

ПАРАМЕТРИ НА ЗАЗЕМИТЕЛНИЯ КОНТУР ЗА ПОДВИЖНИ МИННИ МАШИНИ В IT СИСТЕМИ СЪДЪРЖАЩИ ВИСШИ ХАРМОНИЦИ В НАПРЕЖЕНИЕТО

Милен Дренков

CMC-C EOOD, 2070 Пирдон; e-mail: cmcc.office@gmail.com

РЕЗЮМЕ. Докладът представлява развитие на изследвания за оптимизиране на съпротивлението на заземяване на подвижни минни машини, които се захранват от системи с изолирана неутрала (IT) и които съдържат висши хармоници в напрежението.

Този проблем придоби актуалност при нарастващото приложение и в мините на мощни изправители за постояннотокови задвижвания, на честотното управление на асинхронните двигатели и на нелинейни товари, които са източници на висши хармоници в тока и напрежението.

Получени са параметри на заземителния контур по ограничителните критерии в Европейските норми за коефициентите на несинусоидалност в мрежите НН. Разгледан е пример без дискриминиране на висшите хармоници с филтри.

PARAMETERS OF GROUNDING CIRCUIT OF MOBILE MINING MACHINES IN IT SYSTEMS CONTAINING HIGHER HARMONICS IN VOLTAGE

Milen Drenkov

CMC-C Ltd., 2070 Pirdop, e-mail: cmcc.office@gmail.com

ABSTRACT. Paper presents development of studies for optimizing the grounding resistance of mobile mining machines, supplied by systems with insulated neutral (IT) and containing higher harmonics in voltage.

This problem became topical with the increasing application in mines of powerful rectifiers for direct current drives, of frequency control of asynchronous motors and of non-linear loads, which are sources of higher harmonics in current and voltage.

Parameters of grounding circuit obtained related to limitation criteria from European norms for coefficients on non-sine in LV networks. An example without discrimination of higher harmonics by filters is examined.

Предпоставки за изследването

Изследванията (Ментешев, 1986) доказват по категоричен начин, че в IT системи при наличие на висши хармоници в напрежението, независимо от техния произход и посока на проникване, токът на утечка се увеличава. Това ще рефлектира върху нарастването на напрежението „корпус-земя“. За ограничаване на допирното напрежение се налага и съответна корекция в стойността на допустимото максимално съпротивление на заземителния контур (PE), което трябва да гарантира необходимата безопасност при индиректен допир.

Анализите за определяне на параметрите на заземителния контур за подвижните минни машини с НН, и съдържащи висши хармоници са извършени при същите предпоставки възприети при изчисленията за мрежи със синусоидално напрежение (Ментешев и др. 2007, Дренков, 2007)

- Системата е с изолирана неутрала (IT) с напрежение до 1200 V AC;
- Анализират се безопасни допирни напрежения: 50V (IEC 60364) ; 42V (Правилници за ТБ в мините, 1981); 25V и 12V (НУЕУЕЛ, 2004);
- Съпротивлението на човешкото тяло е възприето: $R_H=600\Omega$;

- Активната проводимост на изолацията е съсредоточена
- Капацитивна проводимост на изолацията е съсредоточена и симетрична за отделните фази спрямо земя;
- Влиянието на съпротивлението на естественото заземяване на машините се отчита в анализите, но се елиминира при определяне на граничните (критични) стойности на заземителния контур;
- Граничната безопасна продължителна стойност на тока през човека е 25mA AC.

Токове на утечка при висши хармоници в напрежението

За критерий при оценката за нарастването на тока на утечка се приемат ограничителните параметри за амплитудно-честотния спектър на хармониците, регламентирани в директива на IEC и европейските норми EN 50160.H94 (Таблица 1).

Направени са изчисления при най-тежкия случай – наличност на всички хармоници, които генерират симетрични съставки с права и обратна последователност. Европейските норми, посочени в Таблица 1., са сравнително най-либерални, както спрямо

регламентираните в страни като Русия, Австралия и Китай, така и спрямо националните норми в отделни страни на ЕС, като Финландия, Великобритания и др., които са по-рестриктивни. Коефициентът на несинусоидалност е изчислен само за хармониците с кратности на честотата 2, 4, 5, 7, 11, по данни в Таблица 1. Хармониците, кратни на три образуват система с нулева последователност. Те са изключени, тъй като в мините се използват задължително само системи с изолирана неутрала (IT) и тези токове не протичат.

$$K_{HU} = \sqrt{\sum_{k=2}^{11} K_{Uk,\%}^2} = \sqrt{2^2 + 1^2 + 6^2 + 5^2 + 3.5^2} = 8.86\% \quad (1)$$

Граничния коефициент на несинусоидалност при честотно управление на асинхронните двигатели е изчислен при отсъствие на хармониците, кратни на 2 и 4 и той е 8,57%.

Таблица 1

Висши хармоници, кратност на f=50Hz и честота, Hz		Ограничение на K_{uk} , % за мрежи НН до 1kV			
Кратност	f, Hz	по EN 5160. H94	Русия	Австралия	Китай
2	100	2	6	4	4
3	150	5	3	2	2
4	200	1,0	6	4	4
5	250	6,0	3	2	2
7	350	5,0	3	2	2
9	450	1,5	3	2	2
11	550	3,5	3	2	2

Резултатите от изчисленията са дадени в таблица 2, в която са посочени кратностите на пълния ток на утечка, с хармонични съставки, спрямо тока на утечка изчислен при синусоидално напрежение. Изчисленията са направени за ограничения по EN 5160.H94 коефициенти на несинусоидалност 8,57% и 8,86%. Примерно изчисление е направено за коефициент на несинусоидалност $K_{HU}=20.5\%$ определен при експериментални изследвания за спектъра на хармоници за постояннотоково задвижване на руднична подъемна уредба 315kW, с ниско напрежение, с тиристорен изправител, без ограничаващи филтри за дискриминиране на хармониците (Ментешев, 1986,1996).

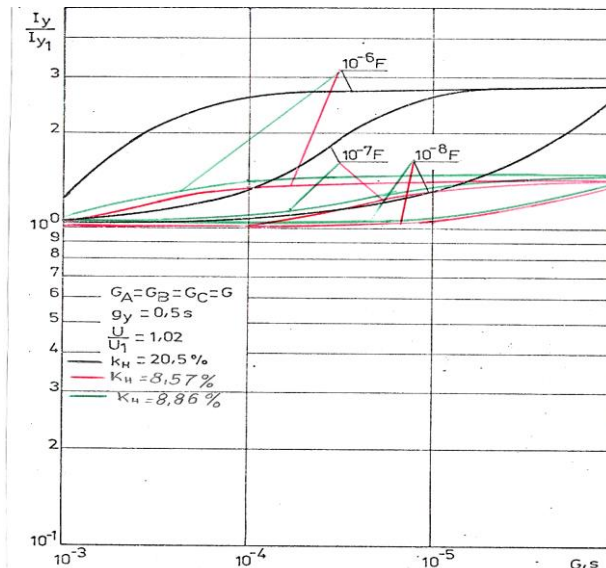
По данни от многогодишни изследвания за рудничните мрежи до 1000V в България (Данков,1991) най-вероятните стойности за активната проводимост $g=10^{-4}s$ ($r=10^4 \Omega$) и на капацитет $1.10^{-6} \mu F$ / фаза. При ограничаване на хармониците до нормираните стойности, токът на утечка I_y ще нараства до 1,34 пъти, а при отсъствие на филтри може да достигне до 2,6 пъти по-голям спрямо тока на утечка I_1 лимитиран от синусоидално напрежение.

Таблица 2

K_{HU}	G,s $C,\mu F$	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}
8,57	10^{-6}	1,11	1,34	1,36	1,37
	10^{-7}	1,06	1,15	1,25	1,36
	10^{-8}	1,05	1,14	1,16	1,30
8,86	10^{-6}	1,18	1,40	1,48	1,51
	10^{-7}	1,21	1,25	1,36	1,48
	10^{-8}	1,21	1,20	1,21	1,35
20,5	10^{-6}	1,30	2,60	2,83	2,90
	10^{-7}	1,08	1,40	2,75	2,85
	10^{-8}	1,07	1,12	1,43	2,86

Данните от изчисленията са отразени частично в таблица 2 и са получени графичните зависимости показани на фиг.1.

Ако се допусне, че всички съвременни изправители и инвертори притежават филтри и ще бъдат спазени нормите на IEC, то в такъв случай токът на утечка, респективно допирното напрежение, ще нараснат от 10 до 40%. С приблизително толкова ще трябва да се намали допустимото съпротивление на защитния заземителен контур.

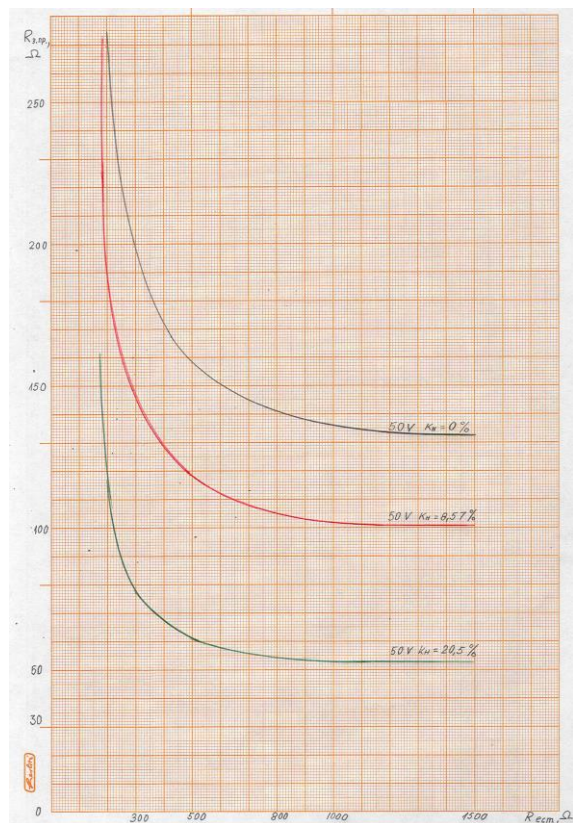


Фиг.1

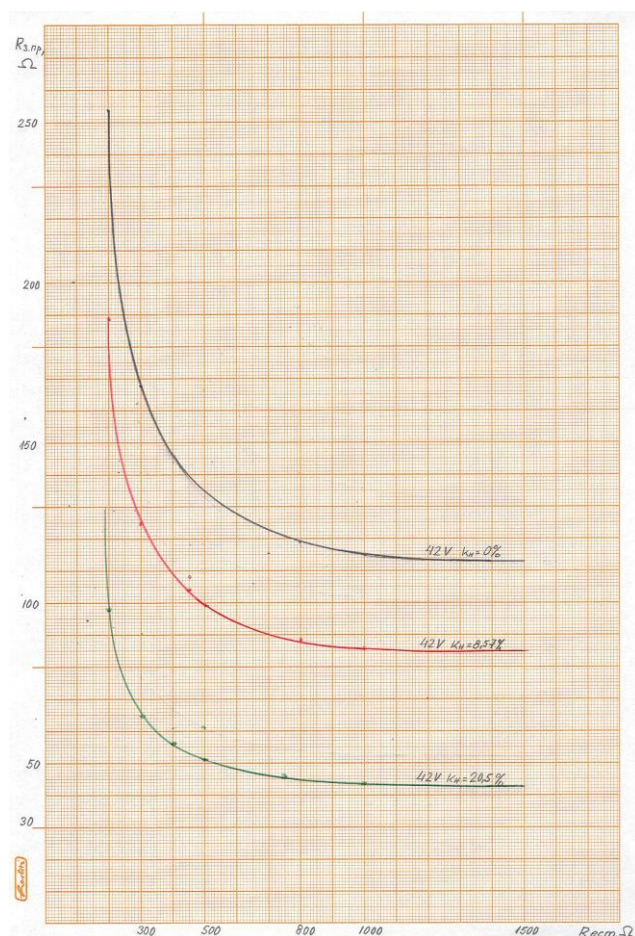
На базата на изчисленията, за IT мрежи с напрежение 380V са построени криви лимитиращи съпротивлението на заземителния контур при синусоидално напрежение ($K_{HU}=0$) и при напрежение, съдържащо хармоници, максимално ограничени до $K_{HU}=8,57\%$ и без филтрация с $K_H=20,5$ (примерно), като функция на естественото съпротивление на заземяване на машината.

Ограничителните криви за съпротивлението на заземителния контур са построени за възприетите

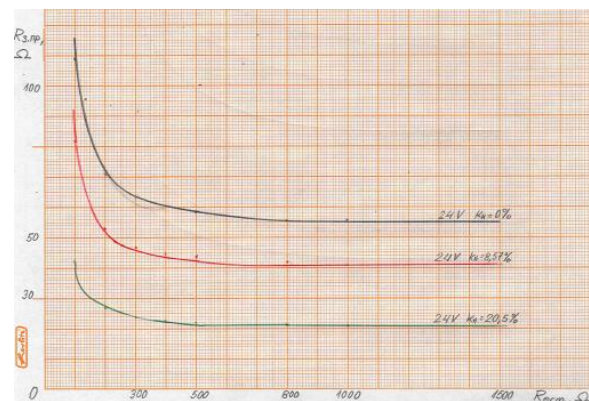
напрежения при индиректен допир: 50V (фиг.2); 42V (фиг.3); 24V (фиг.4) и 12V (фиг.5).



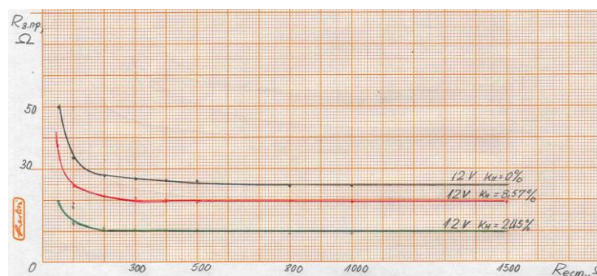
Фиг.2



Фиг.3



Фиг.4



Фиг.5

На таблица 3 са дадени изчислените максимално допустими стойности на заземяване на подвижните машини за използваните в България напрежения, без и с хармонични съставки, при възприети допустими допирни напрежения : 50V; 42V; 24V и 12V, като е игнорирано естественото заземяване на машината.

Приемайки априорно, че заземителната мрежа има съпротивление $\leq 2\Omega$, т.е. отговаря на изискванията в действащите у нас Правилници за техническа безопасност, максимално допустимата стойност на съпротивлението само на защитния проводник в кабела се получава като числата в Таблица 3 се намалят с числото 2.

Таблица 3

Напрежение на мрежата AC, V	Възприето безопасно допирно напрежение, при коефициент на несинусоидалност $K_{нн}$, %					
	50V			42V		
	0	8,57	20,5	0	8,57	20,5
220	193	144	74	164	122	63
380	135	101	52	115	86	44
660	67,5	50	26	103	77	40
1000	44	33	17	69	51	26
1140	38	28	15	59	44	23

Напрежение на мрежата AC, V	Възприето безопасно допирно напрежение, при коефициент на несинусоидалност $K_{нн}$, %					
	24V			12V		
	0	8,57	20,5	0	8,57	20,5
220	78	58	30	36	27	13,8
380	55	41	21	25	19	10
660	48	36	18	12	9	5
1000	42	31	16	8	6	3
1140	37	28	14	6,8	5	3

За най- често срещаното у нас напрежение на рудничните IT мрежи 380V, максимално допустимата стойност за съпротивлението на заземителния контур, на която трябва да се настройт устройствата, които

задължително го контролират в подвижните машини, не трябва да надхвърля посочените в таблица 4

Таблица 4

Степен на замърсеност на мрежата	При възприета безопасна стойност на напрежението, при индиректен допир, V			
	50	42	24	12
Без хармоници, Ω	135	115	55	25
С хармоници ограничени по EN516.H94, Ω	101	86	41	19

Интересно е тези данни да се сравняват с лимитираните в БДС 11623-83 гранични стойности на заземителния контур на подвижните минни машини: 100 Ω за напрежения до 1000V и 50 Ω за напрежения 1000 и 1140V. Те гарантират безопасна стойност на напрежението при индиректен допир до 50V, при наличие на висши хармоници.

Това напрежение в условията на мините не би трябвало да се счита за безопасно, тъй като при съпротивление на човека $R_h=600 \Omega$, токът, който би протекъл през него е 83mA.

В подкрепа на това, че токът е с рискова стойност и не гарантира необходимата степен на безопасност ще приведем следният пример. В масово прилаганите TN системи (TN-C и TN-S) в промишлеността и бита, апаратите за защита от утечки, които гарантират безопасност и при директен допир, най-големите допустими стойности на тока на задействане са $\Delta I = 25 \div 30mA$ (НУЕУЕЛ, 2004), а има защиты с чувствителност $\Delta I = 5 \div 15mA$, които са съобразени със съвременните схващания за безопасни стойности на променливия ток, свързани с големината на отпусащия ток.

В резултат на изследването се налагат следните изводи:

1. Препоръчаните в Нормите максимални стойности за съпротивлението на заземителния контур за подвижните минни машини гарантират напрежение при индиректен допир около 50V, за мрежи с висши

хармоници, което е сравнително високо и рисково и трябва да се ограничи за условията в мините примерно до 18V.

2. Нормите за съпротивлението на заземителния контур на подвижните машини трябва да се регламентират селективно, в зависимост от напрежението в мрежата и от степента на замърсяването ѝ с висши хармоници.
3. Устройствата, които се използват за контрол на заземителния проводник в кабела, захранващ подвижните машини, трябва да се унифицират като се конструират с възможност за въвеждане настройки в зависимост от големината на напрежението на мрежата и степента на замърсеност с висши хармоници.

Литература

- Данков, Е. 19991. Електроснабдяване на минните предприятия. С., Техника.
- Дренков М., 2007. 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.
- Дренков М., 2008. 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.
- Menteshev, M.1996. Safety in Mine Electric Circuits with Higher Harmonics in the Voltage, DEVA, 7-9.05.
- Ментешев М., Ст. Чобанов, М. Дренков, 2007. Защитно заземяване на подвижните минни машини, С. Минно дело и геология, №6.
- Ментешев, М. С., 1986. Безопасно прилагане на електрическата енергия в рудничните мрежи за Ниско напрежение. ДИС за пол. н.ст. доктор на техн. науки. ВМГИ. С.
- Наредба №3 за устройството на електрическите уреди и електропреносни линии. 2004. С., ABC Техника.
- Правилник за безопасността на труда при разработване на въглищни находища. 1982, С. Техника,
- Правилник по безопасност на труда при разработване на рудни и нерудни находища по подземен начин., С. Техника.
- IEC 60364-4-41
- БДС 11 623-83

Препоръчана за публикуване от
Редакционен съвет