

UNIwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy
Wydział Inżynierii Mechanicznej
Instytut Eksploatacji Maszyn i Transportu
ZAKŁAD STEROWANIA



ELEKTROTECHNIKA I ELEKTRONIKA

Ćwiczenie: **E22**

OCHRONA PRZECIWPORAŻENIOWA

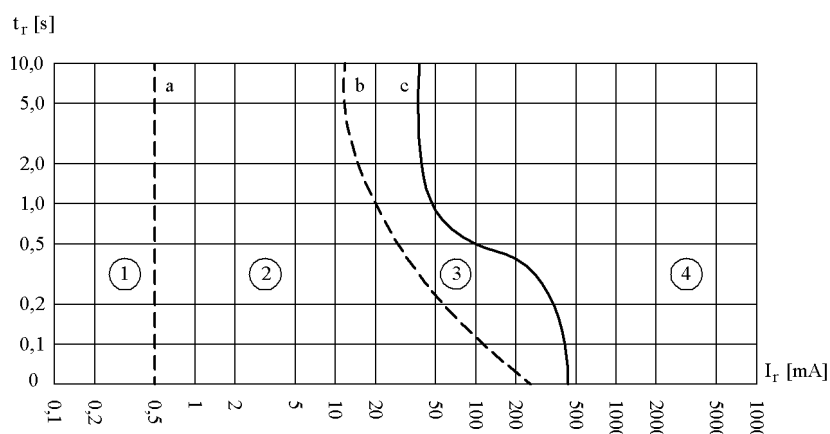
Piotr Kolber, Daniel Perczyński
Bydgoszcz 2011

1. Działanie prądu elektrycznego na organizm ludzki.

Jeżeli człowiek dotyka jednocześnie dwóch punktów, między którymi występuje różnica potencjałów to przez jego ciało przepływa prąd elektryczny. Człowiek staje się wówczas częścią obwodu elektrycznego i może ulec porażeniu.

Nie każdy przepływ prądu elektrycznego przez organizm ludzki stwarza niebezpieczeństwo porażenia (prąd wykorzystywany jest również w medycynie do celów diagnostycznych i leczniczych). To, czy przepływ prądu przez organizm ludzki okaże się szkodliwy dla człowieka, zależy od wielu czynników. Najważniejszymi czynnikami wpływającymi na skutki przepływu prądu przez organizm ludzki są:

- indywidualna wrażliwość człowieka i jego impedancja (rzędu kilkuset omów),
- droga przepływu prądu,
- wartość natężenia prądu i czas jego przepływu (rys 1) (generalnie, jeżeli czas przepływu prądu nie przekracza 0,3s to następstwa rażenia są mniej groźne),
- rodzaj prądu i jego częstotliwość.



Rys. 1. Bezpośrednie skutki rażenia człowieka na drodze ręka-ręka lub ręka-nogi, przy przepływie prądu przemiennego o częstotliwości 50Hz [2].

1.1. Zależność skutków działania prądu elektrycznego na człowieka od jego natężenia i czasu przepływu

Im dłuższy jest czas przepływu i im wyższa wartość natężenia prądu, tym jest on groźniejszy w skutkach. Przy przepływie prądu przemiennego o częstotliwości 50 Hz w kierunku lewa ręka - nogi wyróżnia się cztery strefy skutków (rys.1):

1 strefa - zawarta między zerową wartością prądu, a granicą odczuwalności *a* (krzywa graniczna *a*) - brak reakcji organizmu

2 strefa - zawarta między krzywymi *a* i *b* - (krzywa graniczna *b* -granica samouwolnienia) -nieszkodliwe dla organizmu reakcje. Pojawia się uczucie mrowienia w palcach, skurcze mięśni obejmujących przedmiot będący pod napięciem, ból – im bliżej granicy samouwolnienia tym ból i skurcze stają się silniejsze.

3 strefa - zawarta między krzywymi *b* i *c* (krzywa graniczna *c* wyznaczona jest dla 5% prawdopodobieństwa wystąpienia fibrylacji) - nasilenie zjawisk ze strefy 2, dodatkowo pojawiają się trudności z oddychaniem, zakłócenia pracy serca

4 strefa - dolną granicę tej strefy wyznacza krzywa graniczna *c* - następuje nasilenie zjawisk ze strefy 3, pojawia się zjawisko fibrylacji - migotania komór serca. Prawdopodobieństwo fibrylacji wzrasta ze wzrostem prądu i czasu rażenia. Dochodzi cieplne działanie prądu, zaburzone zostaje funkcjonowanie całego organizmu. Na skutek oparzeń wewnątrz ciała wytwarza się mioglobina, która zatyka nerki i nawet jeśli nie nastąpił zgon, może nastąpić wkrótce z powodu zatrucia organizmu.

Pośrednie działanie prądu może nastąpić podczas obecności człowieka przy przeskoku łuku lub przy wyładowaniach atmosferycznych. Skutkiem pośredniego działania prądu mogą być oparzenia, oślepienia, złamania kości (od upadków).

Ochrona przeciwporażeniowa ma za zadanie nie dopuścić do porażenia prądem elektrycznym, a jeśli to nastąpi (np. w razie awarii urządzenia), znacznie ograniczyć (zminimalizować) jego negatywne skutki. Najczęściej realizuje się to poprzez natychmiastowe samoczynne odłączenie uszkodzonego urządzenia spod napięcia.

2. Podział urządzeń elektrycznych

Urządzenia elektryczne dzielimy na:

- a) urządzenia wysokiego napięcia – zasilane napięciem powyżej 1kV, do których ma dostęp tylko wykwalifikowany personel.
- b) urządzenia niskiego napięcia jednofazowe i trójfazowe – zasilane napięciem do 1kV. W tej grupie znajdują się *maszyny elektryczne* i urządzenia powszechnego użytku, do których ma dostęp każdy, bez względu na kwalifikacje.

- c) urządzenia na napięcia niższe niż 50 V prądu zmiennego i 120 V prądu stałego, objęte ochroną podstawową przez zastosowanie przede wszystkim izolacji ochronnej. Napięcia poniżej 50V(~) i 120V(-) w warunkach normalnych, nie uważa się za niebezpieczne.

Większość tragicznych wypadków porażenia prądem elektrycznym wskutek rażenia bezpośredniego, zdarza się głównie w grupie urządzeń niskiego napięcia, w warunkach domowych, np. w czasie użytkowania odbiorników o uszkodzonej izolacji lub przy braku ciągłości przewodu ochronno-neutralnego i sprawnych odbiornikach. Dlatego ustawy i normy o ochronie przeciwporażeniowej dla sieci niskiego napięcia, z której zasila się tą grupę odbiorników, są objęte szczególną uwagą.

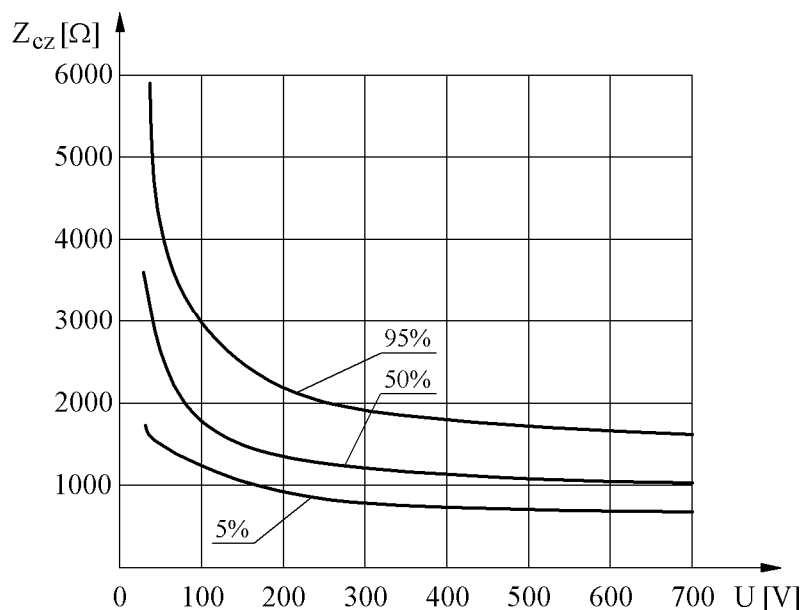
3. Impedancja człowieka, napięcie dotykowe.

Wartość prądu rażeniowego płynącego przez człowieka, zgodnie z prawem Ohma, zależy od napięcia dotykowego i impedancji człowieka. Definicje tych pojęć podano niżej.

1) *Napięcie dotykowe* (U_d) to takie napięcie, które występuje w warunkach normalnych lub zakłóceńowych pomiędzy dwoma częściami jednocześnie dostępnymi (znajdującymi się w zasięgu ręki) nie należącymi do obwodu elektrycznego;

Części jednocześnie dostępne to przewody i elementy przewodzące należące do obwodu lub nie, które mogą być dotknięte jednocześnie przez człowieka lub zwierzę.

2) *Impedancja człowieka (impedancja ciała ludzkiego)* (Z_{CZ}) obejmuje niewielką rezystancję wnętrza ciała oraz rezystancję i pojemność naskórka w miejscach styku z obwodem elektrycznym. Wartość impedancji ciała ludzkiego zawiera się od ok. 1 do 100k Ω i zależy od stanu naskórka, indywidualnych właściwości człowieka a także od wartości napięcia dotykowego (rys. 9.2). Między dłonią a barkiem zawiera się w przybliżeniu 40% impedancji, tułów to ok. 10% impedancji, a noga to ok. 50% impedancji człowieka. [1]



Rys.2. Zależność impedancji człowieka od napięcia (na drodze ręka-ręka lub ręka-nogi). Impedancję mniejszą od podanej na wykresie ma odpowiednio 95, 50 i 5% badanych [2]

Obowiązujące przepisy ustalają jedną wartość impedancji ciała człowieka wynoszącą 1000Ω. W normach określa się

- * warunki środowiskowe, 1 gdy impedancja człowieka $Z_{CZ} > 1000\Omega$
- * warunki środowiskowe 2, gdy impedancja człowieka $Z_{CZ} < 1000\Omega$

Warunki środowiskowe 1 uznaje się za warunki normalne, natomiast warunki środowiskowe 2 są warunkami szczególnego zagrożenia, które wpływają na obniżenie impedancji ciała człowieka. Występują one przy dużej wilgotności pomieszczeń, podczas pracy człowieka bezpośrednio na gruncie, przy obecności przedmiotów przewodzących mogących mieć potencjał ziemi i będących w zasięgu ręki, przy wysokiej temperaturze otoczenia itd.

4. Ochrona przeciwporażeniowa

W urządzeniach elektroenergetycznych o napięciu znamionowym do 1kV ochronę przeciwporażeniową można zapewnić poprzez zastosowanie [9]:

- 1) bardzo niskich napięć bezpiecznych

napięcie bezpieczne to największa wartość napięcia dotykowego lub roboczego utrzymująca się długotrwale w określonych warunkach nie stanowiąca zagrożenia dla zdrowia człowieka. W ustawie [9] zostały określone różne jego wartości w zależności od warunków środowiskowych i rodzaju prądu:

- * dla warunków środowiskowych 1 wartość napięcia bezpiecznego wynosi:
 - dla prądu zmiennego (o częstotliwości $f=15-500\text{Hz}$) - 50 V;
 - dla prądu stałego - 120 V;

- * dla warunków środowiskowych 2 wartość napięcia bezpiecznego wynosi
 - dla prądu zmiennego ($f=15-500\text{Hz}$) - 25 V;
 - dla prądu stałego - 60 V;

2) ochrony przeciwporażeniowej podstawowej oraz conajmniej jednego ze środków ochrony przeciwporażeniowej dodatkowej

4.1. Ochrona przez zastosowanie napięć bezpiecznych (ochrona przed dotykiem bezpośrednim i pośrednim)

W określonych warunkach środowiskowych buduje się sieci o napięciu roboczym bezpiecznym typu SELV, PELV i FELV. Sieci te są w sposób pewny oddzielone od innych obwodów elektrycznych. Posiadają własne gniazda i wtyki różniące się wielkością od gniazd innych obwodów. Zasilane są z transformatorów bezpieczeństwa, prądnic napędzanych silnikiem nieelektrycznym, akumulatorów itp.

Sieć typu SELV nie ma połączonych części czynnych urządzeń z uziemem. Sieć typu PELV ma połączone części czynne urządzeń z uziemem, natomiast sieć FELV ma jeszcze dodatkowo wyprowadzony przewód ochronny [7].

4.2. Ochrona przeciwporażeniowa podstawowa (ochrona przed dotykiem bezpośrednim)

Do środków ochrony podstawowej zalicza się:

- a) *izolację podstawową* instalacji i urządzeń będących pod napięciem. Impedancja izolacji powinna wynosić conajmniej $1\text{M}\Omega$ dla instalacji i $2\text{M}\Omega$ dla urządzeń, przypadająca na każdy 1V napięcia zasilania. Powinna ona być odporna na długotrwałe wpływy chemiczne, mechaniczne, elektryczne i termiczne zgodnie odpowiednimi normami;
- b) *ogrodzenia lub obudowy* – należą do nich osłony zapobiegające umyślnemu dotknięciu części czynnych, które powinny być tak umocowane, żeby nie można było ich usunąć bez pomocy narzędzi. Zalicza się tu również przegrody lub obudowy o stopniu ochrony co najmniej IP2X (ochrona przed dostaniem się palca ludzkiego), a także izolację o wytrzymałości napięcia probierczego 500V;
- c) *bariery* – jest to rodzaj ogrodzenia zapobiegającego przypadkowemu dotknięciu części czynnych (czyli będących pod napięciem) w miejscach dostępnych tylko dla wykwalifikowanego personelu;
- d) *uniedostępienie* tzn. umieszczenie części czynnych poza zasięgiem ręki; *zasięg ręki* to walec o średnicy 2,5m wysokości 2,5m ponad poziom stóp i 1,25m poniżej poziomu stóp [7].

- e) *wyłączniki różnicowo-prądowe* - mogą być stosowane wyłącznie te o wartości prądu wyzwalającego do 30mA. Nie mogą być jedynym środkiem ochrony przed dotykiem bezpośrednim. Ich zadaniem jest uzupełnienie ochrony w przypadku nieskuteczności działania innych środków ochrony przed dotykiem bezpośrednim.

Środki ochrony podstawowej zawarte w punktach a) i b) zapewniają *ochronę całkowitą*, w punktach b) i c) zapewniają *ochronę częściową*, natomiast wyłączniki różnicowo-prądowe traktowane są jako *ochrona uzupełniająca* [4].

4.3. Ochrona przeciwporażeniowa dodatkowa (ochrona przed dotykiem pośrednim)

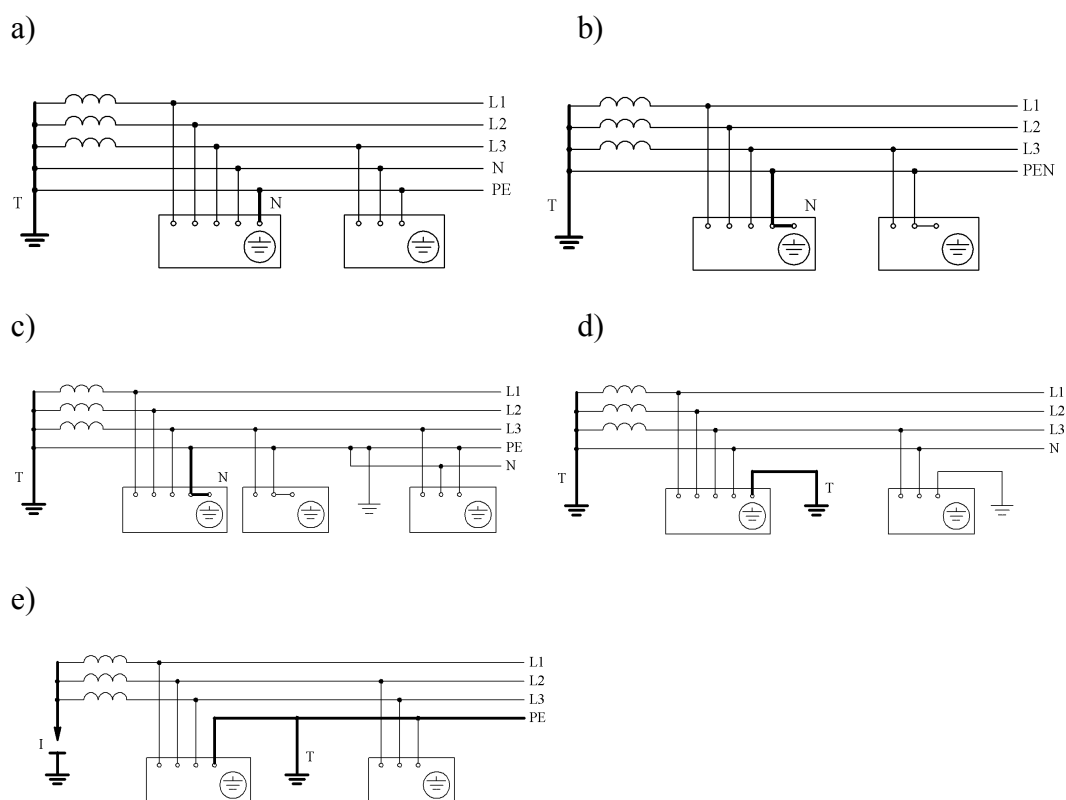
Izolacja podstawowa może ulec uszkodzeniu – przebiciu elektrycznemu, przepaleniu, zanieczyszczeniu powierzchni albo zawilgoceniu. Dostępne części (części jednocześnie dostępne) przewodzące mogą się znaleźć wówczas pod napięciem. Dlatego oprócz ochrony podstawowej stosuje się ochronę przeciwporażeniową dodatkową. Do środków ochrony dodatkowej zalicza się:

- a) ochronę przez samoczynne wyłączenie zasilania;
- b) ochronę przez zastosowanie urządzeń II klasy ochronności;
- c) separację odbiorników;
- d) ochronę przez zastosowanie nieuziemionych połączeń wyrównawczych;
- e) izolowanie stanowiska.

Stosowanie poszczególnych środków ochrony dodatkowej zależy od układu chronionej sieci niskiego napięcia.

4.3.1. Układy sieci niskiego napięcia

Sieci TN, TT i IT są trójfazowymi sieciami niskiego napięcia. Sieć TN – to sieć z uziemieniem roboczym bezpośrednim i wyprowadzonym z transformatora uziemionym przewodem ochronnym (TN-S), ochronno-neutralnym (TN-C), lub częściowo ochronno-neutralnym i ochronnym (TN-C-S). Sieć TT to sieć z uziemieniem roboczym bezpośrednim, w której uziemienia ochronne części czynnych urządzeń wykonane są osobno. Sieć IT to sieć z izolowanym punktem zerowym, w której stosuje się uziemienia ochronne części czynnych urządzeń. Przykładowe układy zostały przedstawione na rysunku 3



Rys. 3. Układy sieci niskiego napięcia. Układ a) TN-S; b) TN-C; c) TN-C-S; d) TT; e) IT.

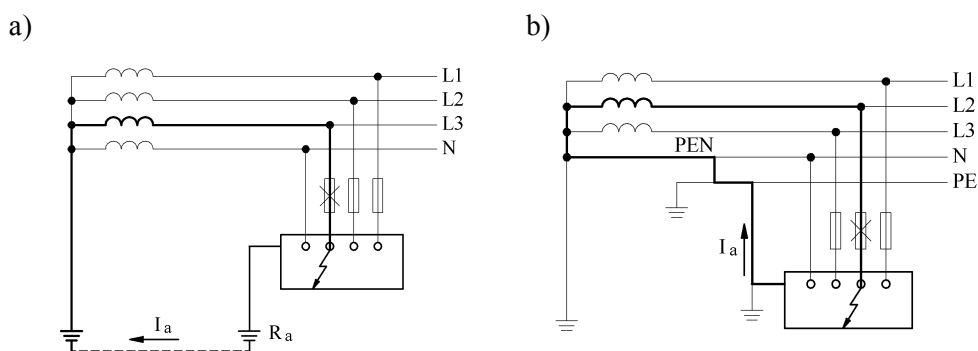
4.3.2. Ochrona poprzez zapewnienie samoczynnego wyłączenia zasilania.

Urządzenie ochronne powinno samoczynnie dostatecznie szybko wyłączyć zasilanie chronionego przed dotykiem pośrednim obwodu, tak aby w następstwie zwarcia między częścią czynną znajdującą się pod napięciem, a dowolną częścią przewodzącą dostępną, spodziewane napięcie dotykowe nie spowodowało niebezpiecznych skutków przepływu prądu rażeniowego przez człowieka.

Części przewodzące dostępne powinny być połączone przewodem ochronnym zgodnie z wymogami określonymi dla każdego układu sieci.

Dawniej samoczynne wyłączenie zasilania w układzie TN zapewniało tzw. zerowanie.

W obecnej normie [7] nie ma już pojęcia zerowania. W nowej normie ten typ zabezpieczenia nazywany jest ochroną przez zastosowanie samoczynnego wyłączenia zasilania w układzie TN, co jest pojęciem bardziej ogólnym. Może być ono realizowane poprzez wyłączniki różnicowo-prądowe lub urządzenia ochronne przetężeniowe (jak przy zerowaniu). Chociaż obecna norma nie ujmuje rozwiązania typu zerowanie, w wielu budynkach zbudowanych przed rokiem 1990, ten typ zabezpieczenia był stosowany i nie będzie zmieniony bo zgodnie [9] nie ma takiego obowiązku.



Rys 4. Ilustracja pętli zwarciowej w przypadku jednofazowego zwarcia w układzie sieci:
a) TT; b) TN-C-S; (I_a - prąd zwarciowy wyłączający zabezpieczenie).

Zasada działania samoczynnego wyłączenia zasilania została przedstawiona na rysunku 4. W przypadku przerwania przewodu fazowego na obudowie urządzenia pojawia się napięcie. Dzięki przewodom ochronnym lub ochronno-neutralnym prąd zwarciowy płynie w obwodzie zamkniętym i posiada dużą wartość co powoduje zadziałanie odpowiednio dobranego zabezpieczenia przetężeniowego (np. przepalenie bezpiecznika) w bardzo krótkim czasie. Wartości maksymalnych czasów, w których zabezpieczenia powinny odłączyć napięcie podane są w tabeli 1[7].

Tabela 1. Najdłuższe dopuszczalne czasy wyłączenia w sieciach i instalacjach o układzie TN

Wartość skuteczna napięcia względem ziemi w [V]	Czas wyłączenia w [s]
120	0,8
230	0,4
277	0,4
400	0,2
>400	0,1

W niektórych warunkach określonych w normie dopuszcza się czasy wyłączenia dłuższe od podanych, lecz maksymalnie do 5s. (Taki czas był warunkiem zadziałania zerowania wg wycofanych norm. W aktualnej normie [7] ewentualny czas przepływu prądu przez organizm przy napięciu 230V, został skrócony do wartości odpowiadającej 1 cyklowi pracy serca człowieka)

Podstawowym warunkiem szybkiego wyłączenia zwarć 1-fazowych w układzie TN, jest zapewnienie dostatecznie dużego prądu zwarciowego, aby pobudzić działanie przetężeniowego zabezpieczenia obwodu. Warunek ten można zapisać:

$$Z_p \cdot I_a \leq U_0 \quad (1)$$

Warunek ten będzie spełniony, gdy :

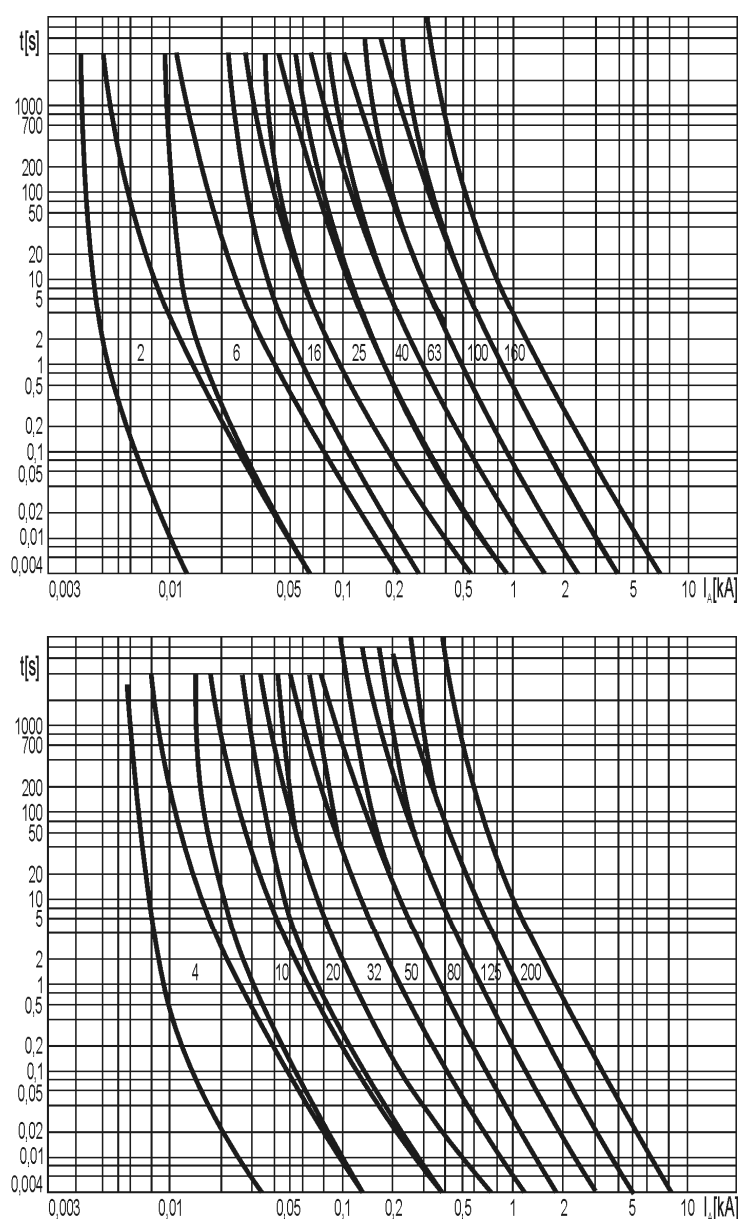
$$\frac{U_0}{Z_p} \geq I_a \quad (2)$$

I_a - prąd wyłączający, zapewniający samoczynne zadziałanie zabezpieczenia w określonym normą czasie

Z_p - impedancja pętli zwarciowej- impedancja obwodu, w którym popłynie prąd zwarciowy w przypadku wystąpienia niebezpiecznego napięcia dotykowego.

U_0 - wartość skuteczna napięcia przemiennego względem ziemi (np. napięcie fazowe)

Na rysunku 5 podano przykładowe charakterystyki pasmowe czasowo-prądowe wkładek topikowych bezpieczników niskonapięciowych.



Rys 5. Charakterystyki pasmowe czasowo-prądowe bezpieczników instalacyjnych [5]

Po ustaleniu wartości czasu po jakim bezpiecznik powinien zadziałać, na podstawie charakterystyk, otrzymamy wartość prądu wyłączającego dla wkładki. Wartość prądu zwarciovego musi być większa od wartości prądu wyłączającego aby bezpiecznik zadziałał w wyznaczonym czasie. Wartości prądów wyłączających dla bezpieczników o napięciu do 235V, określonych na podstawie charakterystyk wkładek topikowych zwłocznych dla czasów 0,2s 0,4s i 5s, zamieszczono w tabeli 2.

Tabela 2. Wartości prądów wyłączających dla określonych czasów przepalenia się wkładek topikowych o charakterystyce zwłocznej [3]

Prąd znamionowy bezpiecznika o charakterystyce zwłocznej I_{nb} w [A]	Prądy zadziałania bezpieczników w czasie do:		
	0,2s	0,4s	5s
	I_a [A]	I_a [A]	I_a [A]
6	60	50	28
10	100	84	47
16	148	130	72
20	190	165	88
25	250	220	120
32	330	280	156
63	750	630	350

W układach sieci TN, z wyjątkiem układu TN-C, mogą być stosowane zarówno urządzenia ochronne przetężeniowe jak i różnicowoprądowe. W układzie TN-C stosuje się wyłącznie urządzenia ochronne przetężeniowe.

W układzie TT wszystkie części przewodzące dostępne, chronione tym samym urządzeniem, połączone są wspólnym przewodem ochronnym i przyłączone do tego samego uziomu. Samowylączenie jest zapewnione po spełnieniu następującego warunku:

$$R_A I_a \leq 50V \quad (3)$$

gdzie:

R_A - jest sumą rezystancji uziomu i przewodu ochronnego części przewodzących dostępnych

I_a - jest prądem powodującym samoczynne zadziałanie urządzenia ochronnego (prądem wyłączającym), dla zabezpieczeń różnicowoprądowych jest to znamionowy różnicowy prąd zadziałania.

W układzie sieci TT, gdy wartość R_A jest bardzo mała, mogą być zastosowane zarówno urządzenia ochronne różnicowo-prądowe, jak i przetężeniowe.

W układzie sieci IT części czynne (będące pod napięciem) są odizolowane od ziemi lub połączone z ziemią za pośrednictwem impedancji o dużej wartości. Żaden przewód czynny instalacji nie może być bezpośrednio połączony z ziemią. W przypadku pierwszego doziemienia, prąd płynący

do części przewodzących dostępnych jest mały i wyłączenie nie jest konieczne. Wymagane jest natomiast w przypadku wystąpienia drugiego doziemienia

Części przewodzące dostępne powinny być uziemione zbiorowo, indywidualnie lub grupowo i powinien być spełniony warunek:

$$R_A I_d \leq 50V \quad (4)$$

gdzie:

I_d - prąd pierwszego doziemienia, przy pomijalnej rezystancji między przewodem fazowym i częścią przewodzącą dostępną, płynący przez uziemienie instalacji elektrycznej.

W układach tych stosuje się urządzenia kontrolujące stan izolacji - sygnalizujące jej uszkodzenie. Dla zabezpieczenia przed drugim doziemieniem stosuje się wyłączniki różnicowo-prądowe i urządzenia ochronne przetężeniowe.

Jeśli w układzie sieci IT nie jest zastosowany przewód neutralny powinien być spełniony warunek:


$$Z_p \leq \frac{\sqrt{3} \cdot U_0}{2I_a} \quad (5)$$

lub gdy jest stosowany przewód neutralny

$$Z_p \leq \frac{U_0}{2I_a} \quad (6)$$

W przypadku podwójnego doziemienia wartość prądu wyłączającego I_a zabezpieczenia przetężeniowego (bezpiecznika) przyjmuje się dla innych niż dla układów TN i TT wartości dopuszczalnych czasów zadziałania (określonych normą).

4.3.3. Ochrona przez zastosowanie urządzeń II klasy ochronności

W urządzeniach II klasy ochronności stosuje się podwójną lub wzmocnioną izolację. Zagrożenie powstałe w wyniku uszkodzenia takiej izolacji jest mało prawdopodobne. Urządzeń II klasy ochronności nie uziemia się i oznacza symbolem umieszczonym na tabliczce znamionowej . Urządzenia takie mogą być stosowane we wszystkich układach sieci, chyba że normy szczegółowe stanowią inaczej.

W środowisku o zwiększonym zagrożeniu porażeniowym, stosowanie tego typu urządzeń również zapewnia skuteczną ochronę, pod warunkiem użytkowania ich zgodnie z przeznaczeniem. Obecnie większość urządzeń ręcznych (wiertarki, suszarki, niektóre odbiorniki gospodarstwa domowego itp.) jest wykonana jako urządzenia II klasy ochronności.

4.3.4. Izolowanie stanowiska

Ten środek ochrony stosuje się w suchych pomieszczeniach o izolacyjnej podłodze i ścianach, w których znajdują się urządzenia elektryczne zainstalowane na stałe. Izolowanie stanowiska ma zapobiegać jednoczesnemu dotknięciu części przewodzących, które w wyniku uszkodzenia izolacji podstawowej mogą mieć różne potencjały. Pokrywa się w tym celu stanowisko izolacją o dużej wytrzymałości mechanicznej i elektrycznej; o rezystancji nie mniejszej niż 50 k Ω jeżeli napięcie znamionowe instalacji nie przekracza 500V i 100k Ω jeżeli przekracza wartość 500V. Odstęp między częściami przewodzącymi powinien być taki, aby człowiek nie mógł w warunkach normalnych jednocześnie ich dotknąć (poza zasięgiem ręki).

4.3.5. Separacja odbiorników.

Separacja odbiorników jest to ochrona polegająca na rozdzieleniu w sposób pewny obwodu zasilającego i odbiorczego tak, aby w przypadku uszkodzenia izolacji podstawowej w separowanym obwodzie nie występowały warunki zagrażające porażeniem elektrycznym.

Pojedynczy odbiornik zasilany jest napięciem nie wyższym niż 500V z transformatora separacyjnego, tak wykonanego, że niemożliwe jest zwarcie między jego uzwojeniami. Części czynne obwodu i urządzenia nie mogą być uziemione, ani połączone przewodami ochronnymi innych obwodów. W przypadku jednofazowego zwarcia prąd nie płynie, gdyż nie ma dla niego drogi powrotnej. Rozwiązanie takie może być stosowane nawet w warunkach szczególnego zagrożenia, do użytkowania urządzenia o wyższym napięciu niż bardzo niskie napięcia bezpieczne, określone w normie [7].

4.3.6. Ochrona przez zastosowanie nieziemionych połączeń wyrównawczych

Połączenia wyrównawcze wykonuje się łącząc ze sobą wszystkie dostępne części przewodzące (np. rurociąg wodny, grzewczy, stalową konstrukcję budynku, uziom budynku, metalowe obudowy urządzeń itp) uziemionym przewodem ochronnym, w celu obniżenia wartości napięcia dotykowego, które może wystąpić w wyniku uszkodzenia izolacji.

Przykładowo, w razie uszkodzenia izolacji przewodu w żelbetowym stropie, może wystąpić niebezpieczne napięcie dotykowe między dwiema częściami metalowymi nie należącymi do obwodu np. między kranem i metalową wanną. Aby temu zapobiec, łączy się wszystkie części metalowe przewodami do głównych szyn wyrównawczych znajdujących się najczęściej w piwnicy. Z szyną wyrównawczą połączony jest również przewód ochronny PE lub PEN instalacji elektrycznej. Połączenia wyrównawcze główne powinny być wykonane w każdym obiekcie budowlanym.

Stosuje się również miejscowe połączenia wyrównawcze w pomieszczeniach o zwiększonym zagrożeniu porażeniem (w łazienkach, basenach, kotłowniach, obiektach hodowlanych itp.) gdzie w zasięgu ręki znajduje się wiele mas metalowych.

5. Sprawdzanie skuteczności zadziałania samoczynnego wyłączenia zasilania poprzez pomiar impedancji pętli zwarciowej

Pomiar impedancji pętli zwarciowej ma na celu sprawdzenie skuteczności działania urządzeń ochronnych, których zadaniem jest szybkie samoczynne wyłączenie zasilania w przypadku jednofazowych zwarć z obudową chronionych urządzeń.

Ochronę uważa się za skuteczną, gdy spodziewany prąd zwarciowy lub przetężeniowy, będzie większy od prądu wyłączającego zabezpieczenie zwarciowe w określonym czasie [7]. Badania takie przeprowadza się przy załączonej sieci. Ponieważ nie można pomierzyć wartości prądu zwarciowego bezpośrednio, podczas badania mierzy się napięcie fazowe oraz impedancję pętli podczas zwarcia, wyznaczając przybliżoną wartość prądu pośrednio z prawa Ohma. Pomiar impedancji pętli zwarciowej obarczone są pewnym błędem, zależnym od zastosowanej metody. Ponadto wartości mierzonych wielkości uzyskuje się poprzez obliczenia, co powoduje dalsze zwiększanie błędów [4]. Pomiar w stanie zwarcia wiąże się z dużym ryzykiem w przypadku braku ciągłości przewodu ochronnego. Z tego powodu, przed przystąpieniem do pomiaru impedancji pętli zwarciowej, należy zawsze sprawdzić ciągłość przewodu.

5.1. Metody pomiaru impedancji pętli zwarciowej

Pomiar impedancji zwarciowej można przeprowadzić na kilka sposobów, z których do najpopularniejszych zalicza się:

- 1) pomiar impedancji pętli zwarciowej metodą spadku napięcia;
- 2) pomiar impedancji pętli zwarciowej z zastosowaniem oddzielnego zasilania;
- 3) pomiar impedancji pętli zwarciowej za pomocą kompensacyjnego miernika skuteczności zerowania.

Pierwsza metoda [8] polega na pomiarze napięcia sprawdzanego obwodu przy włączonym i wyłączonym obciążeniu o regulowanej rezystancji rys 9.6. Impedancję pętli zwarciowej oblicza się według wzoru:

$$Z_p = \frac{U_1 - U_2}{I_R} \quad (7)$$

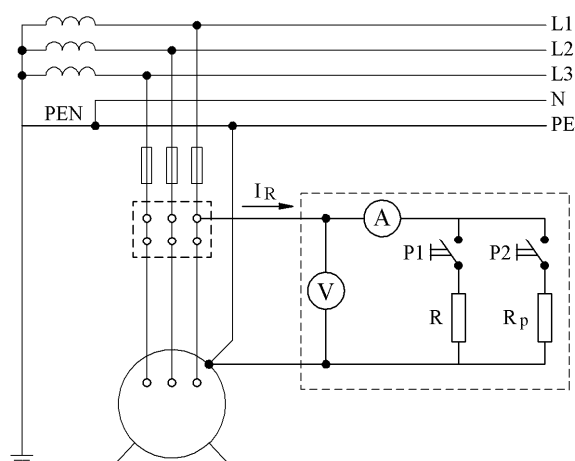
gdzie:

- Z_p – impedancja pętli zwarciowej
- U_1 - napięcie zmierzone przed włączeniem rezystancji obciążenia;
- U_2 - napięcie zmierzone po włączeniu rezystancji obciążenia;

I_R – prąd płynący przez rezystancję obciążenia

W tej metodzie zaleca się, aby różnica między napięciami U_1 i U_2 , czyli spadek napięcia na rezystancji obciążenia był duży, gdyż zwiększa się wówczas dokładność wyników obliczeń. Przewidywany prąd zwarciovowy dla fazy otrzymamy dzieląc napięcie fazowe przez otrzymaną w wyniku pomiarów impedancję.

Przed przystąpieniem do badania impedancji pętli zwarciovowej należy sprawdzić ciągłość przewodu ochronnego np. poprzez załączenie opornika pomocniczego o dużej rezystancji R_p (ok. 22-25k Ω) (rys.6). Wówczas będzie w obwodzie płynął niewielki prąd (ok. 10mA), nie stwarzający niebezpieczeństwa porażenia w razie braku ciągłości. Przy braku ciągłości amperomierz o odpowiednio dobranym zakresie będzie wskazywał zero.



Rys 6. Układ do pomiaru impedancji pętli zwarciovowej metodą spadku napięcia.

W metodzie drugiej pomiar jest wykonywany przy wyłączonym źródle zasilania i przy zwartym uzwojeniu pierwotnym transformatora [8]. Strona wtórna transformatora jest również zwarta i zasilana jednocześnie z oddzielnego źródła zasilania, załączonego między fazami i przewodem ochronnym. Impedancję pętli oblicza się według wzoru:

$$Z_p = \frac{U}{I} \quad (8)$$

gdzie:

U- napięcie źródła zasilania zmierzone podczas próby
I- prąd zmierzony podczas próby

Dokładność powyższych metod zależy od klasy użytych mierników, od dokładności odczytów i obliczeń. Zależy również od wartości prądu pomiarowego (dokładność maleje gdy maleje wartość prądu), a w pierwszym przypadku dodatkowo jeszcze od spadku napięcia na rezystancji. Często trudno jest uzyskać wymaganą dokładność wyników badań.

Najbardziej dokładnym i bezpiecznym sposobem pomiaru impedancji jest metoda przy użyciu kompensacyjnego miernika skuteczności zerowania. Metoda ta nie wymaga ingerencji w pracę transformatora. Dzięki zastosowaniu odpowiednich rozwiązań konstrukcyjnych miernika nie stwarza niebezpieczeństwa porażenia. Przez zastosowanie tej metody można szybko i sprawnie przeprowadzić realizację badań, a dokładność otrzymanych wyników zależy tylko od dokładności miernika, który wskazuje bezpośrednio wartość impedancji.

6. Pomiar impedancji pętli zwarciowej za pomocą miernika MZK-2

6.1. Cel badań

Celem badań jest sprawdzenie skuteczności zadziałania ochrony przeciwporażeniowej maszyny elektrycznej poprzez zastosowanie samoczynnego wyłączenia zasilania

6.2. Stanowisko badawcze

Stanowisko badawcze składa się z kompensacyjnego miernika skuteczności zerowania MZK-2, przystawki z impedorami (impedancje wzorcowe), silnika indukcyjnego i przewodów o przekroju nie mniejszym niż $1,5\text{mm}^2$.

Miernik MZK-2 [10] umożliwia wykonywanie pomiarów impedancji pętli zwarciowej, rezystancji stanowisk oraz napięcia roboczego względem ziemi.

Miernik posiada trzy zakresy pomiarowe impedancji pętli zwarciowych, a mianowicie

- a) od 0 do 2Ω , dla którego prąd pomiarowy wynosi od 6 do 10A
- b) od 0 do 10Ω , dla którego prąd pomiarowy wynosi od 6 do 10A
- c) od 0 do 100Ω , dla którego prąd pomiarowy wynosi 1A

Zakres pomiarowy napięć wynosi od 190V do 250V.

6.3. Program realizacji badań

Przed przystąpieniem do realizacji badań należy dokładnie zapoznać się z instrukcją.

Instrukcja zawiera opis następujących czynności:

1. oględziny i czynności wstępne;
2. sprawdzanie ciągłości obwodu;
3. pomiar impedancji pętli zwarciowej;
4. analizę wyników i wnioski;

6.3.1. Oględziny i czynności wstępne

Przed przystąpieniem do właściwych pomiarów impedancji należy:

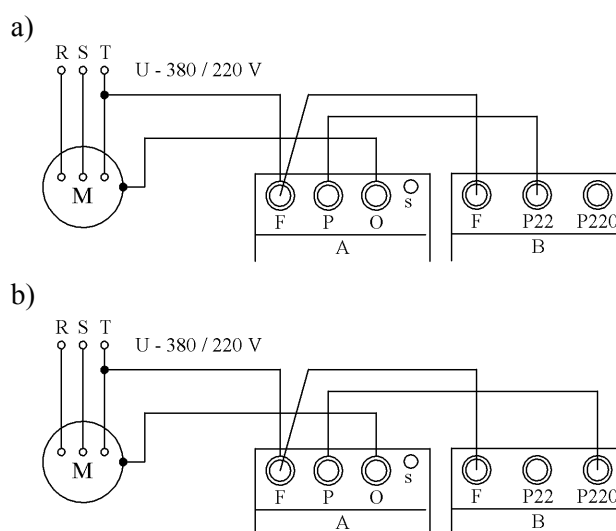
- 1) Dokonać oględzin badanej instalacji. Zwrócić szczególną uwagę na:
 - stan izolacji przewodów zasilających i ochronnych,

- stan urządzenia badanego, czy nie ma widocznych uszkodzeń, które mogą wpłynąć na pogorszenie bezpieczeństwa,
 - stan połączeń przewodów zasilających z urządzeniem, czy zaciski zasilające i ochronne urządzenia nie są uszkodzone, a przewody dobrze zamocowane.
- 2) Sprawdzić wartość prądu znamionowego bezpiecznika zainstalowanego w badanym obwodzie.
 - 3) Korzystając z charakterystyk czasowo-prądowych bezpieczników przedstawionych na rys. policzyć wartość impedancji pętli zwarciowej przyjmując, że czas wyłączenia zwarcia przez ten bezpiecznik powinien wynosić 0,4s, a także dla wartości prądu wyłączającego dla 0,2s i 5s.
 - 4) Zapoznać się z instrukcją miernika, a w szczególności z zawartymi w niej „Zagadnieniami bezpieczeństwa przy pomiarach”

6.3.2. Sprawdzanie ciągłości przewodu ochronnego.

Aby sprawdzić ciągłość przewodu ochronnego należy:

- 1) Połączyć przystawkę B z miernikiem A w zależności od wartości spodziewanej impedancji., następnie przyłączyć do fazy zasilającej i przewodu ochronnego silnika, według schematu podanego na rysunku 7.



Rys. 7. Sposób połączenia miernika A z przystawką B przy pomiarach impedancji pętli zwarciowej dla zakresów pomiarowych a) 0 – 2Ω i 0 – 10Ω b) 0 – 100Ω [10]

Zaciski „F” i „P” miernika łączy się odpowiednio z zaciskami „F” i „P” przystawki, a ponadto zacisk „F” miernika z przewodem fazowym, a chroniony korpus (przez przewód ochronny) odbiornika z zaciskiem „O” miernika. Przełącznik zakresów należy ustawić w pozycji wyjściowej „U”.

- 2) Włączyć układ zasilania. Lampka neonowa umieszczona w dolnej części miernika zasygnalizuje obecność napięcia na zaciskach miernika.

3) Sprawdzić ciągłość obwodu.

W tym celu należy nacisnąć zielony przycisk K znajdujący się na płycie czołowej miernika. W ten sposób dokonuje się wstępnego zwarcia między fazą i zerem przez rezystor ograniczający wartość prądu zwarciovego.

Uwaga: Dopuszczalny czas trwania jednorazowego sztucznego zwarcia wynosi 5 sekund

Gdy wartość napięcia podczas sztucznego zwarcia nie ulega zmianie, lub zmiana nie przekracza 1% wartości mierzonej, należy wnioskować, że obwód ochronny jest ciągły i można przystąpić do właściwego pomiaru impedancji pętli zwarciovowej. W przeciwnym przypadku, oznacza to że przewody ochronne są uszkodzone i dalszych pomiarów wykonywać **nie wolno**. Należy wówczas orzec nieskuteczność ochrony przez samoczynne wyłączenie zasilania.

4) Następnie odczytać wartość napięcia fazowego

6.3.3. Pomiar impedancji pętli zwarciovowej

W celu wykonania pomiarów impedancji pętli zwarciovowej należy:

- 1) Ustawić przełącznik zakresów w pozycji „10Ω, 100Ω” lub „2Ω” w zależności od spodziewanej wartości impedancji.
- 2) Potencjometrem, którego pokrętko znajduje się na bocznej ścianie miernika, ustawić wskazówkę w pozycji zero podziałki omowej.
- 3) Czerwonym przyciskiem Z wykonać sztuczne zwarcie pamiętając, aby nie trwało ono dłużej niż 5s. Wartość impedancji odczytuje się podczas tego zwarcia bezpośrednio na odpowiedniej dla zakresu podziałce omowej.
- 4) Wykonać w trzech seriach po trzy pomiary, z odstępami między seriami po 2 minuty.
- 5) Zanotować wyniki pomiarów, następnie obliczyć średnią wartość impedancji dla każdej serii.
- 6) Dla średnich wartości impedancji obliczyć spodziewany prąd zwarciovowy przy użyciu współczynnika zmniejszającego jego wartość, czyli ze wzoru, który uwzględnia ewentualny uchyb miernika, zalecanego przez autorów instrukcji miernika. Warunek samowylączenia będzie spełniony gdy:

$$0,8 \frac{U_f}{Z_p} > I_a \quad (9)$$

gdzie

U_f – napięcie fazowe

Z_p – impedancja pętli zwarciovowej

I_a – prąd wyłączający zabezpieczenia

6.3.5 Analiza wyników i wnioski

- 1) Na podstawie badań należy przedstawić analizę wyników oraz wnioski. Analiza powinna zawierać m.in. odpowiedzi na pytania:

- Jakie są wyniki przeprowadzonych oględzin?
- Jaki jest wynik sprawdzenia ciągłości obwodu?
- Czy bezpiecznik użyty w badaniach spełnia warunek szybkiego odłączenia obwodu?
- Jakie jeszcze bezpieczniki można zastosować do obwodu o takiej impedancji jaka została zbadana, aby obwód spełniał warunek samowylączenia?

2) Sporządzić sprawozdanie z badań

Sprawozdanie powinno zawierać:

- 1) cel badań;
- 2) opis stanowiska laboratoryjnego;
- 3) sposób przeprowadzenia badań;
- 4) wyniki pomiarów i obliczenia;
- 5) analizę wyników pomiarów i wnioski.

Literatura

1. Bogajewski W „Sieci elektroenergetyczne. Ochrona przeciwporażeniowa i uziemienia” Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1989r
2. IEC Report 479-1(1984) „Effects of current passing through the human body. Part 1. General aspects.”
3. Markiewicz H. „Instalacje elektryczne” WNT, Warszawa 1996r.
4. Markiewicz H. „Zagrożenia i ochrona od porażenia w instalacjach elektroenergetycznych” WNT, Warszawa 2000r.
5. PN-91/E06160/21 „Bezpieczniki topikowe niskonapięciowe. Przykłady typowych bezpieczników znormalizowanych przeznaczonych do obsługi przez osoby upoważnione”
6. PN-IEC 269-3-1+A1 „Bezpieczniki topikowe niskonapięciowe. Wymagania dodatkowe dotyczące bezpieczników instalacyjnych przeznaczonych do stosowania przez osoby niewykwalifikowane (bezpieczniki głównie dla gospodarstw domowych i podobnych zastosowań)”
7. PN-IEC 60364-4-41 „Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przeciwporażeniowa”
8. PN-IEC 60364-6-61 „Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Sprawdzanie odbiorcze”
9. Rozporządzenie Ministra Przemysłu w sprawie „Warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać urządzenia elektroenergetyczne w zakresie ochrony przeciwporażeniowej” Dz.U nr 81, Warszawa, 26 listopada 1990 r
10. Instrukcja obsługi kompensacyjnego miernika skuteczności zerowania MZK-2.