



Ochrona przez samoczynne wyłączenie zasilania

Sprawdzenie ochrony przed porażeniem prądem elektrycznym przez samoczynne wyłączenie zasilania. Ochrona dodatkowa (ochrona przy uszkodzeniu).

Eksplatacja instalacji elektrycznych jest tak powszechna, że zdecydowana większość ludzi nie zdaje sobie sprawy z zagrożeń, jakie może napotkać, jeżeli w użytkowanym urządzeniu nagle wystąpi uszkodzenie (np. zwarcie). Dlatego aby zapobiec niebezpieczeństwu porażenia prądem elektrycznym, instalacje muszą być tak skonstruowane, aby zminimalizować tego rodzaju zagrożenia – zwłaszcza dla laików korzystających z dobrodziejstwa energii elektrycznej.

W normalnych warunkach eksploatacyjnych ochronę realizuje się stosując izolację części przewodzących instalacji elektrycznej (**ochrona podstawowa**, ochrona przed dotykiem bezpośrednim). Jest ona skuteczna w normalnych warunkach, kiedy wszystkie urządzenia są sprawne (zarówno chroniące instalację, jak i do niej przyłączone).

W przypadku wystąpienia uszkodzenia (rozpatrujemy uszkodzenie pojedyncze) ochronę musi zapewnić środek dodatkowy. Nazywamy to ochroną przy uszkodzeniu (ochrona przy dotyku pośrednim). Jest ona realizowana przez samoczynne wyłączenie zasilania lub zapewnienie takiej rezystancji uziemienia, aby napięcie występujące na obudowie urządzenia (przy wystąpieniu zwarcia) nie przekraczało napięcia dopuszczalnego długotrwale.

Ochrona dodatkowa (przy uszkodzeniu) będzie skuteczna, jeśli w obwodzie, w którym wystąpiło uszkodzenie izolacji (ochrona podstawowa), na skutek pojawiającego się prądu uszkodzeniowego nastąpi samoczynne wyłączenie zasilania obwodu w czasie określonym przez normę (Tabela 2). Wyłączenie jest realizowane przez zabezpieczenia nadprądowe i/lub różnicowoprądowe.

Na podstawie zmierzonej impedancji i napięcia możemy wyliczyć wartość prądu zwarciovego (uszkodzeniowego). Prąd I_a , który spowoduje samoczynne wyłączenie zasilania, jest odczytywany z charakterystyk pasmowych zastosowanego zabezpieczenia.

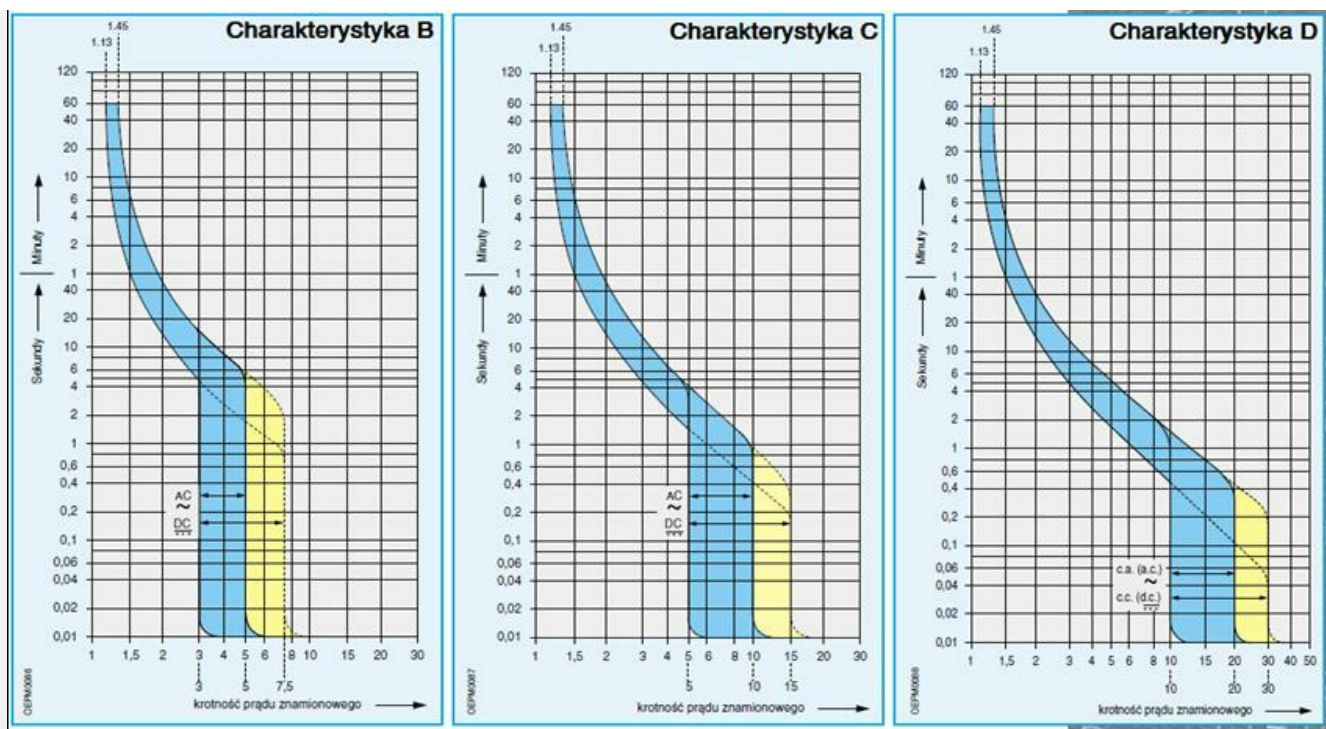
Ogólnie rzecz ujmując, ocena warunku samoczynnego wyłączenia zasilania polega na porównaniu, czy prąd płynący podczas uszkodzenia będzie większy niż ten, który powoduje samoczynne wyłączenie zasilania we właściwym czasie. Można zatem stwierdzić, że w ten sposób również sprawdzamy prawidłowość doboru zabezpieczenia dla badanego obwodu. W dalszej części opracowania zagadnienie to zostanie opisane dokładniej dla poszczególnych typów sieci.

1. Charakterystyki pasmowe zabezpieczeń. Prąd wyłączający.

Prąd wyłączający I_a jest to najmniejsza wartość prądu płynącego w uszkodzonym obwodzie, która powoduje samoczynne wyłączenie zasilania w czasie określonym w normie (Tabela 2).

1.1 Prąd wyłączający wyłączników nadprądowych

Wyznaczenie prądu wyłączającego I_a dla instalacyjnych wyłączników nadprądowych jest niezwykle łatwe. W praktyce korzystamy z określonych wprost krotności prądu znamionowego.



Rysunek 1. Charakterystyki pasmowe zabezpieczeń nadprądowych typu B, C, D

Na rysunku 1 zaprezentowano charakterystyki pasmowe wyłączników nadprądowych typu B, C oraz D. Dla prądu przemiennego są one w kolorze niebieskim. Na osi rzędnych znajdujemy czas, w którym zabezpieczenie musi zadziałać, np. 0,4 s oraz w następstwie na osi odciętych odczytujemy krotność prądu znamionowego, przy którym to urządzenie zadziała.

Dla wyłącznika typu B widzimy dwie wartości na skrajnych częściach pasma, który oznaczono na niebiesko od 3 do 5. Ponieważ ocena musi być jednoznaczna, zawsze przyjmujemy wartość największą, czyli w tym przypadku 5. Analogicznie postępujemy w pozostałych dwóch przypadkach. Zatem prądem wyłączającym I_a dla poszczególnych typów wyłączników będzie iloczyn prądu znamionowego i współczynnika:

- dla typu B: $5 I_n$,
- dla typu C: $10 I_n$,
- dla typu D: $20 I_n$.

Przykład: Prądem wyłączającym I_a wyłącznika nadprądowego instalacyjnego S191 B16 zgodnie z opisaną wyżej zasadą będzie iloczyn $I_n=16 \text{ A}$ i współczynnika krotności, który dla **typu B=5**.
Zatem $I_a= I_n * k = 16 \text{ A} * 5 = 80 \text{ A}$.

Oznaczenia:

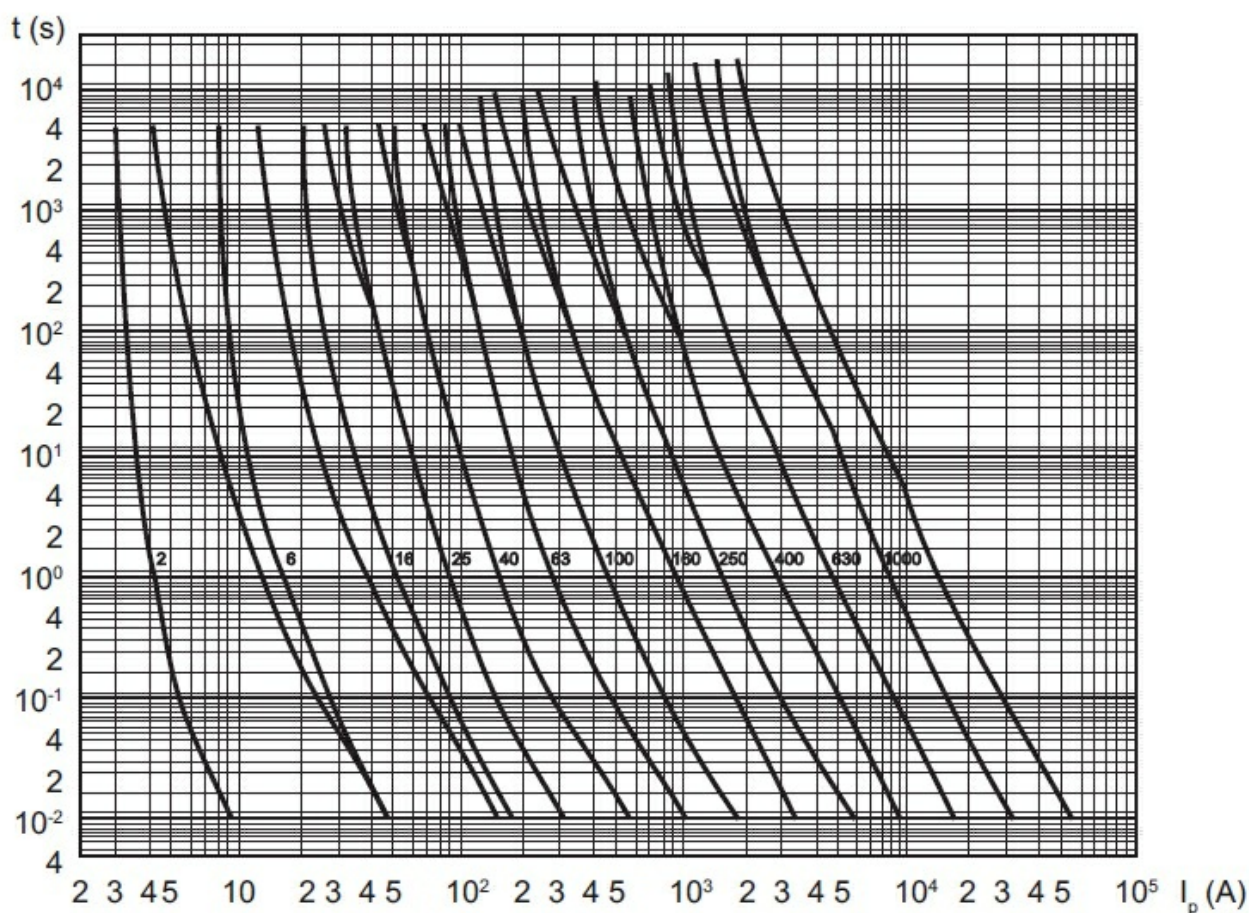
I_n – prąd nominalny wyłącznika,

I_a – prąd wyłączający,

k – współczynnik krotności.

1.2. Prąd wyłączający bezpieczników (np. wkładek topikowych).

Na rysunku 2 prezentowany jest przykład - charakterystyki wkładek gG.



Rysunek 2. Charakterystyki wkładek topikowych gG

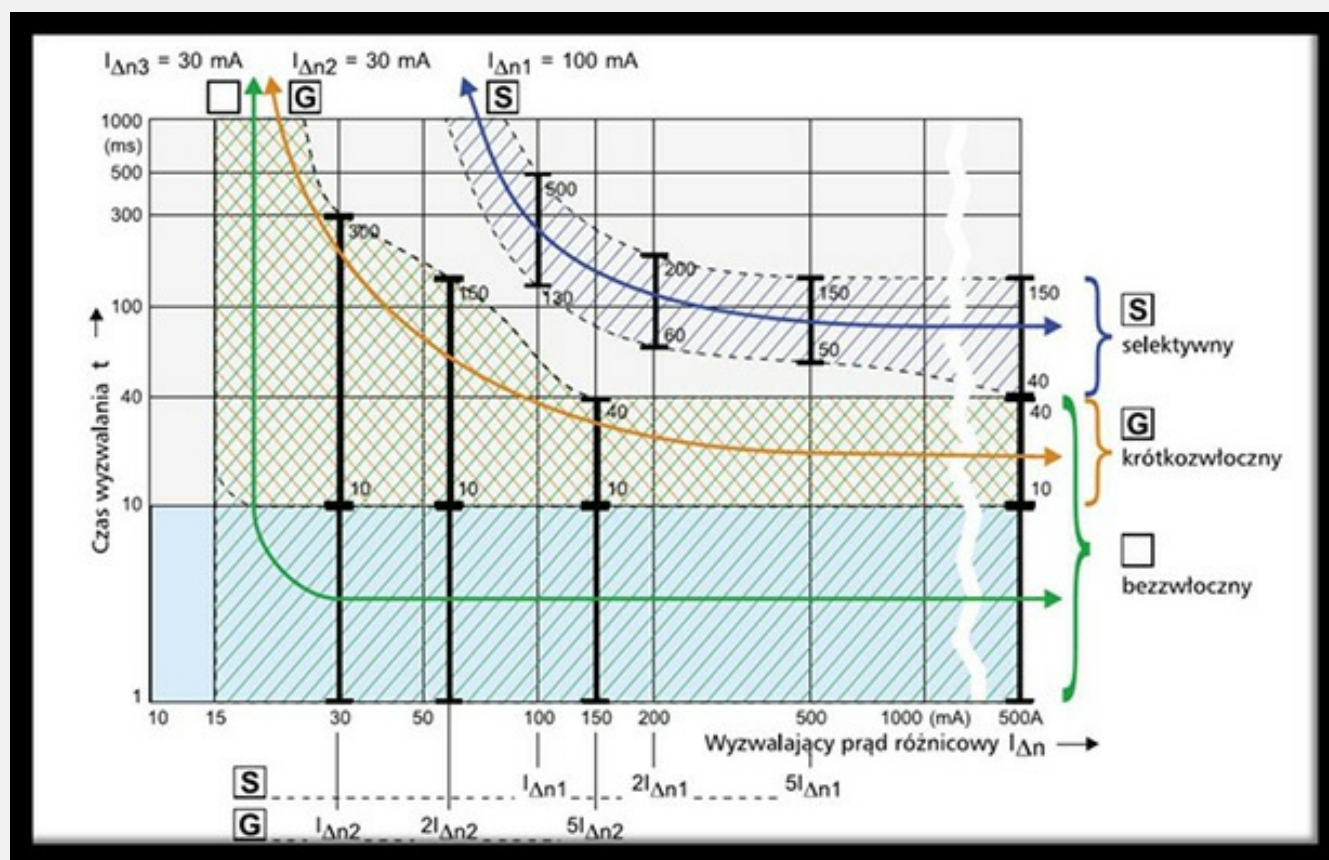
Z diagramu korzystamy analogicznie jak w przypadku dotyczącym wyłączników nadprądowych. Na osi rzędnych podane są czasy zadziałania, występujące przy prądach wyłączających umiejscowionych na osi odciętych. Charakterystyki opisano wartościami prądów znamionowych wkładek.

Dla wielu odmian bezpieczników można stosować uniwersalne charakterystyki pasmowe, które będą właściwe niezależnie od producenta bezpiecznika. Zawsze, kiedy mamy jakiegokolwiek wątpliwości, możemy skorzystać z danych oferowanych przez

producentów w katalogach do pobrania ze stron internetowych. Są tam dostępne zarówno charakterystyki pasmowe, jak i dane tabelaryczne z wyliczonymi współczynnikami dla odpowiednich czasów wyłączenia.

Kłopotliwego wyznaczania właściwych prądów wyłączających dla różnych wkładek topikowych czy też zabezpieczeń innego rodzaju można uniknąć, stosując specjalistyczne oprogramowanie SONEŁ PE5, w którym zaszyte są już, w zdecydowanej większości, parametry stosowanych w praktyce zabezpieczeń.

Jeśli wyznaczamy prąd wyłączający I_a dla zastosowanego do ochrony dodatkowej (przy uszkodzeniu) wyłącznika różnicowoprądowego, który reaguje na prąd sinusoidalnie przemienny, musimy pamiętać, aby również uwzględnić właściwy z normą czas wyłączenia. Nie zawsze znamionowy prąd różnicowy $I_{\Delta n}$ będzie właściwy, właśnie ze względu na największy dopuszczalny czas zadziałania zabezpieczenia. W tym przypadku również można skorzystać z charakterystyki pasmowej wyłączników różnicowoprądowych (Rysunek 3).



Rysunek 3. Charakterystyka pasmowa wyłączników różnicowoprądowych

Na rysunku 3 pokazane są czasy wyłączenia dla wyłączników

bezzwłocnych, krótkozwłocnych i selektywnych, które zależą od wielkości prądu. W przypadku wystąpienia wątpliwości lub braku właściwych danych, norma [arkusz 4-41] pozwala na przyjęcie prądu $I_a = 5 I_{\Delta n}$

PN-HD 60364-4-41:200 - 411.5.3 Czasy wyłączenia podane w Tablicy 41.1 odnoszą się do spodziewanych prądów różnicowych uszkodzeniowych, znacząco większych niż znamionowe prądy różnicowe RCD (zwykle $5 I_{\Delta n}$).

W praktyce w celu określenia prądu wyłączającego RCD mogą być wymagane inne krotności różnicowego prądu znamionowego, co pokazane jest w Tabeli 1.

Tabela 1. Prąd wyłączający wyłączników różnicowoprądowych o różnych charakterystykach wyzwiania w zależności od wymaganego czasu samoczynnego wyłączania zasilania [1]

Wymagany czas wyłączenia zasilania [s]	Prąd wyłączający I_n wyrażony krotnością znamionowego prądu różnicowego zadziałania $I_{\Delta n}$					
	RCD bezzwłoczne i krótkozwłoczne			RCD selektywne o zwłocze 0,06 s		
-	AC	A	B	AC	A	B
0,04	5	7 lub 12*	10	-	-	-
0,07	5	7 lub 12*	10	-	-	-
0,1	5	7 lub 12*	10	-	-	-
0,2	2	4	4	2	2,8	4
0,3	1	2	2	2	2,8	4
0,4	1	2	2	2	2,8	4
0,8	1	2	2	1	1,4	2

0,8	1	2	2	1	1,4	2
1	1	2	2	1	1,4	2
5	1	2	2	1	1,4	2

* Według danych producenta: albo **7 $I_{\Delta n}$** , albo 0,35 A (**$\approx 12 I_{\Delta n}$**).

- Podane krotności dotyczą prądu różnicowego przemiennego przy wyzwalaniu AC, prądu pulsującego stałego – przy wyzwalaniu A, prądu stałego o pomijalnym tętnieniu – przy wyzwalaniu B.
- Cyfry w polach czerwonych dotyczą obwodów odbiorczych $I_n \leq 32$ A o napięciu $120\text{ V} < U_0 \leq 230\text{ V}$ odpowiednio TT (0,2 s) oraz TN (0,4 s).
- Pola żółte dotyczą rzadkich przypadków, kiedy zalecenie **$I_a = 5 I_{\Delta n}$** jest niewystarczające.

2. Czasy wyłączenia zasilania

Norma PN-HD 60364-4-41:2009 (411.3.2.2) podaje maksymalne czasy wyłączenia dla obwodów odbiorczych o prądzie znamionowym ≤ 32 A, które są zaprezentowane w Tabeli 2.

Tabela 2. Największy dopuszczalny czas samoczynnego wyłączenia zasilania [s] w obwodach o prądzie znamionowym ≤ 32 A

Układ	50 V < U ₀ ≤ 120 V		120 V < U ₀ ≤ 230 V		230 V < U ₀ ≤ 400 V		U ₀ > 400 V	
Prąd	AC	DC	AC	DC	AC	DC	AC	DC
TN	0,8 s	UWAGA 1	0,4 s	5 s	0,2 s	0,4 s	0,1 s	0,1 s
TT	0,3 s	UWAGA 2	0,2 s	0,4 s	0,2 s	0,4 s	0,1 s	0,1 s

Jeżeli w układzie TT wyłączenie jest uzyskiwane dzięki zabezpieczeniu nadprądowemu, a ochronne połączenie wyrównawcze jest przyłączone

do części przewodzących znajdujących się w instalacji, to mogą być stosowane maksymalne czasy wyłączenia przewidywane dla układu TN.

U_0 jest nominalnym napięciem AC lub DC przewodu liniowego względem ziemi.

UWAGA 1. Wyłączenie może być wymagane z innych przyczyn niż ochrona przeciwporażeniowa.

UWAGA 2. Jeżeli wyłączenie jest przewidziane przez RCD, patrz Uwaga do 411.4.4, Uwaga do 4.11.5.3 i Uwaga do 411.6.4 b).

Trzeba podkreślić, iż podane czasy wyłączenia dotyczą również zabezpieczeń różnicowoprądowych użytych do zapewnienia ochrony dodatkowej (ochrona przy uszkodzeniu).

Zestawienie czasów wyłączenia dla obwodów o prądach znamionowych do 32 A, jak i powyżej 32 A są podane w podsumowaniu Tabeli 3.

Tabela 3. Zestawienie wymagań odnośnie do czasu samoczynnego wyłączania zasilania w instalacjach prądu przemiennego o napięciu względem ziemi 230 V [1]

Rodzaj obwodu	Układ TN	Układ TT	Układ IT
Obwody odbiorcze o prądzie znamionowym $I_n \leq 32$ A	0,4 s	0,2 s	0,4 s lub 0,2 s
Obwody odbiorcze o prądzie znamionowym $I_n > 32$ A	5 s	1 s	5 s lub 1 s
Obwody rozdzielcze o dowolnym prądzie znamionowym	5 s	1 s	5 s lub 1 s
Obwody sieci rozdzielczej zasilającej instalację oraz główny obwód zasilający	Samoczynne wyłączanie poprzez poprzedzający bezpiecznik o prądzie		

budynku, który musi być wykonany z izolacją podwójną lub wzmocnioną

Obwody, w których nie sposób uzyskać samoczynne wyłączenie zasilania w wymaganym czasie

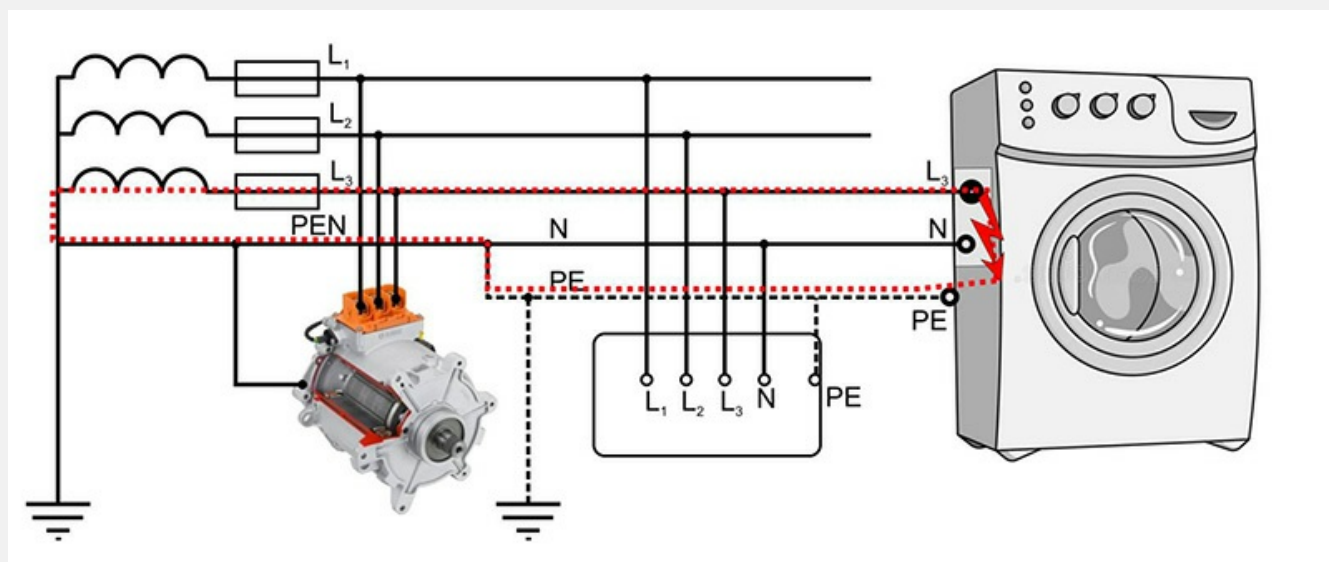
znamionowym I_{nf}
Prąd wyłączający: $1,6 I_{nf}$ (Niemcy), $2 I_{nf}$ (Polska)

Miejscowe połączenia wyrównawcze ochronne ograniczające długotrwale utrzymujące się napięcie dotykowe na poziomie dopuszczalnym długotrwale

Ochrona przez samoczynne wyłączenie zasilania wymaga, aby w każdym obwodzie był ułożony przewód ochronny.

3. Samoczynne wyłączenie zasilania. Układ sieci TN. Wymagania i pomiary.

Cechą wyróżniającą układ sieci TN od innych rodzajów jest fakt, iż w przypadku uszkodzenia izolacji podstawowej praktycznie cały prąd uszkodzeniowy zamknie się w metalicznej pętli zwarcia.



Rysunek 4. Układ sieci TN i przykład obwodu, w którym wystąpiło uszkodzenie

Niesie to za sobą konsekwencje dla takiego układu w postaci wysokiego prądu uszkodzeniowego, jaki występuje ze względu na znikomą impedancję obwodu zwarciovego. Jest to zjawisko korzystne, które pozwala na skuteczne zrealizowanie ochrony przez samoczynne

wyłączenie zasilania. Aby uznać taki rodzaj ochrony przeciwporażeniowej za skuteczny, musi zostać spełniony warunek (411.4.4):

$$Z_s \cdot I_a \leq U_0$$

co można przedstawić w postaci:

$$Z_s \leq \frac{U_0}{I_a} \quad (1)$$

lub

$$I_a \leq \frac{U_0}{Z_s} \quad (2)$$

gdzie:

Z_s impedancja pętli zwarcia,

(1) największa dopuszczalna impedancja pętli zwarcia, przy której będzie spełniony warunek samoczynnego wyłączenia zasilania,

I_a prąd powodujący samoczynne wyłączenie zasilania w czasie podanym w Tabeli 2,

(2) najmniejsza wartość prądu, przy którym będzie spełniony warunek samoczynnego wyłączenia zasilania,

U₀ znamionowe napięcie AC lub DC w odniesieniu do ziemi.

Sprawdzenia powyższego warunku dokonuje się przez pomiar impedancji pętli zwarcia odpowiednim miernikiem (posiadającym odpowiedni zakres pomiarowy oraz prąd zwarcia). Jeśli zmierzona **wartość impedancji jest mniejsza** niż wyliczona ze wzoru (1), warunek samoczynnego wyłączenia zasilania jest **spełniony**.

Na podstawie zmierzonej impedancji można również obliczyć (mierniki robią to automatycznie) **prąd**, który popłynie w przypadku wystąpienia uszkodzenia w mierzonym obwodzie. Jeśli będzie on **wiekszy** niż wyliczony z (2), warunek samoczynnego wyłączenia zasilania również będzie **spełniony**. Przed wykonaniem pomiarów należy na podstawie oględzin zabezpieczenia (sprawdzić prąd znamionowy, typ bezpiecznika, nastawienie krótkozwłocznego lub bezzwłocznego wyzwalania wyłączników) ustalić, jaki jest prąd wyłączający badanego obwodu.

Seria mierników wielofunkcyjnych SONEL MPI (MPI-530, MPI-530-IT,

MPI-525, MPI-520, MPI-505, MPI-502) pozwala na łatwe i bezpieczne przeprowadzenie badań impedancji pętli zwarcia w obwodach odbiorczych. Komfort pracy z tymi urządzeniami jest zapewniony m.in. przez odpowiednio skonstruowane akcesoria (łatwe w podłączeniu do badanej sieci) i funkcjonalności odciążające pomiarowca na wielu etapach prowadzonych badań (wskazanie prądu zwarciovego, składowych impedancji, archiwizowanie danych w pamięci itp.).

Norma PN-HD 61557-3 określa maksymalny błąd, jakim może być obciążony wynik pomiaru impedancji. Nie może on przekraczać 30%. Dlatego producenci zobowiązani są do podania na urządzeniu zakresu pomiarowego (obszaru wskazań miernika, w którym błąd pomiaru nie przekroczy wartości zakładanej przez normę). Mierniki mogą być przyłączane do mierzonego obwodu przewodami o różnych długościach, co ma wpływ na zakres pomiarowy urządzenia (Tabela 4).

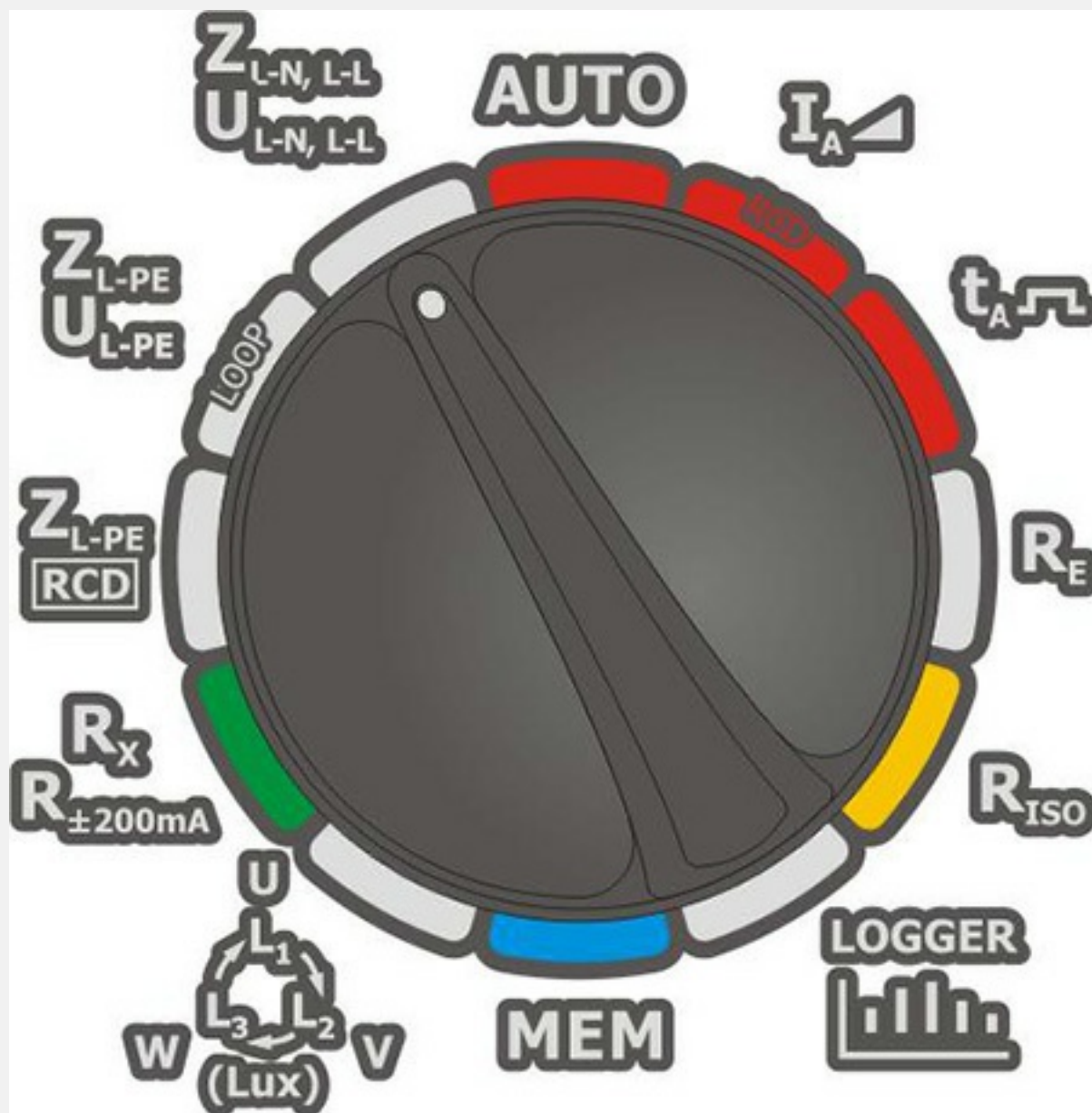
Tabela 4. Zakresy pomiarowe pętli zwarcia mierników MPI-530, MPI-530-IT, MPI-525, MPI-520, MPI-505, MPI-502

Tabela 4. Zakresy pomiarowe pętli zwarcia mierników MPI-530, MPI-530-IT, MPI-525, MPI-520, MPI-505, MPI-502

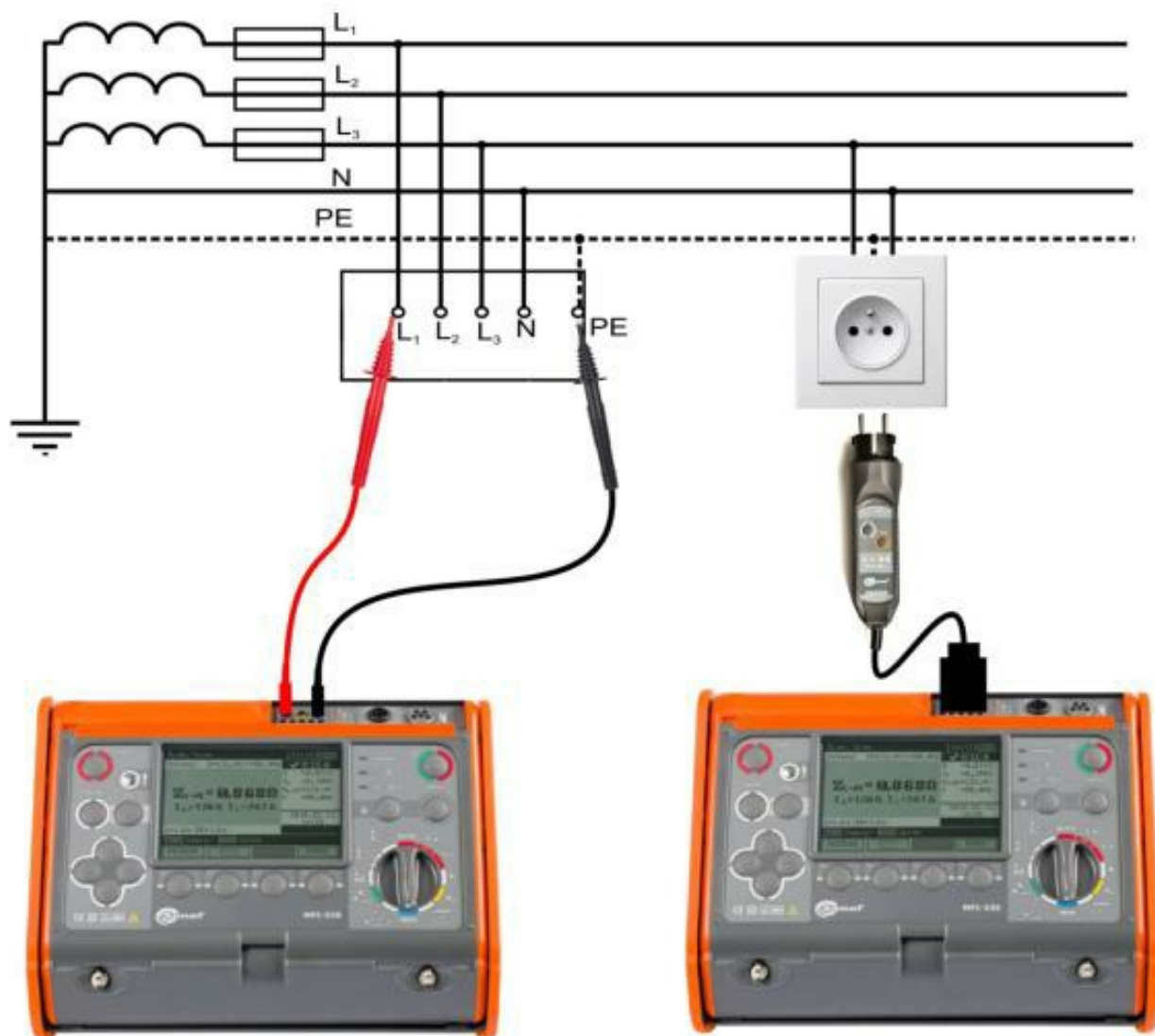
Przewód pomiarowy	Zakres pomiarowy Z_s
1,2 m	0,13...1999 Ω
5 m	0,17...1999 Ω
10 m	0,21...1999 Ω
20 m	0,29...1999 Ω
Wtyk typu WS	0,19...1999 Ω

Jeśli wskazania miernika są poza wyspecyfikowanym zakresem pomiarowym, nie mogą być wykorzystane do oceny warunku samoczynnego wyłączenia zasilania.

Mierniki mogą pracować w sieciach o następujących napięciach nominalnych: 110/190 V, 115/200 V, 127/220 V, 220/380 V, 230/400 V, 240/415 V. Pomiary możemy zatem prowadzić w obszarze napięć z zakresu 95...440 V.



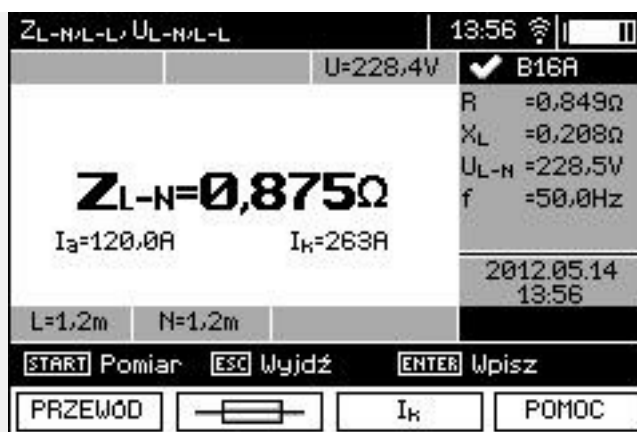
Rysunek 5. Przełącznik obrotowy do wyboru funkcji. Miernik MPI-530 (pętla zwarcia – obszar szary)



Rysunek 6. Sposób przyłączenia miernika do badanej sieci

Impedancja pętli zwarcia może być mierzona w obwodach L-PE, L-N i L-L, również tych zabezpieczonych wyłącznikiem RCD (specjalny tryb pomiarowy nie powoduje wyzwolenia wyłącznika). Odpowiedniego wyboru funkcji dokonuje się przełącznikiem obrotowym (Rysunek 5), co jest bardzo wygodne przy posługiwaniu się akcesoriami (np. WS-03). Sposób przyłączenia miernika do instalacji pokazany jest na Rysunku 6.

Po wykonaniu pomiaru przyrząd wyświetla zmierzoną wartość impedancji pętli zwarcia oraz spodziewany prąd zwarcia, który zgodnie z wymaganiami normy wyliczany jest dla napięcia nominalnego sieci (na wyświetlaczu są prezentowane również inne przydatne informacje).



Rysunek 7. Przykładowy ekran po pomiarze pętli zwarcia

W przypadku, kiedy napięcie mierzonego obwodu jest permanentnie obniżone (np. budynki zasilane z rozległych sieci napowietrznych na terenach wiejskich: napięcie niższe niż 200 V), istnieje możliwość błędnej oceny warunku samoczynnego wyłączenia zasilania. Dlatego w takich przypadkach do wyliczenia spodziewanego prądu zwarcowego przyjmujemy napięcie faktycznie zmierzone.

W miernikach z serii MPI można wybrać, według jakiego kryterium (napięcie nominalne czy mierzone) nastąpi wyliczenie prądu zwarcia. Miernik MPI-530 lub - po przetransmitowaniu danych do komputera - program do sporządzania protokołów z pomiarów SONEL PE5 automatycznie dokona oceny spełnienia warunku ochrony za pomocą samoczynnego wyłączenia zasilania.



Rysunek 8. Adaptery WS-03 i WS-04



Rysunek 9. Przyłączenie miernika do gniazda przez adapter WS-03

Pomiary impedancji pętli zwarcia w sieciach odbiorczych typu TN-S w zdecydowanej większości przeprowadza się w 1- lub 3-fazowych gniazdach zasilających. Z tego powodu, w celu ułatwienia i przyspieszenia prac, bardzo przydatne jest stosowanie specjalizowanych akcesoriów podczas wykonywania takich badań, co ułatwia i przyspiesza prace pomiarowe. Do badań w jednofazowych gniazdach zasilających niezwykle pomocny jest adapter WS-03 (wyposażenie standardowe). Możliwość przyłączenia miernika do gniazd w miejscach trudno dostępnych (za meblami lub urządzeniami AGD) zapewnia adapter WS-04 z wtykiem kątowym (wyposażenie dodatkowe).

Do gniazd trójfazowych mierniki można przyłączyć za pomocą adapterów AGT-16P, AGT-32P oraz AGT-63P (wyposażenie dodatkowe) oraz przewodów pomiarowych znajdujących się w zestawie.



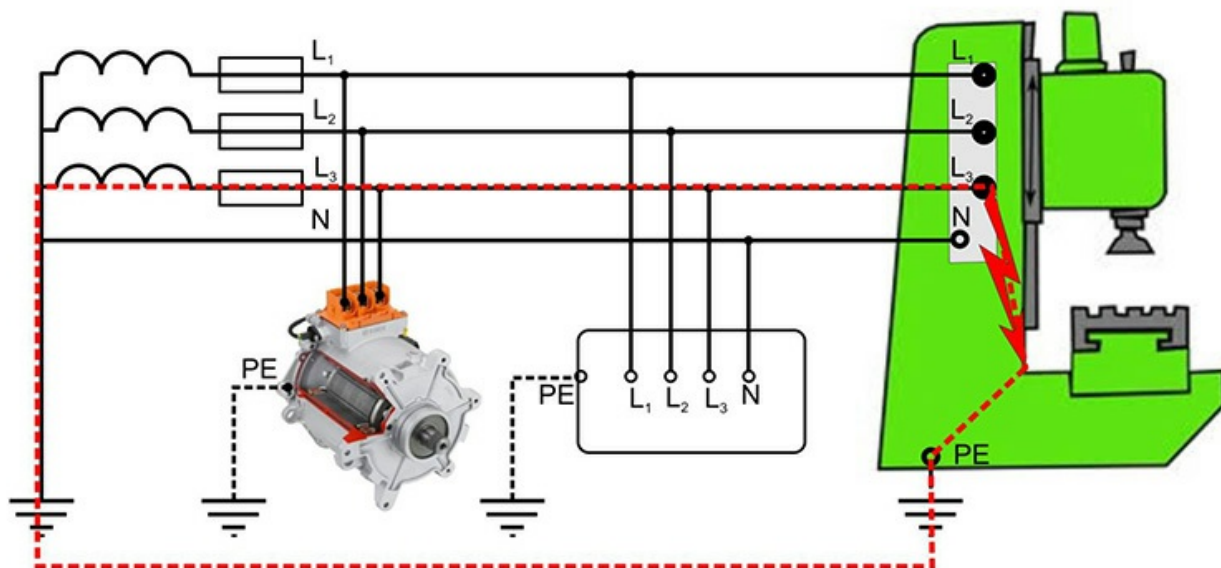
Rysunek 10. Przłączenie mienika do gniazda 3-fazowego



Rysunek 11. Adaptery do gniazd trójfazowych AGT-16P i AGT-32P

4. Samoczynne wyłączenie zasilania. Układ sieci TT. Wymagania i pomiary.

Na rysunku 12 przedstawiony jest układ sieci TT i obwód, w którym płynie prąd uszkodzeniowy. Obwód zwarcia jednofazowego zamyka się przez ziemię i ma charakter rezystancyjny. Wartość rezystancji pętli zwarcia będzie sumą rezystancji uziemienia ochronnego i roboczego (oraz rezystancji przewodów w obwodzie).



Rysunek 12. Sieć w układzie TT z zaznaczonym obwodem przy wystąpieniu zwarcia

W porównaniu do układu TN prądy wywołane zwarciami będą znacznie mniejsze. Dlatego skuteczność warunku samoczynnego wyłączenia zasilania w układzie TT jest dużo trudniejsza do osiągnięcia przy użyciu wyłączników nadprądowych.

Jeśli do zapewnienia samoczynnego wyłączenia zasilania w układzie sieci TT będzie zastosowany wyłącznik nadprądowy (przy założeniu, iż jest zapewniona stała i realnie odpowiednio mała wartość **Z_s** (**411.5.2**)), norma zakłada – analogicznie jak dla układu TN – że musi być spełniony warunek (**411.5.4**):

$$Z_s \cdot I_a \leq U_0$$

co można przedstawić w postaci:

$$Z_s \leq \frac{U_0}{I_a} \quad (1)$$

lub

$$I_a \leq \frac{U_0}{Z_s} \quad (2)$$

gdzie:

Z_s impedancja pętli zwarcia obejmująca: źródło, przewód liniowy do miejsca zwarcia, przewód ochronny części przewodzących dostępnych, przewód uziemiający, uziom instalacji oraz uziom źródła,

- (1) największa dopuszczalna pętla zwarcia, przy której będzie spełniony warunek samoczynnego wyłączenia zasilania,
 I_a prąd powodującym samoczynne wyłączenie zasilania w czasie podanym w Tabeli 2,
- (2) najmniejsza wartość prądu, przy którym będzie spełniony warunek samoczynnego wyłączenia zasilania,
 U_0 znamionowe napięcie AC lub DC w odniesieniu do ziemi.

Spełnienie warunku samoczynnego wyłączenia zasilania w sieci TT przez zabezpieczenie nadprądowe jest niezwykle trudne do osiągnięcia, dlatego rzadko stosuje się takie rozwiązanie.

Norma PN-HD 60364-4-41:2009 zaleca, aby ochrona przy uszkodzeniu w sieciach TT realizowana była przez wyłączniki różnicowoprądowe (411.5.2), niekoniecznie wysokoczułe.

Gdy do ochrony przy uszkodzeniu (ochrony przy dotyku pośrednim) jest stosowany RCD, obwód powinien być również chroniony przez urządzenie nadprądowe zgodnie z IEC 60364-4-43.

Jeśli do ochrony dodatkowej (przy uszkodzeniu) użyto wyłącznika różnicowoprądowego, wyłączenie musi nastąpić w wymaganym czasie (tabela 2) oraz ma być spełniony warunek:

$$R_a \cdot I_{\Delta n} \leq 50 \text{ V}$$

gdzie:

R_A suma rezystancji uziemienia i przewodu ochronnego do części przewodzących dostępnych, w Ω ,

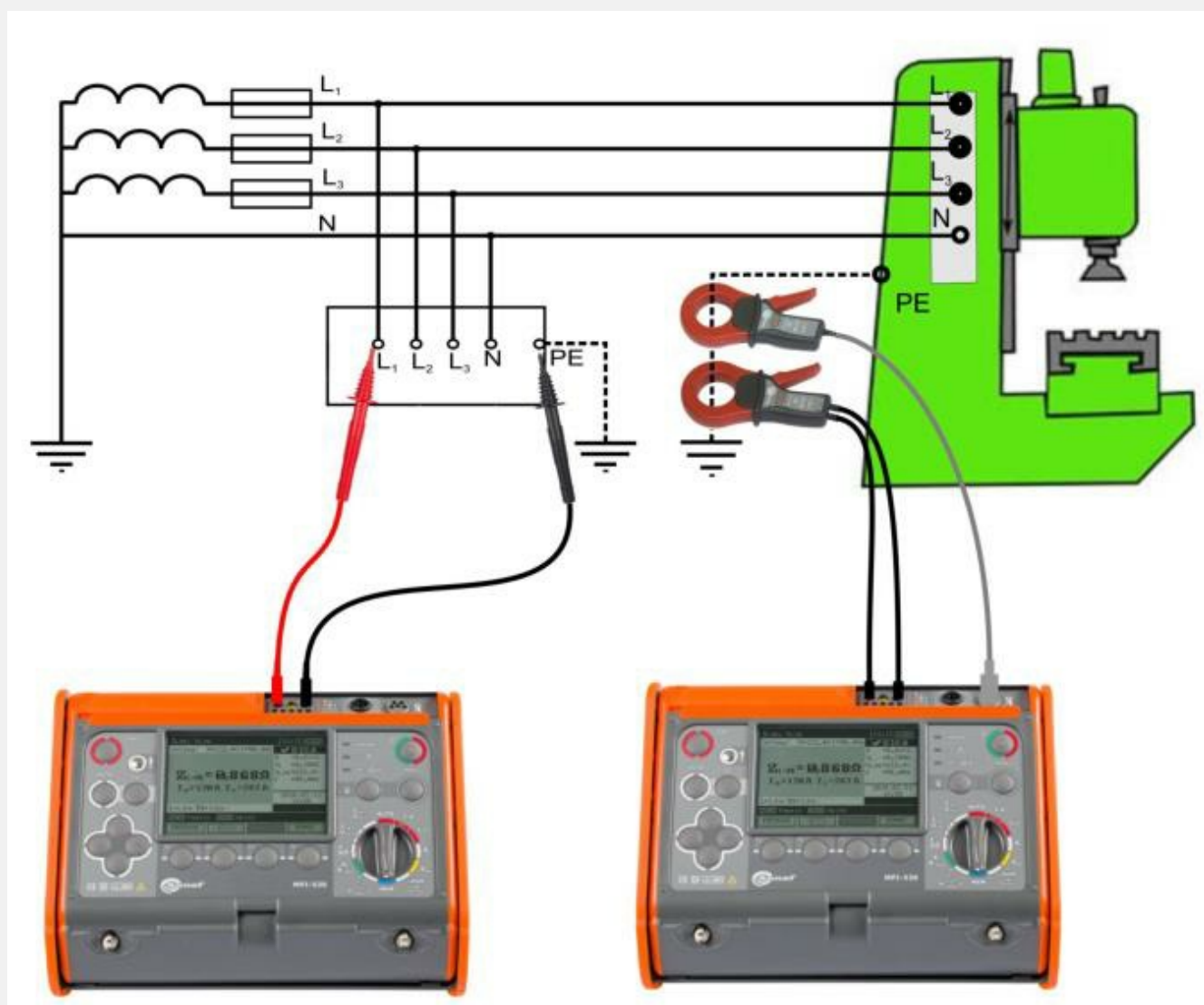
$I_{\Delta n}$ znamionowy prąd różnicowy RCD w A (prąd powodujący samoczynne wyłączenie zasilania w czasie określonym w Tabeli 5 może być większy niż $I_{\Delta n}$ – przy braku informacji norma zaleca $5 I_{\Delta n}$).

Tabela 5. Maksymalne rezystancje uziemienia dla różnych wartości prądu różnicowego zabezpieczeń RCD, dla których jest spełniony warunek $R_A \cdot I_{\Delta n} \leq 50 \text{ V}$

Znamionowy prąd wyłącznika RCD $I_{\Delta n}$	10 mA	30 mA	100 mA	300 mA	500mA	1000 mA

R_A dla 50 V	5000 Ω	1667 Ω	500 Ω	167 Ω	100 Ω	50 Ω
----------------	---------------	---------------	--------------	--------------	--------------	-------------

Rezystancja uziemienia R_A może zostać zmierzona miernikami Sonel MPI-530, MPI-530-IT, MPI-525, MPI-520, MPI-505, MPI-502 w układzie jak na rysunku 13 (klasyczny pomiar impedancji pętli zwarcia lub metoda dwucęgowa miernikiem MPI-530). Warunek będzie spełniony, gdy zmierzona rezystancja będzie mniejsza od podanej w Tabeli 7. Do oceny można przyjąć zmierzoną impedancję pętli zwarcia Z_S zamiast R_A i nie będzie to błędem.



Rysunek 13. Przyłączanie miernika do sieci w układzie TT

5. Samoczynne wyłączenie zasilania. Układ sieci IT. Wymagania i pomiary.

Układ sieci IT charakteryzuje się tym, że żadna część czynna nie jest uziemiona. Stąd prądy pojedynczego zwarcia doziemnego

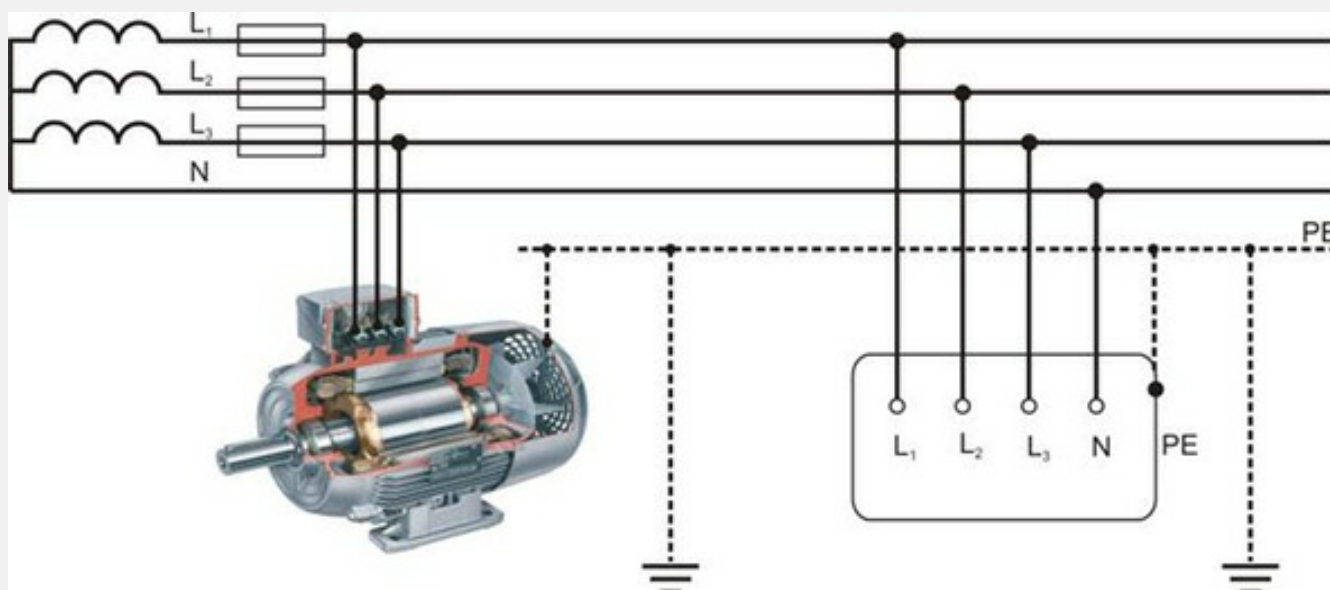
(uszkodzenie izolacji podstawowej) są niezwykle małe i wynikają w zasadzie ze zjawisk pojemnościowo-indukcyjnych. Czasem punkt neutralny transformatora w sieci IT może być połączony z ziemią:

- przez dużą impedancję (może to ułatwić wykrycie uszkodzenia przez zwiększenie prądu pojedynczego zwarcia doziemnego) lub
- przez bezpiecznik iskiernikowy, np. jeśli transformator jest zasilany z sieci wysokiego napięcia w celu ograniczenia skutków zwarcia między uzwojeniami WN i nn.

Układ sieci IT jest stosowany ze względu na zwiększenie pewności zasilania. Pojedyncze zwarcia doziemne nie powodują żadnych poważnych następstw ze względu na niewielki prąd zwarciovowy. Zatem takie rozwiązanie jest pożądane np. w kopalniach. Ze względów bezpieczeństwa sieci IT znajdują zastosowanie także w szpitalnych salach operacyjnych oraz na statkach.

Bieżąca kontrola stanu izolacji sieci IT może być zapewniona przez montowane na stałe urządzenia kontroli izolacji, popularnie nazywane UKSI. Jak podaje norma, innymi elementami sieci IT mogą być:

- urządzenia stałej kontroli stanu izolacji (IMD) (wspomniane wyżej UKSI),
- urządzenia monitorowania prądu różnicowego (RCM),
- systemy lokalizacji uszkodzenia izolacji,
- nadprądowe urządzenia zabezpieczające,
- urządzenia ochronne różnicowoprądowe (RCD).



Rysunek 14. Układ sieci IT

W układzie IT powinny być spełnione warunki:

dla sieci **AC**: $R_A \cdot I_d \leq 50 \text{ V}$,

dla sieci **DC**: $R_A \cdot I_d \leq 120 \text{ V}$,

gdzie:

R_A jest sumą rezystancji uziemienia i przewodu ochronnego części dostępnych przewodzących,

I_d jest prądem uszkodzeniowym pierwszego doziemienia.

Warunek ten należy sprawdzić, wykonując obliczenia lub pomiar prądu **I_d** w przypadku pierwszego doziemienia przewodu fazowego lub neutralnego. Pomiar ten wykonuje się tylko wówczas, gdy nie ma możliwości wykonania obliczeń z powodu braku wszystkich parametrów. Podczas pomiaru należy zachować ostrożność, aby uniknąć niebezpieczeństwa podwójnego doziemienia.

Jeżeli przy drugim doziemieniu w innym obwodzie powstaną warunki podobne do warunków dotyczących układu TT, wówczas należy zastosować sprawdzenie jak w układach TT.

Jeżeli przy drugim doziemieniu w innym obwodzie powstaną warunki podobne do warunków dotyczących układu TN, wówczas należy zastosować sprawdzenie jak w układach TN.

Podczas wykonywania pomiaru impedancji pętli zwarcia należy wykonać połączenie o pomijalnie małej impedancji między punktem neutralnym sieci a przewodem ochronnym – najlepiej w złączu instalacji – lub wówczas, gdy nie jest to możliwe w miejscu pomiaru.

6. Samoczynne wyłączenie zasilania. Pomiary małych pętli zwarcia.

Wykonywanie pomiarów impedancji pętli zwarcia z wykorzystaniem mierników wielofunkcyjnych może być z powodzeniem przeprowadzane w instalacjach odbiorczych. W przypadku konieczności pomiarów w sieciach rozdzielczych, w warunkach przemysłowych spodziewane impedancje pętli zwarcia są zdecydowanie niższe niż zakres pomiarowy mierników Sonel MPI-XXX (tabela 1, z reguły $0,13 \Omega$). Badanie takie trzeba przeprowadzić miernikiem, którego zakres obejmie badane wartości pętli. Wiąże się to ze znacznie większymi prądami, wymuszanymi w badanym obwodzie przez przyrząd pomiarowy.

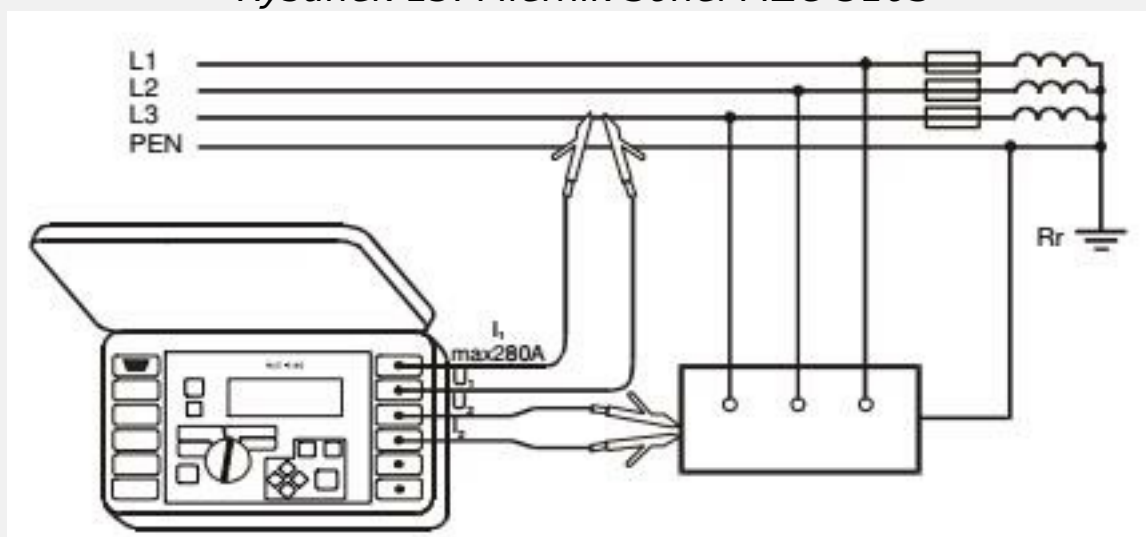
Przykładem takiego urządzenia jest miernik Sonel MZC-310S (rysunek 15). Oprócz pomiarów w sieciach odbiorczych (dla pomiarów

impedancji pętli zwarciowej wystarczająca rozdzielczość $0,01 \Omega$) oferuje on możliwość przeprowadzenia pomiarów z rozdzielczością $0,1 \text{ m}\Omega$ metodą czteroprzewodową przy wymuszonym prądzie zwarcia $150/280 \text{ A}$.

Metoda czteroprzewodowa jest konieczna ze względu na bardzo małe wartości mierzonej impedancji pętli zwarcia. Rozdzielenie obwodów pomiarowych – napięciowego i prądowego – powoduje, że rezystancja przewodów pomiarowych nie ma wpływu na wynik pomiaru. Zakres mierzonych impedancji dla MZC-310S rozpoczyna się od $7,2 \text{ m}\Omega$.



Rysunek 15. Miernik Sonel MZC-310S



7. Samoczynne wyłączenie zasilania. Pomiary w sieciach o napięciu wyższym niż 230/400 V

Istnieje wiele sieci TN – zwłaszcza przemysłowych – gdzie napięcie nominalne wynosi 400/690 V lub 500 V (L-L, IT). Do niedawna nie było na rynku mierników umożliwiających pomiary pętli zwarcia dla takich wartości napięcia. W normalnych warunkach, kiedy wystarczającą rozdzielczością pomiaru jest 0,01 Ω , można zastosować dwa przyrządy pomiarowe SONEL S.A.



Rysunek 17. Mierniki Sonel MZC-305 i MZC-306

Są to specjalizowane mierniki impedancji pętli zwarcia MZC-305 i MZC-306. Ich zakres pomiarowy wg IEC61557 wynosi:

- dla przewodów 1,2 m: 0,13...1999 Ω ,
- dla wtyczki Uni-Schuko 0,25...1999 Ω , maksymalny prąd zwarcia 30 A.

Przyrządy pracują w bardzo szerokim zakresie napięć 100...750 V, również w instalacjach przemysłowych 400/690 V. Rozdzielczość wyniku pomiaru to 0,01 Ω (także podczas pomiarów w sieciach zabezpieczonych wyłącznikami RCD). Pomiary wykonuje się analogicznie jak w przypadku mierników wielofunkcyjnych, z zachowaniem takich samych zasad. Prosta i ergonomiczna obsługa sprawia, że wykonanie badań nie przysparza żadnych problemów.

Kiedy impedancja pętli zwarcia musi być mierzona w obwodach o impedancji niższej niż zakres pomiarowy MZC-305 i MZC-306, należy

wykorzystać nowe mierniki o unikalnych obecnie rozwiązaniach układowych. Są to przyrządy Sonel MZC-320S i MZC-330S.



Rysunek 18. Mierniki Sonel MZC-320S i MZC-330S

Miernik Sonel MZC-320S wykonuje pomiary bardzo małych impedancji pętli zwarcia:

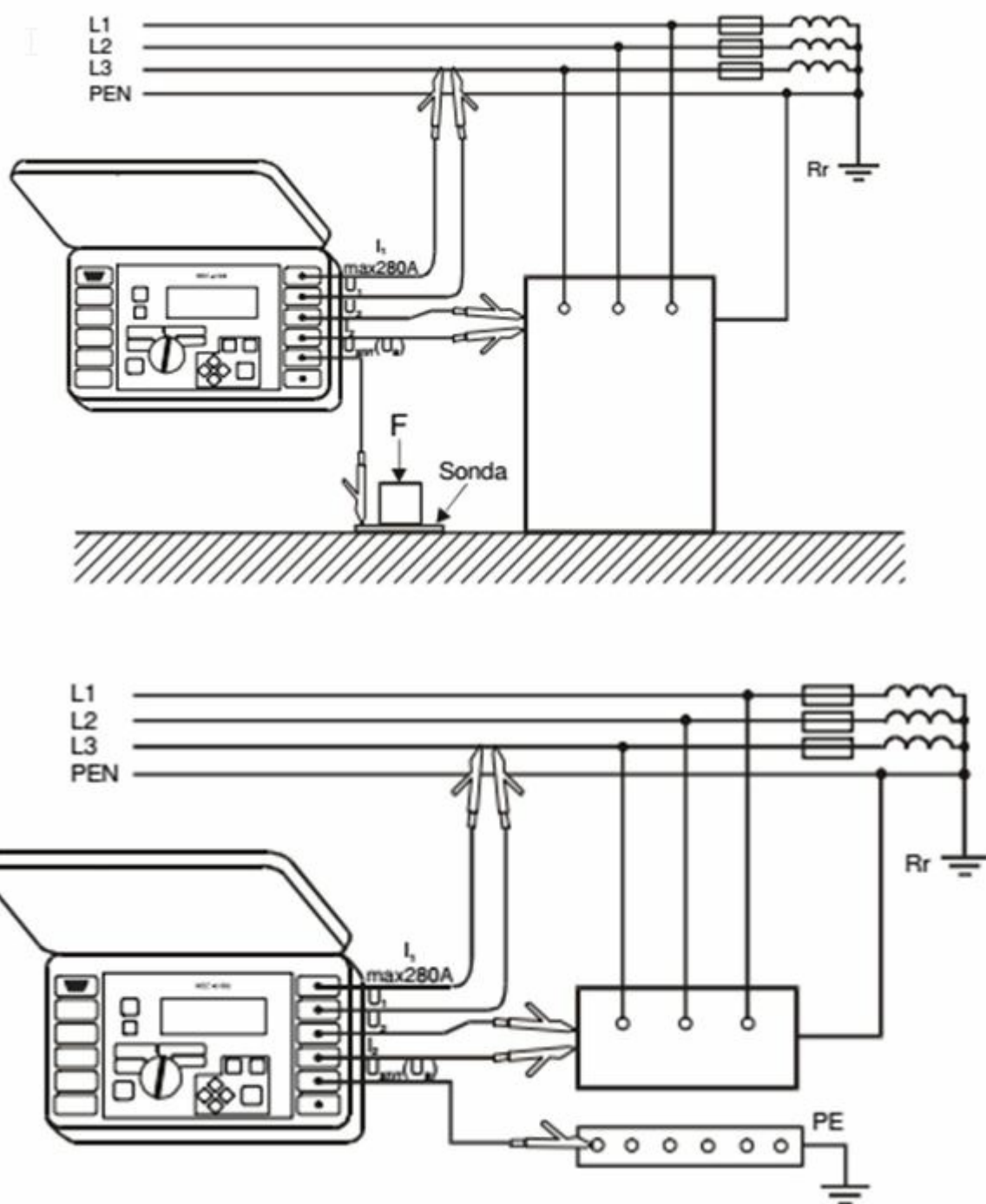
- z rozdzielczością $0,1 \text{ m}\Omega$ prądem rzędu 130 A przy 230 V (maksymalnie 300 A przy 550 V) lub
- klasycznie z rozdzielczością $0,01 \Omega$, prądem rzędu 24 A przy 230 V (maksymalnie 30 A przy 550 V).

Pracuje on w sieciach o napięciach nominalnych: $110/190 \text{ V}$, $115/200 \text{ V}$, $127/220 \text{ V}$, $220/380 \text{ V}$, $230/400 \text{ V}$, $240/415 \text{ V}$ i $290/500 \text{ V}$ o częstotliwościach $45...65 \text{ Hz}$, w obwodach faza-faza, faza-ochronny, faza-neutralny.

Sonel MZC-330S posiada podobne właściwości do miernika MZC-320S, z tym że może pracować w szerszym zakresie napięć – od 95 V do 750 V – obejmując tym samym sieci o napięciu nominalnym $400/690 \text{ V}$.

8. Brak spełnienia warunku samoczynnego wyłączenia zasilania. Trudności w przeprowadzaniu pomiaru impedancji pętli zwarcia

W niektórych sytuacjach, zwłaszcza w obwodach o dużych prądach zwarciovych, warunek samoczynnego wyłączenia zasilania może nie zostać spełniony. Wówczas należy doprowadzić do sytuacji, w której nie będą przekroczone napięcia dotykowe dopuszczalne długotrwale. Sprawdzenie tego kryterium jest możliwe miernikami MZC-310S, MZC-320S i MZC-330S. Unikalna funkcja pomiaru napięcia rażeniowego lub dotykowego (wybierane przez użytkownika w menu) uruchamia się jednocześnie z pomiarem pętli zwarcia, po uprzednim przyłączeniu sondy w miejsce, gdzie ma nastąpić sprawdzenie (rysunek 19 i 20).



Rysunek 19. MZC-310S. Pomiar pętli i napięcia rażenia



Rysunek 20. Podłączenie miernika do badanego obwodu

Paradoksalnie w miejscach, gdzie występują małe prądy zwarciovowe (małe zabezpieczenia, np. aparatowe 6 A), pomiarowiec również może napotkać trudności z samym wykonaniem pomiaru. Wynika to z prądu zwarciovowego wymuszanego przez miernik, który bezpośrednio zależy

od wartości rezystora zwarcowego i napięcia.

Opisane do tej pory przyrządy dla napięcia nominalnego sieci 230 V powodują wymuszenie w obwodzie, podczas pomiaru, prądu o wartości ok. 23 A w czasie od 10 do 30 ms. Jest to na tyle duża wartość, że zabezpieczenia o prądzie nominalnym poniżej 10 A mogą zadziałać podczas badania lub w przypadku bezpieczników (wkładki topikowych) ulec trwałemu uszkodzeniu.

Jedyne możliwe rozwiązanie w takiej sytuacji to zastosowanie takiego miernika, który wymusza mniejszy prąd pomiarowy. Np. w MZC-304 maksymalny prąd pomiarowy może wynieść 7,6 A dla 230 V (30 ms), co pozwala na wykonanie badania impedancji w obwodach z zabezpieczeniami od 6 A. Sposób wykonywania pomiarów jest dokładnie taki sam jak dla przyrządów opisanych wyżej. Przyłączenie miernika do sprawdzanego obwodu można wykonać za pomocą przewodów pomiarowych i/lub dedykowanych adapterów.



Rysunek 21. Miernik Sonel MZC-304

9. Samoczynne wyłączenie zasilania. Układ sieci TN. Załącznik C normy PN-HD 60364-6:2008

Załącznik C normy PN-HD 60364-6:2008 (**UWAGA! Załącznik ma charakter informacyjny**) opisuje sytuację, w której na skutek przepływu prądu zwarciovego (uszkodzeniowego) przewody nagrzewają się, zwiększając przy tym swoją rezystancję. Proponuje się, aby w takim przypadku przyjąć warunek samoczynnego wyłączenia zasilania w postaci:

$$Z_s \leq \frac{2}{3} \frac{U_o}{I_a} \quad \text{lub} \quad I_a \leq \frac{2}{3} \frac{U_o}{Z_s}$$

Przyjęcie tej zasady oznacza zwiększenie prądu wyłączającego zastosowanego zabezpieczenia aż o 50%. Jest to niezmiernie trudne do uzasadnienia nagrzewaniem się przewodów, przez co miałyby wzrosnąć ich rezystancja.

W instalacjach odbiorczych sieci w układzie TN, jak już wcześniej napisano, prądy zwarciovie przyjmują duże wartości. Przy czasie zadziałania wielokrotnie krótszym niż 0,4 s zjawisko takie nie ma istotnego znaczenia. Przewody elektryczne mogą się nagrzewać przy niskoprądowych zwarciach o dużej oporności, a nie przy bardzo dużych prądach spowodowanych metalicznym zwarcim, gdy występuje praktycznie natychmiastowe wyłączenie zasilania.

Uzasadnianie konieczności przyjmowania takiego obostrzenia faktycznym nagrzaniem się przewodów podczas normalnej pracy, pracy pod obciążeniem, również nie jest do końca przekonujące, ponieważ wykonanie pomiaru w takim obwodzie (przewody nagrzane mniej lub bardziej) wykaże obiektywnie wartość impedancji razem ze zwiększoną składową rezystancyjną. Przy ocenie warunku samoczynnego wyłączania zasilania w sieci odbiorczej (obiekty mieszkalne, biura, obiekty użyteczności publicznej) o układzie TN nie ma uzasadnionej potrzeby tak drastycznego zaostrzania kryteriów.

Oczywiście mogą wystąpić sytuacje, w których pomiary będą wykonywane poza normalną pracą badanego obwodu (występujące raczej w warunkach przemysłowych, np. obwody zasilające wentylatory). Zatem wiedząc, że obwód będzie normalnie bardzo obciążony, nie popełnimy błędu, jeśli przyjmimy współczynnik zaostrzający ocenę warunku samoczynnego zasilania. Bazując na

uznanych regułach wiedzy technicznej, doświadczeniu i specyficznych właściwościach badanego obwodu możemy zwiększyć wartość prądu wyłączającego, powodującego zadziałanie zabezpieczenia w określonym normą czasie. Wydaje się jednak, że zwiększenie I_a o 20% będzie w takim, skądinąd rzadkim przypadku, wystarczające. Oczywiście o tym musi zdecydować sam pomiarowiec zgodnie z zasadą, że odpowiada on za przygotowanie, przeprowadzenie badań oraz interpretację wyniku pomiaru.

Przy zastosowaniu wyłącznika różnicowoprądowego jako urządzenia wyłączającego opisana zasada nie znajduje zastosowania.

Autor:

Roman Domański

SONEL S.A.

Źródła:

[1] Materiały szkoleniowe „POMIARY ODBIORCZE I EKSPLOATACYJNE ZAPEWNIAJĄCE BEZPIECZEŃSTWO PRZY URZĄDZENIACH ELEKTROENERGETYCZNYCH” - Szkolenie dla członków Pomorsko-Kujawskiej Izby Inżynierów Budownictwa Bydgoszcz – Toruń-Włocławek, 26-27 listopada 2010 r. Dr Edward Musiał Politechnika Gdańska

IEC 62423:2007 Type B residual current operated circuit-breakers with and without integral overcurrent protection for household and similar uses (Type B RCCBs and Type B RCBOs) oraz IEC/TR 60755:2008 General requirements for residual current operated protective devices