

Jakość zasilania - poradnik

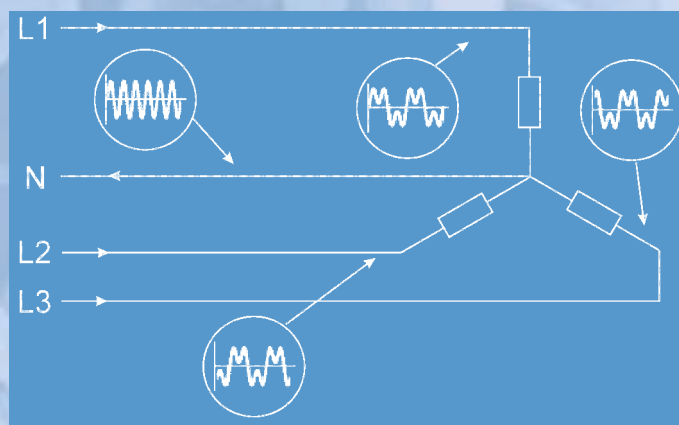


Leonardo da Vinci

Harmoniczne

*Dobór przekroju przewodów neutralnych
w instalacjach o wysokiej zawartości harmonicznych*

3.5.1



Harmoniczne

Dobór przekroju przewodów neutralnych w instalacjach o wysokiej zawartości harmonicznych

Prof. Jan Desmet, Hogeschool West-Vlaanderen &

Prof. Angelo Baggini, Università di Bergamo

Czerwiec 2003



Niniejszy Poradnik został opracowany jako część europejskiego programu edukacyjnego i szkoleniowego Jakość Zasilania Inicjatywa Leonardo (LPQI), wspieranego przez Komisję Europejską (w ramach Programu Leonardo da Vinci) i Międzynarodowe Stowarzyszenie Miedzi. Dla uzyskania bliższych informacji odwiedź stronę LPQI www.lpqi.org.



Polskie Centrum Promocji Miedzi S.A. (PCPM S.A.)

Polskie Centrum Promocji Miedzi S.A. jest organizacją non-profit, finansowaną przez dostawców miedzi oraz producentów pragnących zachęcić odbiorców do stosowania miedzi i jej stopów oraz promujących ich prawidłowe i efektywne zastosowanie. Działalność Centrum obejmuje zapewnienie technicznego doradztwa i informacji tym, którzy są zainteresowani wykorzystaniem miedzi w jej wszystkich aspektach. Centrum również zapewnia łączność między jednostkami badawczymi a przemysłem wykorzystującym miedź w produkcji oraz utrzymuje bliską łączność z innymi organizacjami zajmującymi się rozwojem miedzi na całym świecie.



Europejski Instytut Miedzi (ECI)

Europejski Instytut Miedzi jest spółką joint venture Międzynarodowego Stowarzyszenia na Rzecz Miedzi (ICA) i IWCC. ECI, dzięki swoim członkom, zajmuje się w imieniu największych producentów miedzi na świecie i czołowych europejskich producentów - promocją miedzi w Europie. Powstały w styczniu 1996 roku Europejski Instytut Miedzi jest wspierany dzięki sieci dziesięciu Towarzystw Rozwoju Miedzi (CDA) w krajach Beneluksu, we Francji, w Niemczech, Grecji, na Węgrzech, we Włoszech, w Polsce, Skandynawii, Hiszpanii i Wielkiej Brytanii. Towarzystwo rozwija swoją działalność podjętą przez CDA powstałą w 1959 roku oraz dzięki INCRA (Międzynarodowemu Towarzystwu Badań Miedzi) powstałemu w 1961 roku.

Zrzeczenie się odpowiedzialności

Niniejszy projekt nie musi odzwierciedlać stanowiska Komisji Europejskiej ani nie nakłada na Komisję Europejską żadnej odpowiedzialności.

Europejski Instytut Miedzi, Deutsches Kupferinstitut i Polskie Centrum Promocji Miedzi zrzekają się wszelkiej odpowiedzialności za wszelkie bezpośrednie lub pośrednie skutki jak również nie przewidziane szkody, które mogą być poniesione w wyniku użycia informacji lub nieumiejętnego użycia informacji lub danych zawartych w niniejszej publikacji.

Copyright© European Copper Institute, Deutsches Kupferinstitut and Polskie Centrum Promocji Miedzi.

Reprodukcja materiału zawartego w niniejszej publikacji jest legalna pod warunkiem reprodukcji w całości i po dania jej źródła.

Promocja LPQI w Polsce prowadzona jest w ramach Polskiego Partnerstwa Jakości Zasilania

Dobór przekroju przewodów neutralnych w instalacjach o wysokiej zawartości harmonicznych

Wstęp

Niniejsza część Poradnika dotyczy doboru przekroju przewodów neutralnych w sytuacji występowania problemów związanych z jakością energii, a powodowanych przez „potrójne” harmoniczne prądu, tzn. takie, których rząd jest wielokrotnością trzech. To zagadnienie jest szczególnie istotne w systemach niskiego napięcia, w których emisja harmonicznych przez odbiorniki jednofazowe jest coraz poważniejszym problemem. Prądy „potrójnych” harmonicznych sumują się arytmetycznie w przewodzie neutralnym, a nie zerują się tak, jak to ma miejsce w przypadku symetrii składowej podstawowej prądu i harmonicznych innych rzędów. W wyniku tego prądy neutralne są często znacząco większe, typowo do 170%, niż prądy fazowe.

Dobór przekroju przewodów jest regulowany przez normę IEC 60364, Część 5-52: „Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego – oprzewodowanie”. Norma ta zawiera przepisy i zalecenia dotyczące doboru przekroju przewodów w zależności od prądu odbiornika, rodzaju izolacji kabli oraz sposobu wykonania i warunków eksploatacji instalacji. Niektóre postanowienia normy, wraz z wytycznymi o charakterze informacyjnym, zawartymi w załączniku D, dotyczą doboru przekroju przewodu neutralnego w obecności harmonicznych. Normy krajowe odpowiadają ściśle normie IEC 60364, ale w związku ze znacznym opóźnieniem w ich wprowadzaniu, większość z nich nie traktuje zagadnienia doboru przekroju przewodu neutralnego w sposób kompleksowy. Ponieważ niewielu instalatorów i projektantów ma łatwy dostęp do norm IEC, opierają się oni wyłącznie na krajowych przepisach i w sprawie doboru przekroju przewodów neutralnych muszą polegać na swojej własnej wiedzy i doświadczeniu. Celem niniejszej noty aplikacyjnej jest wyjaśnienie zagadnień związanych z wymiarowaniem przewodów neutralnych i przedstawienie wytycznych IEC szerszemu gronu zainteresowanych odbiorców.

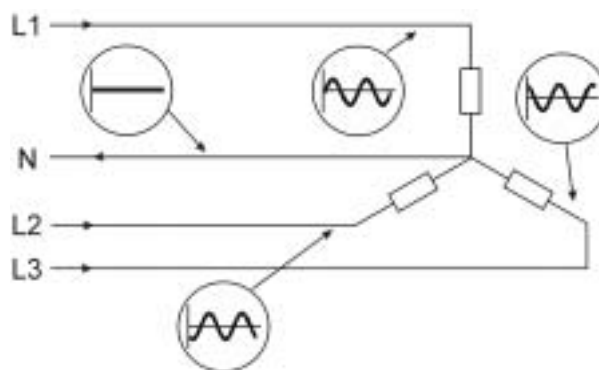
Podstawy teoretyczne

W układzie trójfazowym połączonym w gwiazdę prąd w przewodzie neutralnym jest wektorową sumą trzech prądów fazowych. W symetrycznym układzie sinusoidalnych prądów trójfazowych ich suma jest w każdej chwili równa zero, zatem prąd w przewodzie neutralnym jest równy zero (rys. 1).

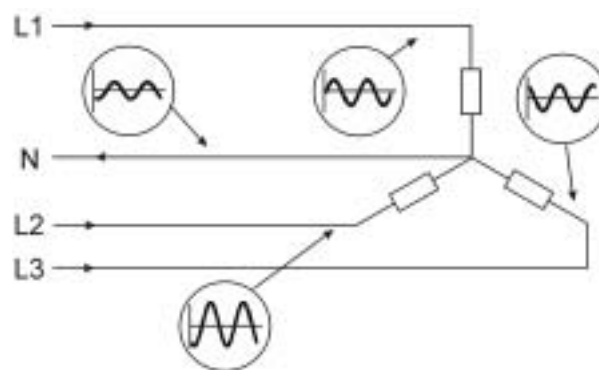
W trójfazowym systemie elektroenergetycznym zasilającym odbiorniki liniowe prąd w przewodzie neutralnym rzadko jest równy zero, ponieważ obciążenie każdej fazy jest inne. W typowych warunkach ta różnica jest niewielka i w każdym przypadku mniejsza niż prądy fazowe (rys. 2).

Jeżeli zasilane odbiorniki są nieliniowe, to, nawet, jeżeli obciążenia są symetrycznie rozłożone pomiędzy fazami, prąd w przewodzie neutralnym może być znaczny. Dla prądów niesinusoidalnych, nawet o tej samej wartości skutecznej, suma trzech prądów fazowych może być różna od zera. Na przykład, prądy o przebiegu prostokątnym i równych wartościach skutecznych dadzą w wyniku znaczny prąd neutralny (rys. 3).

W istocie, składowe trzeciej harmonicznej (i wszystkich innych harmonicznych, których rząd jest wielokrotnością trzech – szóstej, dziewiątej itd.) prądów fazowych są zgodne w fazie (tzn. są składowymi symetrycznymi kolejności zerowej), a więc sumują się, zamiast znosić się w wyniku dodawania wektorowego (p. rys. 4).



Rys. 1. Prąd neutralny trójfazowego symetrycznego odbiornika jest równy zero



Rys. 2. Prąd neutralny trójfazowego niesymetrycznego odbiornika nie jest równy zero, ale jest mniejszy niż prąd fazowy

Dobór przekroju przewodów neutralnych w instalacjach o wysokiej zawartości harmonicznych

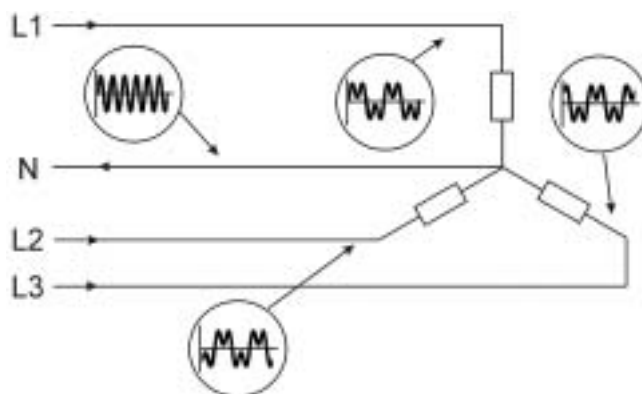
Z powodu trzeciej harmonicznej amplituda prądu neutralnego może przewyższać amplitudę prądu fazowego dla częstotliwości zasilania.

Wymagania normy

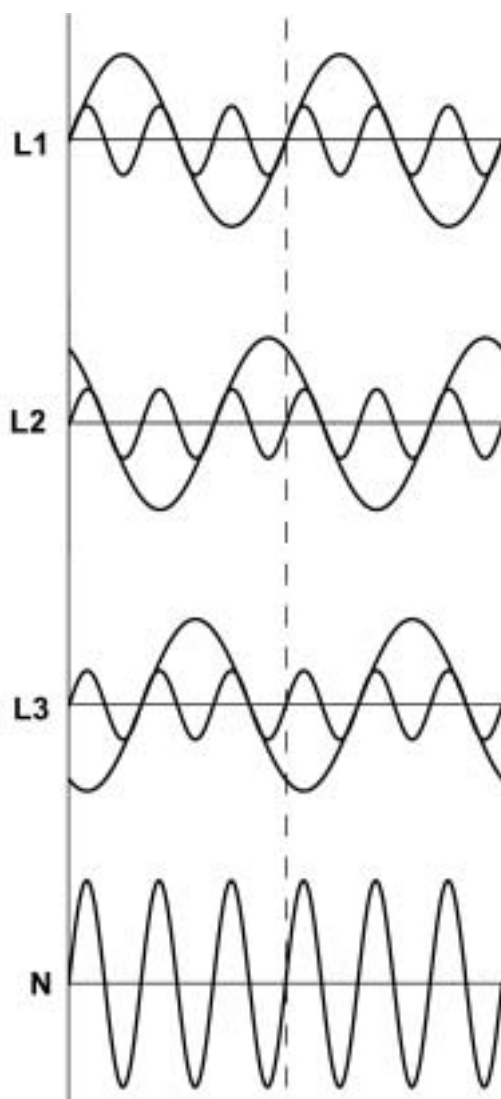
Norma IEC 60364-5-52:2001 „Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych – część 5-52: Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego – przewodowanie” dotyczy bezpiecznego instalowania obwodów z punktu widzenia technik instalacyjnych i doboru przekroju przewodów. Sposób instalacji często wpływa na warunki cieplne, w których kabel jest eksploatowany i tym samym na obciążalność prądową przewodu lub obwodu. Jeżeli kable należące do kilku obwodów są instalowane w tych samych rurach, listwach lub przestrzeniach instalacyjnych, to w wyniku wzajemnego ogrzewania obciążalność prądowa każdego kabla ulega zmniejszeniu. Inaczej mówiąc - obciążalność prądowa kabla jest określona przez ilość ciepła wytwarzanego przez płynący w nim prąd i przez ilość ciepła, która może być odprowadzona przez konwekcję. Oba te czynniki wyznaczają temperaturę pracy kabla, która oczywiście nie może być wyższa niż dopuszczalna dla danego materiału izolacji: 70°C dla izolacji z tworzyw termoplastycznych (jak PVC) lub 90°C dla izolacji termoutwardzalnej (jak polietylen usieciowany XLPE). Parametry znamionowe i współczynniki korekcyjne podane w normie są oparte na badaniach praktycznych i obliczeniach teoretycznych dla typowych warunków i wymagają modyfikacji w celu uwzględnienia rzeczywistych warunków pracy konkretnej instalacji. Ponieważ obecność „potrójnych” harmonicznych w przewodzie neutralnym powoduje zwiększenie wydzielania ciepła, dobór wymiaru kabla musi uwzględniać poprawkę na to zjawisko.

Informacje odnoszące się do doboru przekroju przewodu neutralnego w przypadku prądów niesinusoidalnych można znaleźć w normie IEC 60364-5-524. Rozdział 524.2. wskazuje, że przewód neutralny powinien mieć co najmniej taki sam przekrój jak przewody fazowe:

- w obwodach dwuprzewodowych jedno-fazowych dotyczy to wszystkich wartości przekrojów przewodów,
- w obwodach wielofazowych i w trójprzewodowych obwodach jednofazowych¹, w których przekrój poprzeczny przewodów fazowych wynosi nie więcej niż 16 mm² dla miedzi lub 25 mm² dla aluminium.



Rys. 3. Prąd neutralny trójfazowego nieliniowego odbiornika nie jest równy zero i może być większy niż prąd fazowy, ze względu na obecność harmonicznych tworzących układ składowych symetrycznych kolejności zerowej



Rys. 4. Prąd trzeciej harmonicznej w przewodzie neutralnym

¹ tj. w obwodach z wyprowadzonym środkiem, w których punkt środkowy jest punktem neutralnym.

Dobór przekroju przewodów neutralnych w instalacjach o wysokiej zawartości harmonicznych

Rozdział 524.3 stanowi, że w innych obwodach wielofazowych przekrój przewodu neutralnego może być zmniejszony, jeżeli spełnione są wszystkie poniższe warunki:

- maksymalny przewidywany prąd, łącznie z harmonicznymi, jeżeli występują w przewodzie neutralnym podczas normalnej pracy jest nie większy niż długotrwała obciążalność prądowa dla zmniejszonego przekroju przewodu neutralnego,
- przewód neutralny ma zabezpieczenie nadprądowe,
- przekrój przewodu neutralnego wynosi co najmniej 16 mm² dla miedzi lub 25 mm² dla aluminium.

Warunki te są normatywne, tzn. muszą być przestrzegane w celu zachowania zgodności z normą. Spełnienie ich wymaga jednak znajomości rodzaju i liczby odbiorników, które będą użytkowane po włączeniu instalacji do eksploatacji – niestety ta informacja jest rzadko dostępna. Norma zawiera również załącznik informacyjny, który podaje metodologię prawidłowego doboru przekroju kabli. Zawarta w nim informacja, w postaci raczej wytycznych i zaleceń niż przepisów, ma być pomocna dla projektanta.

Niniejsza część Poradnika przedstawia te wytyczne wraz z przykładami liczbowymi i komentarzami dotyczącymi zmniejszania dopuszczalnego obciążenia we wspólnie wykorzystywanych kanałach kablowych oraz skutków spadków napięcia.

Wytyczne według normy

Zaburzenia w systemie zasilającym lub obciążeniu mogą w znacznym stopniu wpływać na funkcjonowanie podzespołów lub przewodów elektrycznych. Spośród wszystkich zaburzeń elektromagnetycznych, które mają wpływ na kable energetyczne, jednym z najbardziej istotnych są harmoniczne. Skutki tego zjawiska mogą prowadzić do przeciążenia zarówno przewodów fazowych, jak i neutralnych. Przedmiotem uwagi niniejszej części Poradnika będzie dobór przekroju przewodu neutralnego.

Należy zauważyć, że w tabelach obciążalności prądowej zamieszczonych w normie przyjęto szereg założeń; ocena, czy są one spełnione, oraz uwzględnienie stosownych poprawek należy do projektanta. Najważniejszym założeniem jest to, że w cztero- lub pięcifyłowym kablu tylko trzy żyły przewodzą prąd, lub inaczej - obciążenie jest symetryczne i liniowe. W sytuacji, gdy obciążenie jest niesymetryczne, lecz liniowe, prąd będący rezultatem jego asymetrii płynie w przewodzie neutralnym, ale jego wpływ jest kompensowany przez fakt, że przynajmniej w jednym przewodzie fazowym prąd ma mniejszą wartość. Zakładając, że żaden z przewodów fazowych nie jest przeciążony całkowite straty ciepłne w kablu nie są nadmierne. Kiedy obciążenie jest nieliniowe, występuje prąd neutralny, który, podobnie jak trzy prądy fazowe, ma swój udział w całkowitych stratach ciepłnych.

W warunkach odkształcenia prądu, opisanego w paragrafie 1.2. wydzielanie ciepła w przewodniku, spowodowane zjawiskiem Joule'a, jest większe w porównaniu z warunkami obciążenia idealnie liniowego, co powoduje zmniejszenie obciążalności linii. Ponadto, przewody neutralne w istniejących budynkach, których przekroje często były dobierane zbyt nisko w stosunku do przekroju przewodów fazowych (paragraf 1.3.), mogą być przeciążone, nawet jeżeli prąd neutralny nie przekracza znamionowego prądu fazowego.

Wyznaczenie prądu neutralnego w wartościach bezwzględnych nie jest możliwe, jeżeli nie jest znany rzeczywisty lub teoretyczny kształt przebiegu czasowego prądów obciążenia. W przybliżeniu można przyjąć, że prąd neutralny może wynosić 1,61 prądu fazowego w przypadku obciążenia takimi odbiornikami, jak komputery, natomiast w najgorszym przypadku, dla prostowników sterowanych i dużych kątów wysterowania, tj. niskich wartości napięcia wyprostowanego ($\alpha \geq 60^\circ$), może osiągnąć wartość 1,73 prądu fazowego.

Najprostszym sposobem rozwiązania tego problemu jest przyjęcie odpowiednich współczynników korekcyjnych dla wyznaczenia obciążalności prądowej kabla. Załącznik D do normy IEC 60364-5-52 podaje również metodologię określania odpowiedniego współczynnika w celu zmniejszenia parametrów znamionowych. Dla uproszczenia podejście to zakłada, że:

- system jest trójfazowy i symetryczny,
- jedyną znaczącą harmoniczną, której wartość w przewodzie neutralnym nie podlega redukcji jest trzecia harmoniczna (tzn. amplitudy pozostałych „potrójnych” harmonicznych są stosunkowo małe, a inne harmoniczne są w przybliżeniu symetryczne i ich suma jest równa zero), oraz
- kabel jest 4- lub 5 żyłowy, z żyłą neutralną z tego samego materiału i o tym samym przekroju poprzecznym co przewody fazowe.

Dobór przekroju przewodów neutralnych w instalacjach o wysokiej zawartości harmonicznych

Ściśle rzecz biorąc, wyliczenie skutków obecności harmonicznego prądu powinno również uwzględniać zjawisko naskórkowości, które zmniejsza obciążalność w zależności od wymiaru przewodnika, ale w pierwszym przybliżeniu można je pominąć.

Tabela 1 przedstawia zalecane współczynniki redukcji.

3 harmoniczna prądu fazowego (%)	Wartość dobrana na podstawie prądu fazowego	Wartość dobrana na podstawie prądu neutralnego
0-15	1,00	-
15-33	0,86	-
33-45	-	0,86
> 45	-	1,00

Tabela 1. Współczynniki redukcji dla kabli wiodących prądy „potrójnych” harmonicznych

W celu obliczenia obciążalności kabla z czterema lub pięcioma żyłami, kiedy prąd neutralny zawiera harmoniczne, należy pomnożyć standardową obciążalność prądową kabla przez współczynnik korekcji.

Dla prądów fazowych o zawartości „potrójnych” harmonicznych do 15%, norma nie zaleca zwiększenia przekroju przewodu neutralnego. W tych warunkach można spodziewać się prądu neutralnego o wartości do 45% prądu fazowego i wzrostu wydzielania ciepła o około 6% w porównaniu z parametrami znamionowymi kabla. Taki nadmiar jest zwykle tolerowany, z wyjątkiem sytuacji, w których kabel jest instalowany w miejscu o złej wentylacji lub jeżeli w pobliżu występują inne źródła ciepła. Dodatkowy margines bezpieczeństwa może być pożądanym na przykład w przestrzeniach zamkniętych.

Dla prądów fazowych o zawartości „potrójnych” harmonicznych od 15% do 33% można oczekiwać, że prąd neutralny będzie zbliżony do prądu fazowego, a obciążalność kabla winna być obniżona, uwzględniając współczynnik 0,86. Inaczej mówiąc – dla prądu 20 A należy dobrać kabel o obciążalności 24 A.

Jeżeli „potrójna” składowa harmoniczna prądu fazowego przekracza 33%, obciążalność kabla należy określić na podstawie prądu neutralnego. Dla prądów fazowych o zawartości „potrójnych” harmonicznych od 33% do 45%, wymiar kabla jest determinowany wartością prądu neutralnego, a obciążalność prądowa zmniejszona w stopniu wynikającym ze współczynnika 0,86. Przy zawartości „potrójnych” harmonicznych 45% przekrój poprzeczny kabla jest dobierany ze względu na prąd neutralny, tj. 135% prądu fazowego z uwzględnieniem współczynnika 0,86.

Przy jeszcze wyższej zawartości „potrójnych” harmonicznych, np. w typowym, najgorszym przypadku 57%, wymiar kabla jest determinowany wyłącznie przez prąd neutralny. Nie ma potrzeby stosowania współczynnika korekcyjnego, ponieważ w tym przypadku przewody fazowe są przewymiarowane.

Ponieważ dane dla współczynników redukcji zostały obliczone tylko z uwzględnieniem wartości trzeciej harmonicznej prądu, większa niż 10% zawartość „potrójnych” harmonicznych wyższych rzędów może spowodować dalsze zmniejszenie dopuszczalnego prądu. Opisana sytuacja może być szczególnie krytyczna, jeżeli przewód neutralny jest wykorzystywany wspólnie przez kilka obwodów (jeżeli lokalne przepisy dopuszczają takie rozwiązanie).

Tabele 2 do 5 przedstawiają, jak obciążalność zmienia się w przypadku obecności i braku prądów trzeciej harmonicznej. Prądy znamionowe zostały obliczone zgodnie z normą IEC 60364-5-523. Podane w tabelach parametry dotyczą 4-żyłowego kabla 0,6/1kV z izolacją termoutwardzalną (90°C).

Dobór przekroju przewodów neutralnych w instalacjach o wysokiej zawartości harmonicznych

Przekrój poprzeczny (mm ²)	W powietrzu (30°C)		W ziemi (20°C)			
	Bez osłony	W rurze	W rurze $\rho = 1$	W rurze $\rho = 1,5$	Bezpośrednio $\rho = 1$	Bezpośrednio $\rho = 1,5$
1,5	23	19,5	20	19	30	26
2,5	32	26	26	25	40	36
4	42	35	33	32	51	45
6	54	44	43	41	65	56
10	75	60	59	55	88	78
16	100	80	76	72	114	101
25	127	105	100	93	148	130
35	158	128	122	114	178	157
50	192	154	152	141	211	185
70	246	194	189	174	259	227
95	298	233	226	206	311	274
120	346	268	260	238	355	311
150	399	300	299	272	394	345

Tabela 2. Obciążalność prądowa [A] przy zawartości 3 harmonicznej do 15% (kabel 0,6/1kV 4-żyłowy, 90°C)

Przekrój poprzeczny (mm ²)	W powietrzu (30°C)		W ziemi (20°C)			
	Bez osłony	W rurze	W rurze $\rho = 1$	W rurze $\rho = 1,5$	Bezpośrednio $\rho = 1$	Bezpośrednio $\rho = 1,5$
1,5	20	17	17	16	26	22
2,5	28	22	22	22	34	31
4	36	30	28	28	44	39
6	46	38	37	35	56	48
10	65	52	51	47	76	67
16	86	69	65	62	98	87
25	109	90	86	80	127	112
35	136	110	105	98	153	135
50	165	132	131	121	181	159
70	212	167	163	150	223	195
95	256	200	194	177	267	236
120	298	230			224	205
150	343	258			257	234

Tabela 3. Obciążalność prądowa [A] przy zawartości 3 harmonicznej do 33% (kabel 0,6/1kV 4-żyłowy, 90°C)

Przekrój poprzeczny (mm ²)	W powietrzu (30°C)		W ziemi (20°C)			
	Bez osłony	W rurze	W rurze $\rho = 1$	W rurze $\rho = 1,5$	Bezpośrednio $\rho = 1$	Bezpośrednio $\rho = 1,5$
1,5	15	12	13	12	19	17
2,5	20	17	17	16	25	23
4	27	22	21	20	32	29
6	34	28	27	26	41	36
10	48	38	38	35	56	50
16	64	51	48	46	73	64
25	81	67	64	59	94	83
35	101	82	78	73	113	100
50	122	98	97	90	134	118
70	157	124	120	111	165	145
95	190	148	144	131	198	175
120	220	171	166	152	226	198
150	254	191	190	173	251	220

Tabela 4. Obciążalność prądowa [A] przy zawartości 3 harmonicznej równej 45% (kabel 0,6/1kV 4-żyłowy, 90°C)

Dobór przekroju przewodów neutralnych w instalacjach o wysokiej zawartości harmonicznych

Przekrój poprzeczny (mm ²)	W powietrzu (30°C)		W ziemi (20°C)			
	Bez osłony	W rurze	W rurze $\rho = 1$	W rurze $\rho = 1,5$	Bezpośrednio $\rho = 1$	Bezpośrednio $\rho = 1,5$
1,5	13	11	11	11	17	14
2,5	18	14	14	14	22	20
4	23	19	18	18	28	25
6	30	24	24	23	36	31
10	42	33	33	31	49	43
16	56	44	42	40	63	56
25	71	58	56	52	82	72
35	88	71	68	63	99	87
50	107	86	84	78	117	103
70	137	108	105	97	144	126
95	166	129	126	114	173	152
120	192	149	144	132	197	173
150	222	167	166	151	219	192

Tabela 5 – Obciążalność prądowa [A] przy zawartości 3 harmonicznej równej 60% (kabel 0,6/1kV 4-żyłowy, 90 °C)

Przy stosowaniu kabli jednożyłowych dobór przekroju przewodu neutralnego i fazowego jest niezależny. Z drugiej strony, wzajemne oddziaływanie termiczne jest trudniejsze do modelowania analitycznego z powodu zmiennego wzajemnego położenia.

Najbardziej bezpośrednim sposobem postępowania jest niezależny dobór przekroju przewodu neutralnego. Pamiętając, że zachowanie się obwodu pod względem cieplnym i jego reakcja zależą od wzajemnego położenia przewodów, należy uwzględnić dodatkowe czynniki, w tym:

- Gdy kabel jest układany razem z innymi kablami, płynący w nim większy prąd (tj. prąd harmoniczny w przewodzie neutralnym) wytwarza więcej ciepła, które oddziałuje na pozostałe kable. Ten efekt należy uwzględnić stosując odpowiednie współczynniki zmniejszające.
- Spadek napięcia w przewodzie neutralnym wywołany „potrójnymi” harmonicznymi powoduje harmoniczne odkształcenie napięcia we wszystkich fazach sieci zasilającej. Może to wymagać dalszego zwiększenia przekroju przewodu neutralnego w długich ciągach kablowych.

Szczególną uwagę należy poświęcić kablom opancerzonym lub w ekranie metalicznym. Harmoniczne mogą powodować znaczny wzrost prądów wirowych w pancerzu lub ekranie. Jeżeli zatem przewiduje się, że prąd obciążenia będzie odkształcony, to przekrój przewodu neutralnego nigdy nie powinien być mniejszy niż odpowiadających mu przewodów fazowych. To samo, oczywiście, stosuje się do wszystkich elementów osprzętu instalacyjnego w obwodzie neutralnym.

Jeżeli projektowe wymiary obwodu, w którym płynie prąd neutralny, przewyższają parametry elementów obwodów prądów fazowych, co może się zdarzyć nawet w standardowych systemach elektrycznych, trudno jest znaleźć odpowiednie podzespoły dostępne handlowo, które mogą być prawidłowo zintegrowane z systemem. Jedyną alternatywą jest ograniczenie obciążenia albo dobór większego przekroju obwodów fazowych. Oczywiście zabezpieczenie powinno być prawidłowo dobrane do mniejszego przekroju przewodu fazowego.

Dla obwodów odbiorczych powinno się zaplanować oddzielne przewody neutralne dla każdej linii i oddzielne obwody dla każdego nieliniowego odbiornika. W ten sposób zapewnia się również najlepszą możliwą „niezależność elektromagnetyczną” (najmniejsze sprzężenie elektromagnetyczne) pomiędzy elementami zaburzającymi i wrażliwymi. Możliwie najbardziej symetryczne rozłożenie odbiorników pomiędzy poszczególne fazy pozwala uniknąć jeszcze większego prądu w przewodzie neutralnym, spowodowanego asymetrią. Powyższe rozważania są tak samo istotne i stosują się w równym stopniu do kabli o dużych jak i średnich przekrojach. Mogą być również stosowane, co najmniej z dobrym przybliżeniem, do przewodów szynowych.

Przykład liczbowy

Rozważmy następujący przykład: do zainstalowania odbiornika trójfazowego o prądzie znamionowym 39 A ma być użyty kabel 4-żyłowy w izolacji PVC (70°C), układany bezpośrednio na ścianie. W praktyce, przy braku harmonicznych, zwykle stosuje się kabel z żyłami z miedzi o przekroju 6 mm² i obciążalności prądowej 41 A.

Dobór przekroju przewodów neutralnych w instalacjach o wysokiej zawartości harmonicznych

Przy zawartości trzeciej harmonicznej 20%, z zastosowaniem współczynnika redukcji 0,86, równoważny prąd wynosi:

$$\frac{39,0}{0,86} = 45,4$$

dla którego wymagany będzie kabel o przekroju 10mm².

Przy zawartości trzeciej harmonicznej, wynoszącej 40%, należy dobrać przekrój kabla zgodnie z prądem neutralnym, równym:

$$39 \cdot 0,4 \cdot 3 = 46,84$$

Stosując współczynnik redukcji 0,86 dla prądu znamionowego, otrzymujemy:

$$\frac{46,8}{0,86} = 54,4$$

Tak więc kabel o przekroju 10mm² będzie również odpowiedni dla tego obciążenia.

Przy zawartości trzeciej harmonicznej 50%, przekrój kabla nadal zależy od prądu neutralnego:

$$39 \cdot 0,5 \cdot 3 = 58,54$$

Wymagany przekrój kabla wyniesie 16mm² (w tym przypadku współczynnik redukcji jest równy 1).

Wnioski

Dyskusja przedstawiona w tej części Poradnika pokazuje, jak powszechnie stosowane rozwiązania projektowe, obowiązujące, gdy nie występują problemy z jakością energii, stają się błędne, kiedy nie są spełnione założenia teoretyczne, na których zostały oparte. W tym przypadku nie jest spełnione założenie, że przebiegi prądów i napięć są idealne.

Powszechnie stosowana „stara” praktyka wyznaczania przekroju przewodu neutralnego zalecała dobór przekroju mniejszego lub równego przekrojowi przewodów fazowych oraz stosowanie układu ze wspólnym przewodem neutralnym, wykorzystywanym przez kilka obwodów.

Z drugiej strony, prawidłowe uwzględnienie zjawisk elektromagnetycznych występujących w odbiornikach nieliniowych wymaga doboru przewodu neutralnego o przekroju większym lub równym przekrojowi przewodów fazowych, odpowiadającego rzeczywistej wartości płynącego w nim prądu. Wymagane jest również stosowanie oddzielnego przewodu neutralnego dla każdej linii (dawniej obowiązujące w niektórych krajach).

Przykład liczbowy pokazuje, że problemy mogą pojawić się zarówno w „ważnych” odcinakach linii, jak i w obwodach odbiorczych dowolnego systemu elektrycznego.

Literatura

- [1] Chizzolini P., Noferi P. L.: *Ottimizzazione degli interventi sulla rete di distribuzione mirati al miglioramento della continuità del servizio elettrico*. LXXXVII Riunione AEI, Firenze 1986.
- [2] Korponay N., Minkner R.: *Analysis of the new IEC drafts for 185 (44-1) and 186 (44-2) instruments transformers in relation to the requirements of modern protection systems*. Journée d'études: Les transformateurs de mesure E2-20 SEE novembre 1989.
- [3] Gruzs T. M.: *A survey of neutral currents in three-phase computer power systems*. IEEE Transaction on industry applications, vol. 26, n°4 July/August 1990.
- [4] IEC 364-5-52 - *Electrical Installations in Buildings - Part 5-52: Selection and Erection of Electrical Equipment - Wiring Systems*.

Notatki

Partnerzy główni i referencyjni

European Copper Institute
(ECI)
Web: www.eurocopper.org

Engineering Consulting & Design
(ECD)
Web: www.ecd.it

Polskie Centrum Promocji Miedzi
(PCPM)
Web: www.miedz.org.pl

Akademia Górniczo-Hutnicza
(AGH)
Web: www.agh.edu.pl

Hochschule für Technik und Wirtschaft
(HTW)
Web: www.htw-saarland.de

Provinciale Industriële Hogeschool
(PIH)
Web: www.pih.be

Centre d'Innovació Tecnològica en
Convertidors Estàtics i Accionaments
(CITCEA)
Web: www-citcea.upc.es

Istituto Italiano del Rame
(IIR)
Web: www.iir.it

Università di Bergamo
Web: www.unibg.it

Comitato Elettrotecnico Italiano
(CEI)
Web: www.ceiuni.it

International Union of Electrotechnology
(UIE)
Web: www.uie.org

University of Bath
Web: www.bath.ac.uk

Copper Benelux
Web: www.copperbenelux.org

ISR - Universidade de Coimbra
Web: www.uc.pt

University of Manchester Institute of
Science and Technology (UMIST)
Web: www.umist.ac.uk

Copper Development Association
(CDA UK)
Web: www.cda.org.uk

Katholieke Universiteit Leuven
(KU Leuven)
Web: www.kuleuven.ac.be

Politechnika Wroclawska
Web: www.pwr.wroc.pl

Deutsches Kupferinstitut
(DKI)
Web: www.kupferinstitut.de

La Escuela Técnica Superior de
Ingenieros Industriales (ETSII)
Web: www.etsii.upm.es

Zespół redakcyjny

David Chapman (Chief Editor)	CDA UK	david.chapman@copperdev.co.uk
Prof Angelo Baggini	Università di Bergamo	angelo.baggini@unibg.it
Dr Araceli Hernández Bayo	ETSII - Universidad Politécnica de Madrid	ahernandez@etsii.upm.es
Prof Ronnie Belmans	UIE	ronnie.belmans@esat.kuleuven.ac.be
Franco Bua	ECD	franco.bua@ecd.it
Prof Anibal de Almeida	ISR - Universidade de Coimbra	adealmeida@isr.uc.pt
Hans De Keulenaer	ECI	hdk@eurocopper.org
Gregory Delaere	Lemcko	gregory.delaere@howest.be
Prof Jan Desmet	Hogeschool West-Vlaanderen	jan.desmet@howest.be
Dipl-Ing Marcel Didden	KU Leuven	marcel.didden@mech.kuleuven.ac.be
Dr Johan Driesen	KU Leuven	johan.driesen@esat.kuleuven.ac.be
Stefan Fassbinder	DKI	sfassbinder@kupferinstitut.de
Prof Zbigniew Hanzelka	Akademia Górniczo-Hutnicza	hanzel@uci.agh.edu.pl
Dr Antoni Klajn	Politechnika Wroclawska	antoni.klajn@pwr.wroc.pl
Reiner Kreutzer	HTW	rkreutzer@htw-saarland.de
Prof Wolfgang Langguth	HTW	wlang@htw-saarland.de
Jonathan Manson	Gorham & Partners Ltd	jonathanm@gorham.org
Prof Henryk Markiewicz	Politechnika Wroclawska	henryk.markiewicz@pwr.wroc.pl
Carlo Masetti	CEI	masetti@ceiuni.it
Dr Jovica Milanovic	UMIST	jovica.milanovic@umist.ac.uk
Dr Miles Redfern	University of Bath	eesmar@bath.ac.uk
Andreas Sumper	CITCEA	sumper@citcea.upc.es
Roman Targosz	PCPM	cem@miedz.org.pl



Prof Angelo Baggini



Università di Bergamo
v.le Marconi 5
Dalmine 24044
Italy

Tel: 00 39 035 2052353
Fax: 00 39 035 2052377
Email: angelo.baggini@unibg.it
Web: www.unibg.it



Prof Jan Desmet



Hogeschool West-Vlaanderen
Graaf Karel de Goedelaan 5
8500 Kortrijk
Belgium

Tel: 00 32 56 24 12 39
Fax: 00 32 56 24 12 34
Email: jan.desmet@howest.be
Web: www.pih.be



POLSKIE
CENTRUM
PROMOCJI
MIEDZI S.A.

Polskie Centrum Promocji Miedzi S.A.
50-136 Wrocław
pl. 1 Maja 1-2
Polska

Tel: 00 48 71 78 12 502
Fax: 00 48 71 78 12 504
e-mail: pcpm@miedz.org.pl
Website: www.miedz.org.pl



European Copper Institute
168 Avenue de Tervueren
B-1150 Brussels
Belgium

Tel: 00 32 2 777 70 70
Fax: 00 32 2 777 70 79
Email: eci@eurocopper.org
Website: www.eurocopper.org