрол на заземителния контур в IT мрежи НН, съдържащ висши хармоници. Международна научна сесия 2013, . Годишник на МГУ „Св.Иван Рилски“, т.56, св.III, стр.86 – 89, 2013г.
7. Дренков М., Контрол на заземяването на подвижни минни машини, с.Минно дело и геология, 05.2013 (приета за печат).

ABSTRACT

The Dissertation is devoted to some aspects of electrical safety of mobile mining equipment connected to IT networks with voltage up to 1200V AC

The review of the achievements and problems covers research and legal base related to the operation of mobile mining machines in underground and opencast mines. It is underlined that they refer only to electric networks with industrial frequency (50/60 Hz) of the voltage. In the modern low voltage networks, including the mining networks, has seen a sharp increase in non-linear loads - rectifiers, frequency controlled drives, lighting with gas discharge lamps which generate harmonics in voltage and current.

The influence of the insulation resistance and earth loop on leakage currents and contact voltage in IT networks with and without harmonics is theoretical researched. It is proved that the harmonics in voltage should not be ignored.

In the Dissertation is described the author's experimental studies for identify amplitude –frequented specter of the harmonics in voltage, generated by frequency control of powerful engines (200kW) in the mining networks 400V. Measurements were carried out for self-grounding resistance of mobile mining equipment, and the influence of its components in the underground and opencast mines.

As a result of theoretical and experimental studies, criteria and main parameters for effective grounding of mobile mining machines and control of earth resistance have been formulated. The maximum permissible earth resistance should depend both on the size of the mains voltage and the degree of pollution and harmonics - a fact there is real, regardless of their discrimination requirements of the directives and standards (IEC, EN, BS-EN).

The existing devices that control the resistance of the grounding of mobile machines produced in Russia, Australia, Bulgaria, Ukraine and critically evaluated justified and accepted criteria and parameters are described in the dissertation, and most of them tested.

It is developed an equipment for control of the grounding circuit, named AKZK. It is characterized with selectable setting of the limited value of earth resistance depending on the voltage 380V, 500V, 660V and 1140V and asinusoidality factor (THD) - Voltage : 0% (no harmonics); $\leq 5\%$ (limit value allowed for contamination of the network with higher harmonics); $> 5\%$ for networks unacceptably contaminated with harmonics. AKZK is executed by electronic elements with middle and high degree of integration. The PiC processor reproduces a synthesized algorithm that perform switching off (blocking) the work of the mobile machine in an unacceptable increase of the grounding resistance, and its continuous measurement with two-digit numeric indicator. There is also the possibility of testing the accuracy of measurement and actuation (blocking). It is inserted for self-control for workless of AKZK. For mining machine is turned off (blocked) and cannot work.

The positive results of the typical tests of samples in the laboratory and industrial (mining) conditions are described in the Dissertation.

РЕЗЮМЕ

Диссертация посвящена некоторым аспектам электрообезопасности передвижных шахтных машин, присоединенных к ИТ сетям с напряжением до 1200V AC

Обзор достижений и проблем охватывает исследования и нормативные документы, касающиеся эксплуатации передвижных шахтных машин в шахтах и карьерах. Подчеркнуто, что они относятся только для электрических сетей с промышленной частотой (50/60 Hz) напряжения. В современных сетях НН, включительно и в шахтных, наблюдается резкое увеличение нелинейных нагрузок – выпрямители, частотноуправляемые приводы, освещения газоразрядными лампами, которые генерируют высшие гармоники в напряжении и токе.

Теоретически исследовано влияние сопротивления изоляции и заземительного контура на токи утечки и напряжение соприкосновения в ИТ сетях без и с высшими гармониками. Доказывается, что высшие гармоники в напряжении нельзя пренебрегать.

Отражены экспериментальные исследования автора для идентификации амплитудно-частотного спектра высших гармоник в напряжении, генерированные при частотном управлении мощных двигателей (200kW) в шахтных сетях 400V. Осуществлены и измерения сопротивления заземления передвижных шахтных машин, и влияние его компонентов в шахте и карьере.

В результате теоретических и экспериментальных исследований сформулированы критерии и основные параметры для эффективного заземления передвижных шахтных машин и контроля сопротивления заземительного контура. Максимально допустимое сопротивление заземительного контура должно зависеть как от величины напряжения сети, так и от степени ее загрязнения высшими гармониками – факт существующий реально, независимо от их дискриминации в требованиях директив и стандартов (IEC, EN, БДС-EN).

Описаны, а в большей части и испытаны, существующие аппараты, контролирующие сопротивление заземления передвижных машин, произведенных в России, Австралии, Болгарии, Украине и критически оценены по обоснованным и воспринятым критериям и параметрам.

Разработан аппарат для контроля заземительного контура АКЗК. Характеризуется выбираемая настройка погранично допустимого значения сопротивления заземительного контура в зависимости от напряжения 380V, 500V, 660V и 1140V и коэффициент несинусоидальности (THD) – для напряжения: 0% (без высших гармоник); $\leq 5\%$ (гранично допустимое значение для загрязнения сети высшими гармониками); $> 5\%$ для сетей, недопустимо загрязненных высшими гармониками. АКЗК выполнен из электронных элементов в средней и высокой степени интеграции. PiC процессор производит синтезированный алгоритм, который осуществляет выключение (блокирование) работы передвижной машины при недопустимом нарастании сопротивления заземления и непрерывном его измерении двухразрядным цифровым индикатором. Предусмотрена и возможность для теста точности при измерении и срабатывании (блокирования). Введен самоконтроль работоспособности АКЗК, при котором передвижная машина выключается (блокирует) и не может работать.

Отражены положительные результаты типовых испытаний образцов в лабораторных и промышленных (шахтных) условиях.