

ОТНОСНО ЗАЩИТНОТО ЗАЗЕМЯВАНЕ НА ПОДВИЖНИ МИННИ МАШИНИ В ИТ СИСТЕМИ

Милен Дренков

СМС-С ЕООД, 2070 Пирдоп

РЕЗЮМЕ: Заземяването на електрифицираните минни машини е задължителна мярка за безопасност. Подвижните или периодично преместващите се минни машини не могат да бъдат локално заземени поради практическа невъзможност. Те се заземяват чрез предпазния (РЕ) проводник в захранващия кабел, който се присъединява към рудничната заземителна мрежа.

Изследвани са условията за безопасност – допустими напрежения при директен и индиректен допир и параметрите на заземителния контур. Анализирани са влиянието на естественото заземяване на машините. Обосновани са нови нормативи за минимално допустимото съпротивление на заземителния контур, гарантиращ безопасна работа с подвижните минни машини.

REFERRING TO PROTECTIVE GROUNDING OF PORTABLE MINING MACHINES IN IT SYSTEMS

Milen Drenkov, MSC

СМС-С Ltd., 2070 Pirdop, Bulgaria

ABSTRACT: Grounding of electrified mining machines is a compulsory safety measure. Portable or periodically shifting mining machines could not be locally grounded as it is practically impossible. They could be grounded by the protective (PE) conductor in the feeding cable, which should be connected to the mining grounding system.

Safety conditions have been studied – acceptable voltages at direct and indirect contact as well as the parameters of the grounding circuit. The influence of the natural grounding of the machines has been analyzed. New rates of the minimum acceptable resistance of grounding circuit have been substantiated, guaranteeing safety work with the portable mining machines.

Във всички подземни рудници в света с много малки изключения за електрозахранване на потребителите с Ниско напрежение се прилагат изолирани спрямо земя (IT) системи [2, 3]. Тези системи се прилагат, но вече не еднозначно и в откритите рудници и в геолого-проучвателните обекти [4].

С допълнителни изисквания по отношение на електробезопасността, се допуска използване и на заземените (TN) системи [4, 5]

Характерна особеност за мините е, че електробезопасността се гарантира с едновременно и задължително прилагане на защитното заземяване и защитното изключване с контрол на изолацията. В откритите рудници и геологопроучвателните обекти, когато се прилага TN система се прилага защитно зануляване, комбинирано със защитно изключване [2, 3, 4]. В електрическите уредби с общопроектно приложение защитното заземяване и (или) защитното зануляване са задължителни мерки, докато защитното изключване е с препоръчителен характер [1].

Голямото специфично съпротивление на вместващите скали и на преобладаващата част от полезните изкопаеми, както и значителната им твърдост затрудняват или правят почти невъзможно ефективното заземяване на машините и съоръженията със локални (собствени) заземители.

Изгражда се заземителна мрежа, с централен заземител изпълнен в водосборници на помпи, зумпфове за шахти или в зони, където лесно може да е положат необходимия брой хоризонтални и вертикални заземители за постигане на необходимото (нормирано) съпротивление.

Ако за стационарните машини изграждането на локални заземители с необходимите параметри е трудно, за подвижните минни машини това е невъзможно. Към тях спадат сонди, комбайни, товаръчни машини, пробивни карети и др. Заземяването им е необходимо дори в още по-голяма степен, при повишения риск от токов удар на работещите, които са в непрекъснат физически контакт с машината

Осъществява се посредством защитния (РЕ) проводник в захранващия кабел. На естественото самозаземяване на машините не се разчита, а използването на местни (локални) заземители е практически невъзможно при непрекъснато или периодично преместващите се минни машини. Така РЕ проводникът в кабела, съединяващ корпуса на машината с общорудничната (участъкова) заземителна мрежа, трябва единствен да осъществи защитните функции при индиректен допир. Ефективността на защитата се определя от съпротивлението на заземителния контур. А това означава, че целостта на заземителния проводник, неговата непрекъснатост, е необходимо, но не и достатъчно условие за ограничаване

на напрежението (потенциалът) на корпуса на машината до безопасни стойности при дефект в изолацията ѝ спрямо земя.

От това следва, че апаратите, които контролират заземителния контур трябва да реагират не само при прекъсване, а и когато съпротивлението му нарасне над стойности, които вече не гарантират необходимата безопасност. При подобни ситуации тези апарати не позволяват работа на машината, прекъсвайки веригата за управление [6, 7, 8].

В БДС 11623-83[4] са регламентирани две гранични стойности за съпротивлението на заземителния контур на подвижните машини до 100Ω за напрежение до $1000V$ и до 50Ω - за напрежение до $1200V$.

Ще анализираме условията за безопасна работа на електрифицираните подвижни минни машини и ще защитим сериозните си съмнения относно безопасността, гарантирана при спазване на посочените стойности за съпротивлението на заземителната верига.

Максималните допустими стойности на съпротивлението на заземяване, гарантиращи безопасна работа, зависят от безусловно или условно детерминирани параметри: напрежение на мрежата; максимално допустими, безопасни стойности на напрежението при директен или индиректен допир; от тока през човека, от минималната мощност на тока на утечка, предизвикваща пожар или от минималната енергия, която може да иницира експлозия на метано-въздушна смес. Съпротивлението на заземителния контур се ограничава и от динамично променящи се, случайни стойности на параметри като: активна и капацитивна проводимост на изолацията; съпротивление на утечката (дефекти в изолацията), тока на утечка, съпротивление на човека, което от своя страна зависи от много фактори.

Необходимо условие да се стигне до конкретни заключения и препоръки е да се анализират влиянието на тези параметри, като се приемат обосновани стойности или диапазон от стойности.

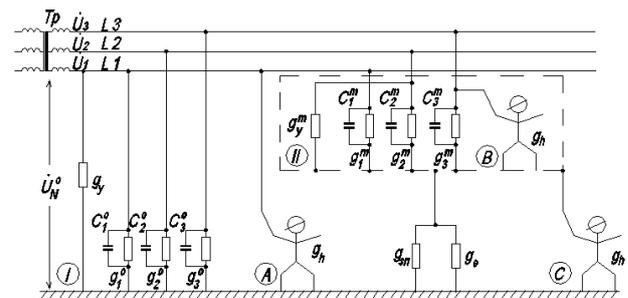
Безопасното напрежение при индиректен допир е регламентирано в препоръките на IEC60364-4-41 и от европейските и българските норми [1,5] на $50V$ AC. В нашите правилници за безопасна работа в мините, то не е определено [2, 3, 4]. В условията на мините, където съпротивлението на човека се приема по-малко от 1000Ω , цитираното напрежение лимитира ток през човека $> 50mA$, който при продължително действие е безусловно опасен и продължителността му задължително трябва да се ограничи, чрез защитното изключване. В минните правилници в Република България и [2, 3, 4] е лимитирана максимална безопасна стойност на променливото напрежение – $42V$. При това и по-малко напрежение, ел.съоръжения не се заземяват, не се прилага и защитно изключване. Тази стойност приемана априорно от десетки години, трябва да се актуализира, да се намали. В препоръките на IEC, EN [5] и в нашата Наредба за устройството на ел.уредби от 2004г. [1] при особено описани условия на труд, каквито безусловно са условията

в подземните и открити рудници, безопасното напрежение е $24V$, а при работа в котли и резервоари – $12V$. Като горна граница за безопасно напрежение с честота $50Hz$ в мините трябва да се регламентира поне $24V$. Респективно това трябва да бъде и максималното допирно напрежение, на базата на което да се реализират и защитите в случая на подвижните машини.

Ако пристъпим максималистично към проблема, безопасното напрежение трябва да бъде и по-малко, защото известни изследователи в областта на минната електробезопасност, твърдят, че съпротивленията на човека трябва да се приемат в границите от $600-800\Omega$, което предопределя ток през човека над $25mA$ и при напрежение $24V$ AC.

Ще се анализира руднична мрежа, с типична структура и параметри, при възприетия подход за предоставяне активна и капацитивна проводимост на изолацията със съсредоточени параметри, пренебрегване на импеданса на тоководещите жила и асиметрията на капацитета им спрямо земя.

Електрическата схема моделираща постановката в анализа е дадена на фиг.1, където:



Фиг.1

$g_1^0, g_2^0, g_3^0, C_1^0, C_2^0, C_3^0$ - активните съставки на общата проводимост Y_1^0, Y_2^0, Y_3^0 и капацитетите на мрежата спрямо земя;

$g_1^M, g_2^M, g_3^M, C_1^M, C_2^M, C_3^M$ - активните съставки на общата проводимост Y_1^M, Y_2^M, Y_3^M и капацитетите на подвижната машина (в осевата линия) спрямо нейния корпус;

T_p - силов трансформатор;

g_e - проводимост на естественото заземяване;

g_{zn} - проводимост на заземителната верига на машината;

g_h - проводимост на човешкото тяло;

g_y - проводимост на утечка към земя;

g_y^M - проводимост на утечка в ел.уредба в машината (към корпуса);

$\dot{U}_1, \dot{U}_2, \dot{U}_3$ - комплекси на фазните напрежения;

U_N^0 - напрежение на звездния център на захранващия трансформатор спрямо земя;

U_N^M - напрежение на звездния център на двигателя спрямо корпуса на машината.

Прецизното изследване предполага към съпротивлението на предпазния проводник да се включи последователно и съпротивлението на общорудничната заземителна мрежа, към която се присъединява защитния проводник. Допускайки, че изискванията на ПТБ за мините са спазени, съпротивлението на заземителната мрежа, във всяка нейна точка трябва да бъде $\leq 2\Omega$ (0,5S). При минимална грешка, (под 4%), тази стойност може да се пренебрегне, т.е. $R_3 \approx 0$, тъй като както ще бъде доказано, R_{3II} може да има стойности в една-две степени по-големи.

Анализирант се следните възможности за утечка в резултат на еднополюсен допир или (и) на дефект в изолацията:

- Утечка към земя при дефект в изолацията на мрежата I
- Утечка към корпуса на машината при дефект в изолацията на ел.уредба в самата машина II
- Директен допир на човек, стъпил на земя, към проводник, например L₁ A
- Директен допир на човек, който се намира на машината към проводник B
- Индиректен допир на човек до корпуса на машината, получил потенциал вследствие дефект в изолацията C

Анализът ще бъде направен, допускайки симетрия в захранващото напрежение, т.е. $\left| \dot{U}_1 \right| = \left| \dot{U}_2 \right| = \left| \dot{U}_3 \right| = U$

За случая I (при еднофазна утечка в мрежата), токът на утечка се определя от зависимостта

$$\dot{I}_y = \left(\dot{U}_1 - \dot{U}_N^{ol} \right) g_y \quad (1)$$

Където напрежението на звездния център спрямо земя след възникване на утечката g_y ще бъде:

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

В уравнение (2) Y_i^i са общите проводимости на общата мрежа спрямо земя:

$$\begin{aligned} Y_1^0 &= g_1^0 + j\omega C_1^0 \\ Y_2^0 &= g_2^0 + j\omega C_2^0 \\ Y_3^0 &= g_3^0 + j\omega C_3^0 \end{aligned} \quad (3)$$

И на изолацията на подвижната машина спрямо нейният корпус.

$$\begin{aligned} Y_1^M &= g_1^M + j\omega C_1^M \\ Y_2^M &= g_2^M + j\omega C_2^M \\ Y_3^M &= g_3^M + j\omega C_3^M \end{aligned} \quad (4)$$

А еквивалентната проводимост $g_{ек}$, представлява сумата от проводимата на естественото заземяване на машината g_e и проводимостта на заземителния контур представена с проводимостта на защитния проводник g_{3II} :

$$g_{ек} = g_e + g_{3II} \quad (5)$$

Мощността, която се разсейва в зоната на дефекта в изолацията е:

$$P_y^I = \left| \dot{U}_1 - \dot{U}_N^{ol} \right|^2 g_y \quad (6)$$

За случай A (при еднополюсен допир на човек

$$\dot{I}_h^A = \left| \dot{U}_1 - \dot{U}_N^{oA} \right| g_h \quad (7)$$

В случая напрежението на звездния център \dot{U}_N^{oA} ще се определи по уравнението:

$$\dot{U}_N^{oA} = U \frac{\left(Y_1^0 + g_h + \frac{Y_1^M \cdot 3g_{ек}}{Y_1^M + g_h + 3g_{ек}} \right) + a^2 \left(Y_2^0 + \frac{Y_2^M \cdot g_{ек}}{Y_2^M + g_{ек}} \right) + a \left(Y_3^0 + \frac{Y_3^M \cdot g_{ек}}{Y_3^M + g_{ек}} \right)}{Y_1^0 + Y_2^0 + Y_3^0 + g_h + 3g_{ек} \left(\frac{Y_1^M}{Y_1^M + g_{ек}} + \frac{Y_2^M}{Y_2^M + g_{ек}} + \frac{Y_3^M}{Y_3^M + g_{ек}} \right)} \quad (8)$$

Зависимостите (2), (6), (7) и (8) показват, че параметрите на токовете на утечка, тяхната мощност и тока през човека ще зависят и от проводимостта на заземяване на подвижната машина. Това влияние обаче ще се определи от съотношението на проводимостите на мрежата Y_i^0 спрямо земя, на проводимостта на изолацията на машината спрямо корпусът и Y_i^M и еквивалентната проводимост на нейното заземяване $g_{ек}$, т.е. от естественото заземяване g_e и от заземителния контур, включващ съпротивлението на предпазния проводник g_{3II}

Интересен е случаят, при възникване на дефект в изолацията в електрическата уредба на подвижната машина, например във фаза L₂.

За случая II (еднофазна утечка към корпуса на машината) от фаза L₂

Токът на утечка

$$I_y^{II} = \left(\dot{U}_2 - \dot{U}_N^{0II} \right) \frac{g_y^M (g_e + g_{3n.})}{g_y^M + g_e + g_{3n.}} \quad (9)$$

Където напрежението на звездния център ще бъде:

$$U_N^{0II} = U \frac{\left[\frac{Y_1^0 + \frac{Y_1^M \cdot 3(g_e + g_{3n.})}{Y_1^M + 3(g_e + g_{3n.})}}{Y_1^0 + Y_2^0 + Y_3^0 + 3(g_e + g_{3n.})} + a^2 \frac{Y_2^0 + \frac{(Y_2^M + g_y^M) \cdot 3(g_e + g_{3n.})}{Y_2^M + g_y^M + 3(g_e + g_{3n.})}}{Y_2^0 + Y_2^M + g_y^M + 3(g_e + g_{3n.})} + a \frac{Y_3^0 + \frac{Y_3^M \cdot 3(g_e + g_{3n.})}{Y_3^M + 3(g_e + g_{3n.})}}{Y_3^0 + Y_3^M + 3(g_e + g_{3n.})} \right]}{\frac{Y_1^M + g_y^M}{Y_1^M + 3(g_e + g_{3n.})} + \frac{Y_2^M + g_y^M}{Y_2^M + g_y^M + 3(g_e + g_{3n.})} + \frac{Y_3^M}{Y_3^M + 3(g_e + g_{3n.})}} \quad (10)$$

Където с g_y^M е означена проводимостта на утечката възникнала в машината (в случая от L₂)

А мощността, разсейвана в дефектиралата зона на изолацията

$$P_y^{II} = \frac{\left| I_y^{II} \right|^2}{g_y^M} = \left[\left(\dot{U}_1 - \dot{U}_N^{0II} \right) \left(\frac{g_y^M (g_e + g_{3n.})}{g_y^M + g_e + g_{3n.}} \right) \right]^2 \cdot \frac{1}{g_y^M} \quad (11)$$

Интересен е случаят при възникване на повреда в изолацията в две от фазите, например към L₁ и L₂. Проводимостите им получават стойности g_y^1 и g_y^2 при $(g_y^1 \neq g_y^2) > (g^3, g_0^1, g_0^2, g_0^3, g_1^M, g_2^M, g_3^M)$, с което потенциалът на звездния център ще се промени и се определя по уравнението:

$$U_N^{0(3)} = U \frac{\left[\frac{Y_1^0 + \frac{(Y_1^M + g_y^1) \cdot 3(g_e + g_{3n.})}{Y_1^M + g_y^1 + 3(g_e + g_{3n.})}}{Y_1^0 + Y_2^0 + Y_3^0 + 3(g_e + g_{3n.})} + a^2 \frac{Y_2^0 + \frac{(Y_2^M + g_y^2) \cdot 3(g_e + g_{3n.})}{Y_2^M + g_y^2 + 3(g_e + g_{3n.})}}{Y_2^0 + Y_2^M + g_y^2 + 3(g_e + g_{3n.})} + a \frac{Y_3^0 + \frac{Y_3^M \cdot 3(g_e + g_{3n.})}{Y_3^M + 3(g_e + g_{3n.})}}{Y_3^0 + Y_3^M + 3(g_e + g_{3n.})} \right]}{\frac{Y_1^M + g_y^1}{Y_1^M + g_y^1 + 3(g_e + g_{3n.})} + \frac{Y_2^M + g_y^2}{Y_2^M + g_y^2 + 3(g_e + g_{3n.})} + \frac{Y_3^M}{Y_3^M + 3(g_e + g_{3n.})}} \quad (12)$$

А токове на утечка от L₁ към земя ще бъде

$$I_y^{III} = \left(\dot{U}_1 - \dot{U}_N^{0II} \right) \frac{g_y^{M1} \cdot 3(g_e + g_{3n.})}{g_y^{M1} + 3(g_e + g_{3n.})} \quad (13)$$

А от L₂:

$$I_y^{II2} = \left(\dot{U}_1 - \dot{U}_N^{0II} \right) \frac{g_y^{M2} \cdot 3(g_e + g_{3n.})}{g_y^{M2} + 3(g_e + g_{3n.})} \quad (14)$$

А мощностите, които ще се разсеят от токовете на утечка, предизвикващи загряване в дефектна зона са:

$$P_y^{III} = \left| I_y^{III} \right|^2 \frac{1}{g_y^{M2}} = \left[\left(\dot{U}_1 - \dot{U}_N^{0II} \right) \frac{g_y^{M2} \cdot 3(g_e + g_{3n.})}{g_y^{M2} + 3(g_e + g_{3n.})} \right]^2 \frac{1}{g_y^{M2}} \quad (15)$$

И

$$P_y^{II2} = \left| I_y^{II2} \right|^2 \frac{1}{g_y^{M2}} = \left[\left(\dot{U}_1 - \dot{U}_N^{0II} \right) \frac{g_y^{M2} \cdot 3(g_e + g_{3n.})}{g_y^{M2} + 3(g_e + g_{3n.})} \right]^2 \frac{1}{g_y^{M2}} \quad (16)$$

При директен еднополюсен допир на човек, например към фаза L₃ (фиг.1), когато той е в (на) машината.

Случай В

Токът през човека е:

$$I_h^B = \left(\dot{U}_3 - \dot{U}_N \right) \frac{g_h (g_e + g_{3n.})}{g_h + g_e + g_{3n.}} \quad (17)$$

А когато човек се намира на земята и се докосне до корпуса на машината за случая С (индиректен допир на човек, към корпуса на машината).

В случая корпусът е получил висок потенциал при дефект в изолацията на ел.уредба на подвижната машина.

Токът, който ще протече през човека ще зависи от допирното напрежение т.е. от потенциала на корпуса на машината, числено равен на напрежението спрямо земя, като човекът ще се окаже шунтиран от проводимостите на естественото заземяване g_e и защитния проводник $g_{3n.}$

$$U_{\text{дон}}^C = U_h = \frac{\left| I_y^C \right|}{g_e + g_{3n.} + g_h} \quad 0 \quad (18)$$

Токът на утечка е функция от напрежението на звездния център спрямо земя, който от своя страна зависи от симетрията в проводимостите на отделните фази. При еднофазен дефект:

$$I_y^C = \left(\dot{U}_1 - \dot{U}_N^M \right) \frac{g_y^M (g_e + g_{3n.} + g_h)}{g_y^M + g_e + g_{3n.} + g_h} \quad (19)$$

Замествайки (19) в (18) за допирното напрежение се получава:

$$U_{\text{дон}} = \left| \dot{U}_1 - \dot{U}_N^M \right| \frac{g_y^M}{g_y^M + g_e + g_{3n.} + g_h} \quad (20)$$

При двуфазна утечка в машината, допирното напрежение, т.е. напрежението на корпуса спрямо земя ще бъде пропорционално на модула от геометрична сума на двата тока на утечка.

$$U_{\text{дон}}^C = \frac{\left| I_y^1 + I_y^2 \right|}{g_e + g_{3n.} + g_h} \quad (21)$$

Получените зависимости (18) и (21) потвърждават количествено известното обстоятелство, че допирното напрежение (при индиректен допир) е функция от големината на тока на утечка, от параметрите на

проводимостта на човека, на естественото заземяване на машината g_e и на заземителния предпазен контур g_{zn} .

Решението на (18) спрямо проводимостта на заземителния контур е:

$$g_{zn} = \frac{\left| \dot{I}_y \right| - U_{\partial on} (g_e + g_h)}{U_{\partial on}} \quad (22)$$

Ако се въведат съпротивленията на елементите спрямо техните проводимости (22) придобива вида

$$R_{zn} = \frac{U_{\partial on}}{\left| \dot{I}_y \right| - U_{\partial on} \left(\frac{R_h + R_e}{R_e R_h} \right)} \quad (23)$$

За да се гарантира минималния ефект, т.е. висока степен на безопасност, параметрите на заземителния контур трябва да се определят пренебрегвайки естественото заземяване. При тази постановка трябва да се приеме, че $g_e = 0$. Тогава (22) придобива по-опростен вид:

$$g_{zn} = \frac{\left| \dot{I}_y \right| - U_{\partial on} g_h}{U_{\partial on}} \quad (24)$$

А замествайки проводимостите със съпротивленията

$$R_{zn} = \frac{R_h U_{\partial on}}{\left| \dot{I}_y \right| - R_h U_{\partial on}} \quad (25)$$

За определяне на допустимите максимални стойности на съпротивлението на защитния контур е необходимо дефиниране на тока на утечка, който е функция от проводимостите на изолацията. Този ток може да се определи на базата на експериментални изследвания на рудничните мрежи, за които има данни. Вторият подход, по-правилният е токовете на утечки да се определят на базата на гранично допустимите стойности на изолационните съпротивления определени в стандартите за руднични релета от токови утечки, при които задействат. Те трябва да се съобразяват и с граничните забранителни стойности на изолационните съпротивления на машините, при които те се блокират от устройствата за предварителен контрол на изолацията (БПУ) и не могат да бъдат включени.

Като пример може да се изчислят максимално допустимите съпротивления на заземителния контур при

Препоръчана за публикуване от
Катедра "Електрификация на минното производство", МЕМФ

следните условия: съпротивление на човешкото тяло $R_h = 600 \Omega$; ток на утечка $I_y = 0.5A$ (за мрежи с напрежение 380V) и допустими допирни напрежения 50V, 24V и 12V.

Резултатите от изчисленията по (25), без да се отчита естественото заземяване на машините са следните:

При допирно напрежение ограничено до 50V
 $R_{zn} \leq 130 \Omega$

При допирно напрежение ограничено до 24V $R_{zn} \leq 52 \Omega$

При допирно напрежение ограничено до 12V $R_{zn} \leq 25 \Omega$

Сравнение с нормираните параметри в [6], изчислените гранични (максимални) стойности за съпротивлението на заземителния контур са приблизително два пъти по-малки при възприетото напрежение при индиректен допир 24V и четири пъти по-малко при 12V

Заклучение

1. Необходимо е определяне на безопасното напрежение в руднични условия до 24V AC, което да се отрази в правилниците за безопасност на труда в мините.
2. Резултатите от експериментални изследвания за естественото заземяване на подвижните машини са база за оценка на влиянието им върху безопасните стойности на заземителните контури.
3. Цитираните в [6] стойности за съпротивлението на защитните проводници не гарантират необходимата степен на безопасност.

Литература:

- Наредба №3 за Устройство на електрическите уредби и електропроводните линии, 2004г.
- Правилник за безопасност на труда при разработване на въглищни находища по подземен начин, С., Техника, 1986.
- Правилник за безопасност на труда при разработване на рудни и нерудни находища по подземен начин, С., Техника, 1971.
- Правилник за безопасност на труда при разработване на находища по открит начин, С., Техника, 1992.
- Hofheint, W., Protective Measures with insulation mounting, Berlin., VDE VERLAG, 2000
- БДС 11623-83
- Neuhouse Donald E. Mine power system. Ground continuity check circuit. GE. Pat. cl.317 18C H02 3/16 – USA. 1972
- Koichi Y. Grounding detecting apparatus, JP. 2004138434, 2004
- Милев, Ив. Изследване на електробезопасността и параметри на електрохимичното. заздравяване за условията на рудниците в Р.България, Хабил.труд, С., 2007г.