

Spis treści:

1. Napięcia znormalizowane IEC	2
1.1 Podstawy prawne	2
1.2 Pojęcia podstawowe	2
2. Zasilanie odbiorców nieprzemysłowych	3
2.1 Układy sieciowe	4
3. Zasady bezpiecznej obsługi urządzeń elektrycznych.....	8
3.1 Działanie prądu elektrycznego na organizm ludzki	9
3.1.1 Prąd przemienny	10
3.1.2 Prąd stały	11
3.2 Ochrona przeciwporażeniowa	15
3.2.1 Uziemienie ochronne	22
3.2.2 Zerowanie ochronne	26
3.2.3 Eksploatacja dodatkowych środków ochrony przeciwporażeniowej	30
4. Literatura	33

1. Napięcia znormalizowane IEC

Zmiana napięcia w sieci nn. dostosowanie do standardów UE

1.1 Podstawy prawne

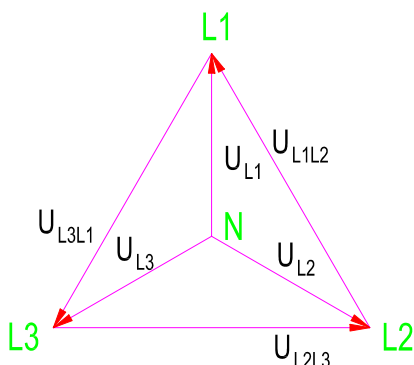
Zgodnie z Ustawą z dnia 03.04.1999 r. o normalizacji (Dz. U. nr 53 poz. 251 ze zm.) i wydanym na jej podstawie Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 14.09.1999 r. w sprawie obowiązku stosowania niektórych Polskich Norm (Dz.U. nr 80, poz. 911 ze zm.), zmienionym rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 20.01.2002r. (Dz.U. Nr 14, poz. 133) w Polsce zobowiązani jesteśmy do wprowadzenia w życie **w całości** zapisów Polskiej Normy PN-IEC 60038:1999 „Napięcia znormalizowane IEC”. W związku z tym do końca 2003 roku, w sieci niskiego napięcia z dotychczasowych 220/380 V napięcie powinno być podwyższone do **230/400 V ±10%**. W okresie przejściowym napięcie w sieci powinno wynosić zgodnie z zaleceniami normy PN-IEC 60038:1999 Tabela I, pkt. 1) **230/400V +6% -10%**.

1.2 Pojęcia podstawowe

$$U = \sqrt{3} \cdot U_f \quad (1.2.1)$$

zależność między napięciem przewodowym (międzyfazowym) a fazowym w układzie symetrycznym.

	Oznaczenie	Napięcia przewodowe	Napięcia fazowe
Przewodu (żyły)	L1 L2 L3 N	U_{L1L2} , U_{L2L3} , U_{L3L1} wartość 400 [V]	U_{L1} , U_{L2} , U_{L3} wartość 230 [V]
Zacisk Urządzenia	U V W N		
Oznaczenia stosowane w starszej literaturze			
	A B C 0		
Przewodu (żyły)	R S T 0	U_{RS} , U_{ST} , U_{TR} wartość 380 [V]	U_R , U_S , U_T wartość 220 [V]



Rys. 1.2.1. Wykres wskazowy napięć

2. Zasilanie odbiorców nieprzemysłowych

Ze względu na wymaganą niezawodność zasilania, odbiory nieprzemysłowe dzieli i się na trzy grupy.

Domy mieszkalne, biurowe i administracyjne, szkoły, małe hotele, sklepy, restauracje itp. należą do *grupy 1*, która obejmuje odbiorców nie wymagających dużej niezawodności zasilania, dopuszczających 1-godzinne, 2-godzinne przerwy w dostawie energii, jeśli nie zdarzają się one zbyt często. Dłuższe, ale zdarzające się rzadko przerwy zasilania tych odbiorców są również dopuszczalne. Odbiorcy grupy *1* zwykle są zasilani pojedynczymi liniami, odgałęziającymi się od sieci rozdzielczej.

Budynki mieszkalne, zależnie od wielkości, przyłącza się do sieci rozdzielczej niskiego napięcia w jednym lub kilku punktach (jedno lub kilka przyłączy). Jeżeli użytkownikiem jest tylko jeden odbiorca (szkoła, hotel, dom jednorodzinny itp.), wykonuje się tylko jedno przyłącze, gdyż wówczas wystarcza tylko jeden licznik energii elektrycznej.

Sposób zasilania w energię elektryczną domów mieszkalnych zależy od tego, jakiej mocy potrzebują w nich odbiorniki elektryczne oraz od odległości budynku od elektrowni lub od stacji transformatorowej. W domach częściowo zelektryfikowanych energia elektryczna jest pobierana prawie wyłącznie do oświetlenia oraz do małych odbiorników gospodarstwa domowego. W domach całkowicie zelektryfikowanych energia elektryczna jest przeznaczona ponadto do zasilania kuchенок elektrycznych, grzejników centralnego ogrzewania, werników (bojlerów) do ogrzewania wody itp. Domy mieszkalne zasilają się bezpośrednio z sieci rozdzielczej niskiego napięcia i to przeważnie o napięciu 380/220 V. Duże bloki mieszkalne całkowicie zelektryfikowane mają własne stacje transformatorowe zasilane z sieci rozdzielczej wysokiego napięcia, ustawione w odpowiednich pomieszczeniach do tego celu przewidzianych.

2.1 Układy sieciowe

Poszczególne układy sieci oznacza się z pomocą symboli literowych, przy czym:

- ▶ *pierwsza litera oznacza związek pomiędzy układem sieci a ziemią:*

T: - bezpośrednie połączenie jednego punktu układu sieci z ziemią. Najczęściej jest łączony z ziemią punkt neutralny,

I: - wszystkie części czynne, to znaczy mogące się znaleźć pod napięciem w warunkach normalnej pracy są izolowane od ziemi, lub - jeden punkt układu sieci jest połączony z ziemią poprzez impedancję lub bezpiecznik iskiernikowy (uziemienie otwarte),

- ▶ *druga litera oznacza związek pomiędzy częściami przewodzącymi dostępnymi a ziemią:*

N: - bezpośrednie połączenie (chodzi tu o połączenie metaliczne) podlegających ochronie części przewodzących dostępnych, z uziemionym punktem układu sieci; zazwyczaj z uziemionym punktem neutralnym,

T: - bezpośrednie połączenie z ziemią (chodzi tu o uziemienie) podlegających ochronie części przewodzących dostępnych, niezależnie od uziemienia punktu układu sieci; zazwyczaj uziemienia punktu neutralnego.

- ▶ *następna litera (litery) oznacza związek pomiędzy przewodem (żyłą) neutralnym N i przewodem (żyłą) ochronnym PE:*

C: - funkcję przewodu neutralnego i przewodu ochronnego spełnia jeden przewód, zwany przewodem ochronno-neutralnym PEN,

S: - funkcję przewodu neutralnego i przewodu ochronnego spełniają osobne przewody - przewód N i przewód PE,

C-S: - w pierwszej części sieci, licząc od strony zasilania zastosowany jest przewód ochronno-neutralny PEN, a w drugiej osobny przewód neutralny N i przewód ochronny PE

W Polsce praktycznie dotychczas stosowane są dwa układy sieciowe (z bezpośrednio uziemionym punktem neutralnym) zasilania budynków mieszkalnych: tzw. układ TN-C i układ TT.

Układ TN-C posiada **wspólny przewód ochronno-neutralny PEN**, przy czym również i **przewód ochronny PE** jest połączony z bezpośrednio uziemionym punktem neutralnym sieci (sieć 4-przewodowa).

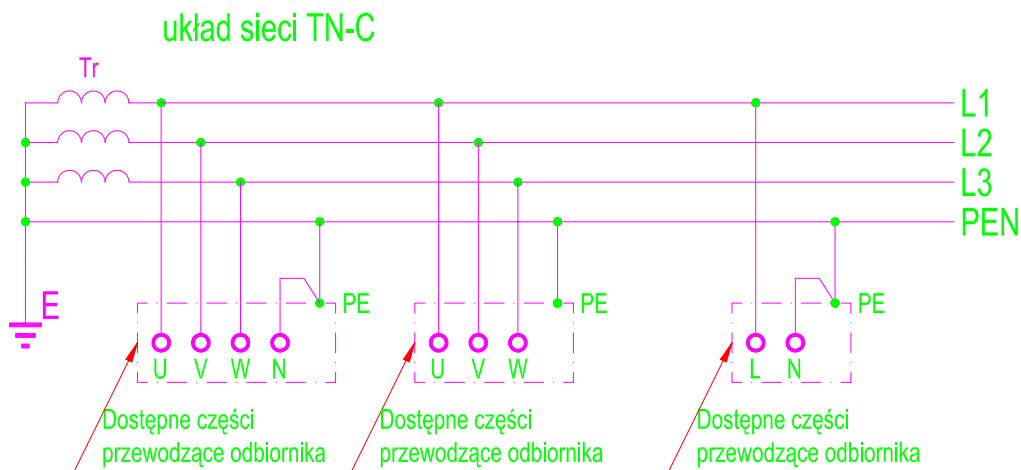
Natomiast układ TT jest też 4-przewodowy, ale przewód ochronny **PE** jest połączony bezpośrednio z uziemieniem ochronnym (Rys. 2.1.1 i Rys. 2.1.2).

Układ typu TN-C musi być zgodnie z przyjętymi obecnie standardami europejskimi zastąpiony układem **TN-C-S**, a nie można wykluczyć rozpowszechnienia się również układu **TN-S** (litera **S** oznacza, że przewód **PE** i **N** są oddzielnymi przewodami - sieć 5-przewodowa, zaś litery **C-S** oznaczają, że w początkowym odcinku sieci istnieje przewód **PEN**, który rozdziela się dalej na dwa niezależne przewody **PE** i **N** (Rys. 2.1.3 i Rys. 2.1.4).

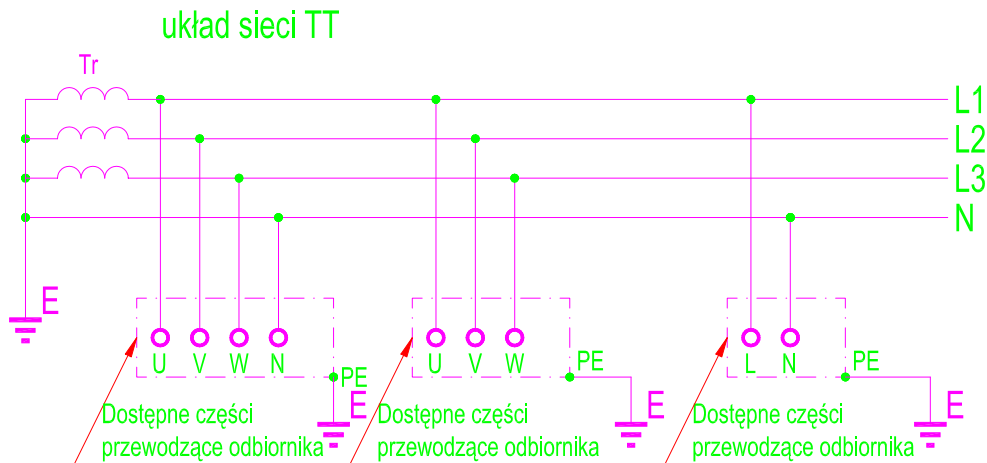
Układ TT jest bardzo korzystny przy wykorzystywaniu do ochrony całego obiektu **wyłączników ochronnych różnicowo-prądowych**, gdyż wówczas wystarczają uziemienia o oporności kilkuset omów. Jest to więc układ idealny do zasilania budynków jednorodzinnych, gospodarstw rolniczych, ogrodniczych itp. O wyborze układu sieciowego do zasilania budynków wielorodzinnych mogłyby decydować w takim przypadku tylko względy ekonomiczne.

► *Instalacja elektryczna łącząca sieć zasilającą z odbiornikami składa się z czterech zasadniczych części:*

- ◆ przyłącza,
- ◆ złącza,
- ◆ wewnętrznej linii zasilającej (tzw. pionu) oraz
- ◆ urządzenia odbiorczego (instalacji odbiorczej).



Rys. 2.1.1. Układ sieciowy TN-C



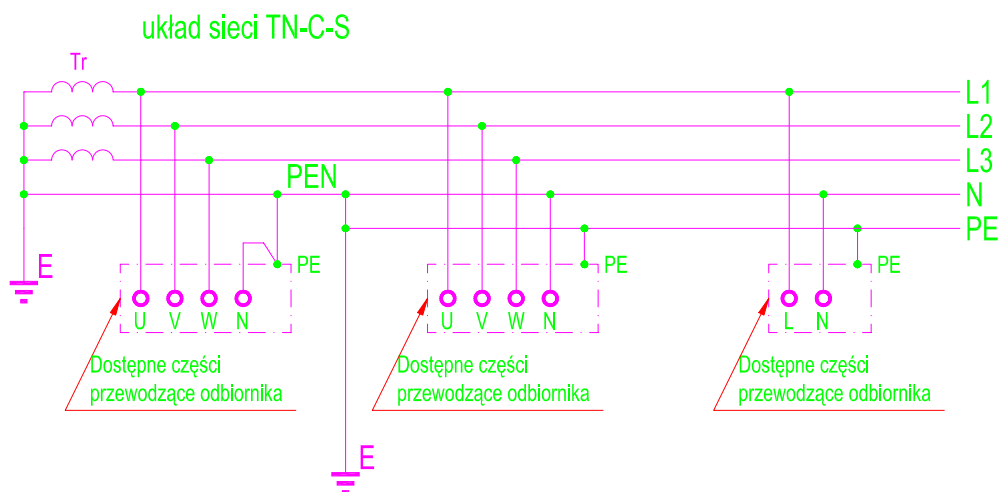
Rys. 2.1.2. Układ sieciowy TT

Przyłącze - jest to odcinek linii, który łączy urządzenia odbiorcze z siecią zasilającą bezpośrednio lub za pośrednictwem wewnętrznej linii zasilającej. Przyłącze zakończone jest tzw. **złączem** z bezpiecznikami, które jest urządzeniem elektrycznym służącym do połączenia przyłącza z przewodami wewnętrznej linii zasilającej lub bezpośrednio z urządzeniem odbiorczym. Przykłady zasilania budynków mieszkalnych za pomocą linii kablowej ze złączami przelotowymi pokazano na

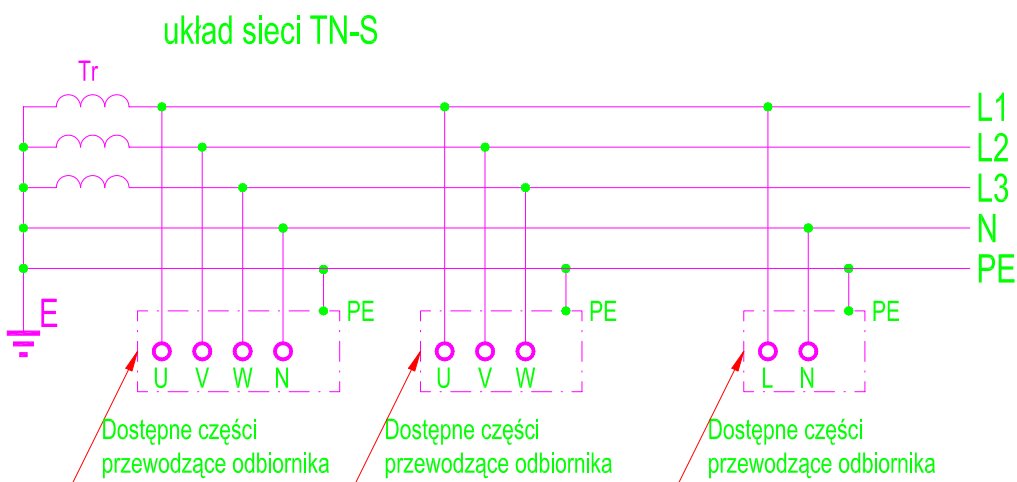
Rys. 2.1.5 ÷ Rys. 2.1.7.

Wewnętrzna linia zasilająca (tzw. pion) - jest to linia dwu lub wieloprzewodowa łącząca urządzenie odbiorcze ze złączem.

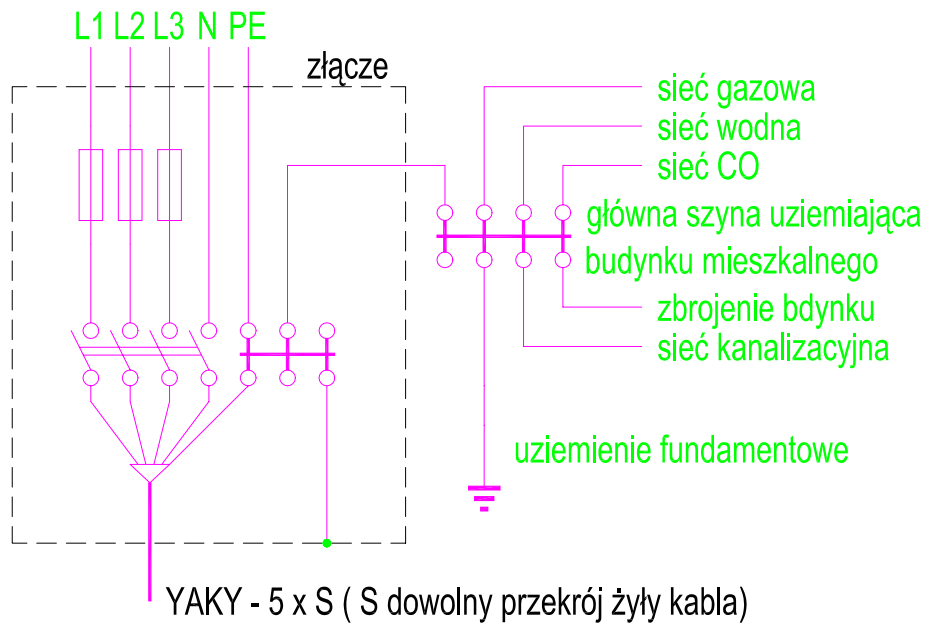
Urządzenie odbiorcze (instalacja odbiorcza) - jest to urządzenie elektryczne obejmujące wszelkie przewody, przyrządy i odbiorniki znajdujące się za licznikiem lub innym przyrządem, służącym do rozliczeń między zakładem elektrycznym a odbiorcą, a w razie braku przyrządu rozliczeniowego - za wyjściowymi zaciskami pierwszego urządzenia zabezpieczającego u odbiorcy



Rys. 2.1.3. Układ sieciowy TN-C-S

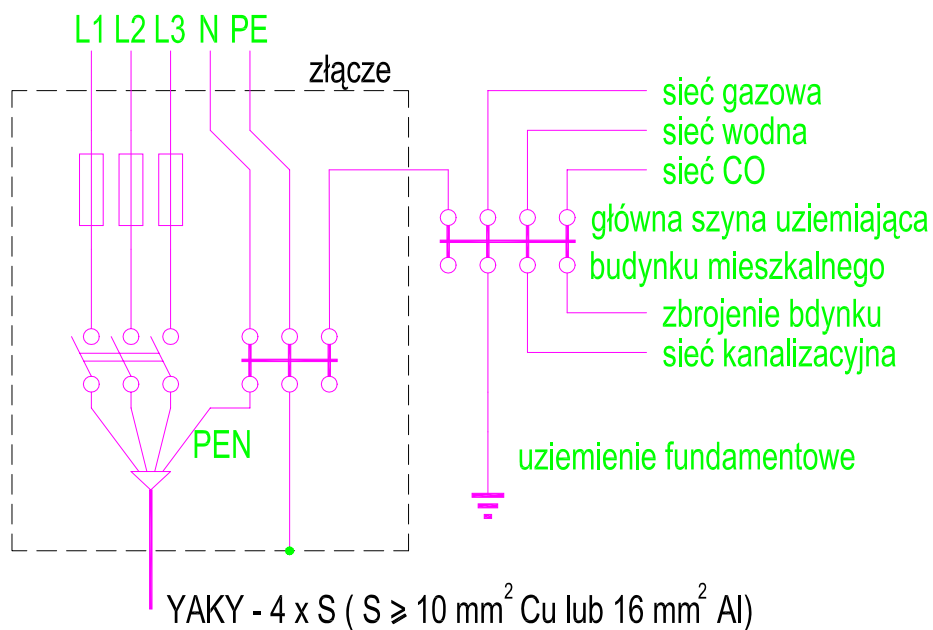


Rys. 2.1.4. Układ sieciowy TN-S



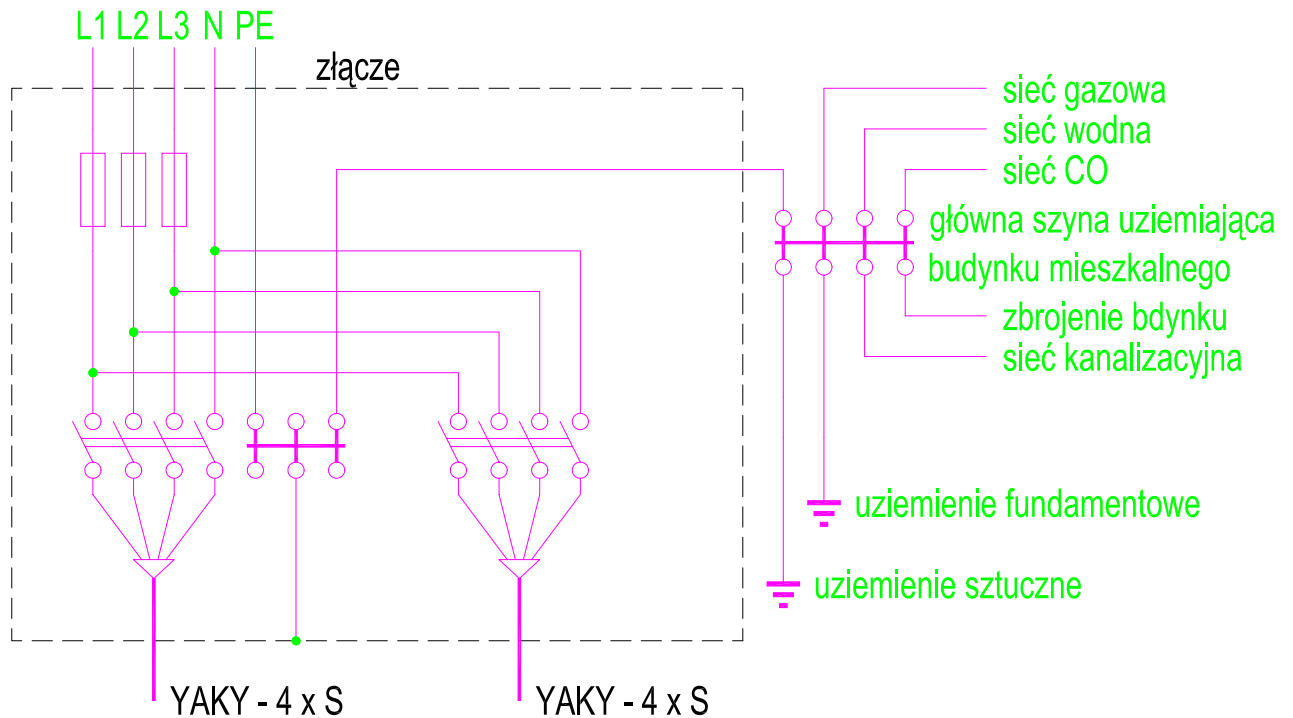
Rys. 2.1.5. Zasilanie budynku w układzie sieciowym TN-S

(*N* — przewód neutralny (zerowy), *PE* — przewód ochronny (zerujący))



Rys. 2.1.6. Zasilanie budynku w układzie sieciowym TN-C-S

(*PEN* — przewód ochronno-neutralny)



Rys. 2.1.7. Zasilanie budynku mieszkalnego w układzie sieciowym TT

3. Zasady bezpiecznej obsługi urządzeń elektrycznych

W miarę rozwoju produkcji i wzrostu zużycia energii elektrycznej zwiększa się liczba osób stykających się z urządzeniami elektrycznymi, i jednocześnie zwiększa się liczba nieszczęśliwych wypadków spowodowanych porażeniem prądem elektrycznym. Bezpośrednią przyczyną największej liczby porażień bywa przypadkowe dotknięcie części urządzeń, będących pod napięciem podczas obsługi i wykonywania napraw. Liczba wypadków powstałych podczas pracy przy urządzeniach elektroenergetycznych niskiego napięcia jest znacznie większa niż liczba wypadków powstałych w trakcie obsługi urządzeń wysokiego napięcia. Stan taki wynika nie tylko ze znacznie większej liczby osób pracujących przy urządzeniach niskiego napięcia, lecz także z tego, że kwalifikacje zawodowe osób obsługujących urządzenia wysokiego napięcia są wyższe. Istnieje ponadto szkodliwa opinia, że przepisy bezpieczeństwa przy obsłudze urządzeń niskiego napięcia są mocno przesadzone.

Najczęstszymi przyczynami wypadków przy obsłudze urządzeń elektrycznych są:

- *wadliwa budowa urządzeń elektrycznych,*
- *uszkodzenie izolacji podczas eksploatacji,*
- *nieprzestrzeganie przepisów bezpieczeństwa pracy*

Liczbę wypadków spowodowanych porażeniami elektrycznymi można wielokrotnie zmniejszyć przez odpowiednie zaprojektowanie i wykonanie urządzeń elektrycznych oraz akcją uświadamiającą i szkoleniową. Wymagania obowiązujące w produkcji maszyn

elektrycznych, transformatorów, odbiorników, przewodów itp. są uregulowane normami. Urządzenia elektryczne, a w tym instalacje elektroenergetyczne, powinny być wykonane zgodnie z obowiązującymi przepisami i skontrolowane po wykonaniu przez upoważnione osoby.

Nawet najlepiej wykonane urządzenia elektryczne mogą z biegiem czasu, w wyniku niewłaściwej ich eksploatacji, ulec uszkodzeniu, np. przebicie izolacji do metalowej obudowy lub kadłuba. Wówczas obudowa czy kadłub, nie będące w normalnych warunkach roboczych pod napięciem, mogą *znaleźć* się pod niebezpiecznym dla obsługi napięciem względem ziemi. Aby wykluczyć całkowicie lub zmniejszyć do minimum prawdopodobieństwo powstawania nieszczęśliwych wypadków, spowodowanych pojawieniem się napięcia na częściach metalowych normalnie nie będących pod napięciem, stosuje się dodatkowe środki techniczne, zwane

➤ *dotatkowymi środkami ochrony przeciwporażeniowej.*

3.1 Działanie prądu elektrycznego na organizm ludzki

Porażeniem elektrycznym nazywa się skutki przepływu prądu przez organizm żywy, Najbardziej niebezpieczna dla organizmu ludzkiego jest droga wiodąca przez serce i centralny ośrodek nerwowy, a więc między jedną ręką a drugą lub między ręką a stopami. Ten ostatni przypadek zachodzi często, gdy człowiek stojący na ziemi dotknie metalowej części będącej pod napięciem. Badania wykazały, że niezależnie od drogi przepływu prądu w organizmie, skutki porażenia prądem elektrycznym zależą przede wszystkim *od natężenia prądu* przepływającego przez organizm ludzki *i od czasu jego przepływu.*

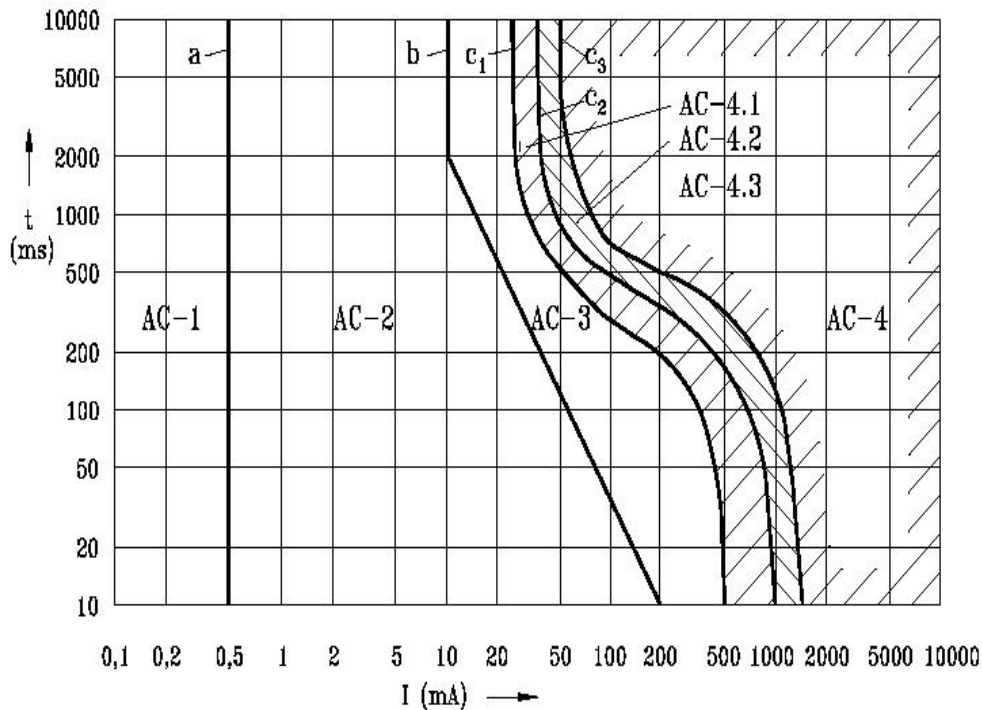
Przepływowi prądu towarzyszy wydzielanie się ciepła według prawa Joule'a-Lentza ($Q_{cal} \cong 0,24RI^2t$), jednak wydzielona energia cieplna jest przeważnie tak mała, że nie odgrywa większej roli. Decydującego znaczenia nabiera dopiero np. w razie porażenia piorunem. Największe ilości ciepła wytwarzają się w naskórku, którego rezystancja jest wielokrotnie większa od rezystancji ciała, a pojemność cieplna jest mała. Dlatego też obserwujemy często oparzenia skóry u porażonych prądem elektrycznym. Stan psychiczny i fizyczny człowieka ma duży wpływ na przebieg porażień elektrycznych. Zdenerwowanie lub przytępienie reakcji człowieka (np. wskutek spożycia alkoholu) zwiększa niebezpieczeństwo porażień. Odporność organizmu na porażenie elektryczne zmniejszają również choroby układu krążenia, choroby skórne, pocenie się lub stany osłabienia wskutek gorączki i wyczerpania. Kobiety i dzieci są mniej odporne, najbardziej natomiast odporni są pracownicy fizyczni o twardym, zrogowaciałym i suchym naskórku.

Przepisy ochrony przeciwporażeniowej, zawarte w normie PN-IEC 60364, są przede wszystkim odzwierciedleniem rozpoznania skutków przepływu prądu elektrycznego przez ciało ludzkie, dostępnych środków ochrony oraz warunków ekonomicznych.

W ostatnich 30 latach nastąpił znaczny postęp w rozpoznaniu skutków rażenia człowieka prądem. Prowadzone w tym zakresie badania na ludziach i zwierzętach były przedmiotem szczegółowych analiz oraz raportów Międzynarodowej Komisji Elektrotechnicznej (IEC). W kolejnych wydaniach raportu 479 Komisji IEC opublikowane zostały uzgodnione poglądy, dotyczące reakcji organizmu człowieka na przepływ prądu przemiennego i stałego.

3.1.1 Prąd przemienny

Skutki oddziaływania prądu przemiennego o częstotliwości 50/60 Hz na ciało ludzkie zależą od wartości prądu I , przepływającego przez ciało ludzkie oraz czasu przepływu t . Ze względu na prawdopodobieństwo występowania określonych skutków można wyróżnić następujące strefy przedstawione na Rys. 3.1.1:



Rys. 3.1.1. Strefy skutków oddziaływania prądu przemiennego o częstotliwości 50/60 Hz na ciało ludzkie, na drodze lewa ręka - stopy

- ▶ *AC-1 zazwyczaj brak reakcji organizmu,*
- ▶ *AC-2 zazwyczaj nie występują szkodliwe skutki patofizjologiczne. Linia b jest progiem samodzielnego uwolnienia człowieka od kontaktu z częścią pod napięciem,*
- ▶ *AC-3 zazwyczaj nie występują uszkodzenia organiczne. Prawdopodobieństwo skurczu mięśni i trudności w oddychaniu przy przepływie prądu w czasie dłuższym niż 2 s. Odwracalne zakłócenia powstawania i przenoszenia impulsów w sercu, włącznie z migotaniem przedsionków i przejściową blokadą pracy serca, bez migotania komór serca, wzrastające wraz z wielkością prądu i czasem jego przepływu,*
- ▶ *AC-4 dodatkowo, oprócz skutków charakterystycznych dla strefy AC-3, pojawia się wzrastające wraz z wartością prądu i czasem jego przepływu niebezpieczeństwo skutków patofizjologicznych, np. zatrzymanie czynności serca, zatrzymanie oddychania i ciężkie oparzenia.*

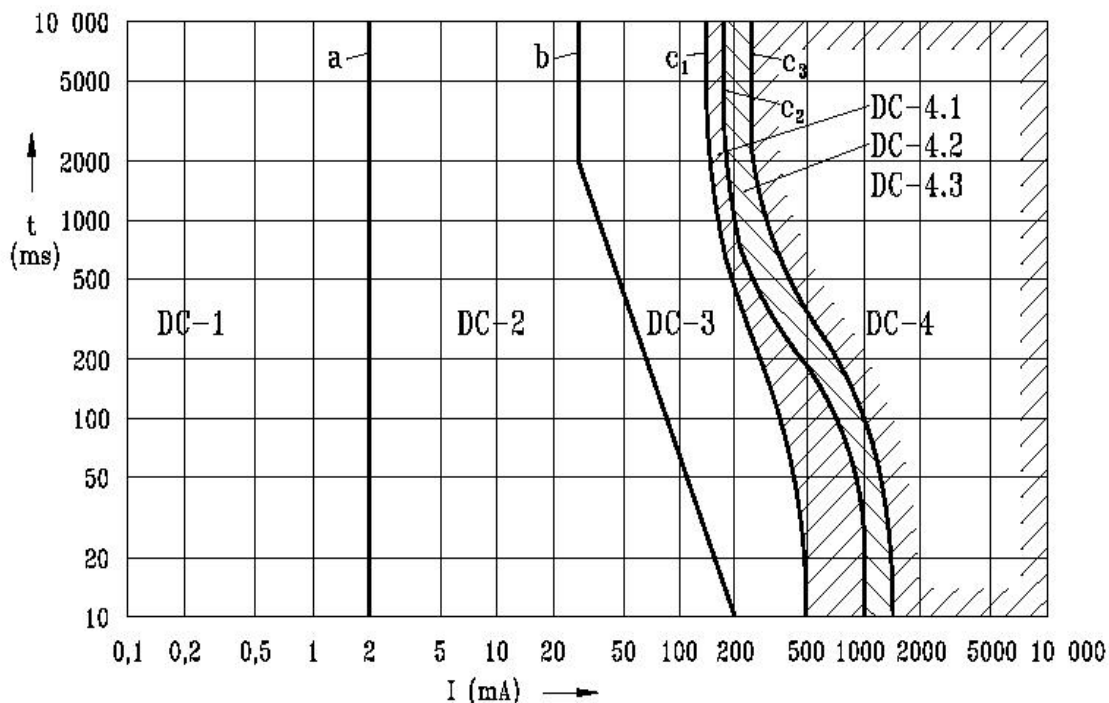
Ze względu na prawdopodobieństwo wywołania migotania komór serca wyróżnia się następujące strefy:

- *AC-4.1 5 % przypadków migotania komór serca,*
- *AC-4.2 nie więcej niż 50 % przypadków,*
- *AC-4.3 powyżej 50 % przypadków.*

3.1.2 Prąd stały

Skutki oddziaływania prądu stałego na ciało ludzkie zależą od wartości prądu I , przepływającego przez ciało ludzkie oraz czasu przepływu t .

Ze względu na prawdopodobieństwo występowania określonych skutków można wyróżnić następujące strefy przedstawione na Rys. 3.1.2.



Rys. 3.1.2. Strefy skutków oddziaływania prądu stałego (prąd wznoszący) na ciało ludzkie, na drodze lewa ręka - stopy

- ▶ *DC-1 zazwyczaj brak reakcji organizmu,*
- ▶ *DC-2 zazwyczaj nie występują szkodliwe skutki patofizjologiczne,*
- ▶ *DC-3 zazwyczaj nie występują uszkodzenia organiczne. Prawdopodobieństwo odwracalnych zakłóceń powstawania i przewodzenia impulsów w sercu, wzrastających wraz z natężeniem prądu i czasem ,*
- ▶ *DC-4 prawdopodobieństwo wywołania migotania komór serca oraz wzrastające wraz z natężeniem prądu i czasem inne szkodliwe skutki patofizjologiczne, np. ciężkie oparzenia.*

Ze względu na prawdopodobieństwo wywołania migotania komór serca wyróżnia się następujące strefy:

- *DC-4.1 5 % przypadków migotania komór serca,*
- *DC-4.2 nie więcej niż 50 % przypadków,*
- *DC-4.3 powyżej 50 % przypadków.*

Informacje dotyczące wypadków porażenia prądem stałym oraz przeprowadzone badania wskazują, że:

- *niebezpieczeństwo migotania komór serca jest w zasadzie związane z prądami wzdłużnymi (prąd płynący wzdłuż tułowia ciała ludzkiego, np. od ręki do stóp).*

Dla prądów poprzecznych (prąd płynący w poprzek tułowia ciała ludzkiego, np. od ręki do ręki) migotania komórek serca mogą pojawiać się przy większych natężeniach prądu,

- *próg migotania komórek serca dla prądów opadających (prąd płynący przez ciało ludzkie, dla którego stopa stanowi biegun ujemny) jest około dwa razy wyższy, niż dla prądów wznoszących (prąd płynący przez ciało ludzkie, dla którego stopa stanowi biegun dodatni).*

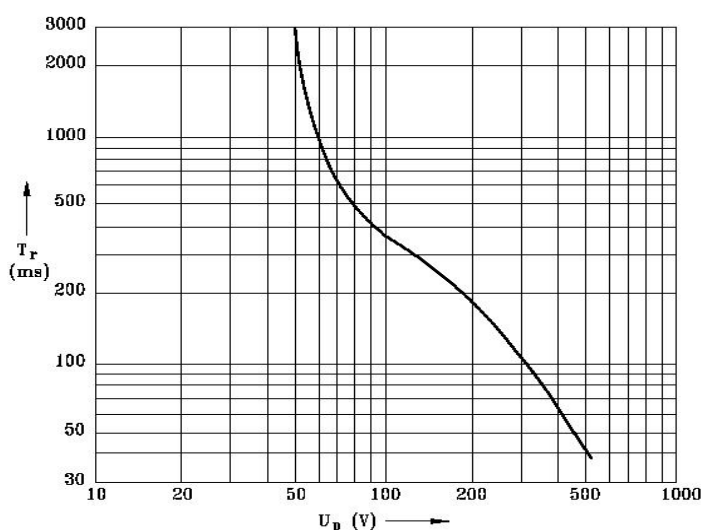
Na podstawie określonych wartości impedancji i rezystancji ciała ludzkiego oraz wartości prądu rażeniowego, wyznaczono wartości napięć dotykowych dopuszczalnych długotrwale w różnych warunkach środowiskowych.

W **warunkach środowiskowych normalnych**, wartość napięcia dotykowego dopuszczalnego długotrwale U_L wynosi **50 V dla prądu przemiennego i 120 V dla prądu stałego**. Do środowisk o warunkach normalnych zalicza się lokale mieszkalne i biurowe, sale widowiskowe i teatralne, klasy szkolne (z wyjątkiem niektórych laboratoriów) itp.

W **warunkach środowiskowych o zwiększonym zagrożeniu**, wartość napięcia dotykowego dopuszczalnego długotrwale U_L wynosi **25 V dla prądu przemiennego i 60 V dla prądu stałego**. Do środowisk o zwiększonym zagrożeniu zalicza się łazienki i natryski, sauny, pomieszczenia dla zwierząt domowych, bloki operacyjne szpitali, hydrofornie, wymiennikownie ciepła, przestrzenie ograniczone powierzchniami przewodzącymi, kanały rewizyjne, kempingi, tereny budowy i rozbiórki, tereny otwarte itp.

W warunkach zwiększonego zagrożenia porażeniem prądem elektrycznym, jakie może nastąpić przy zetknięciu się **ciała ludzkiego zanurzonego w wodzie** z elementami znajdującymi się pod napięciem, wartość napięcia dotykowego dopuszczalnego długotrwale U_L wynosi **12 V dla prądu przemiennego i 30 V dla prądu stałego**.

Określono również dla prądów rażeniowych przemiennych, odpowiadających krzywej C1 na Rys. 3.1.1 oraz impedancji ciała ludzkiego, które nie są przekroczone dla 5% populacji, czasy utrzymywania się napięć dotykowych, przekraczających wartości napięć dotykowych dopuszczalnych długotrwale, bez powodowania zagrożenia dla ciała ludzkiego. Dane te przedstawione są na Rys. 3.1.3.



Rys. 3.1.3. Największe dopuszczalne napięcia dotykowe U_D w zależności od czasu rażenia T_r

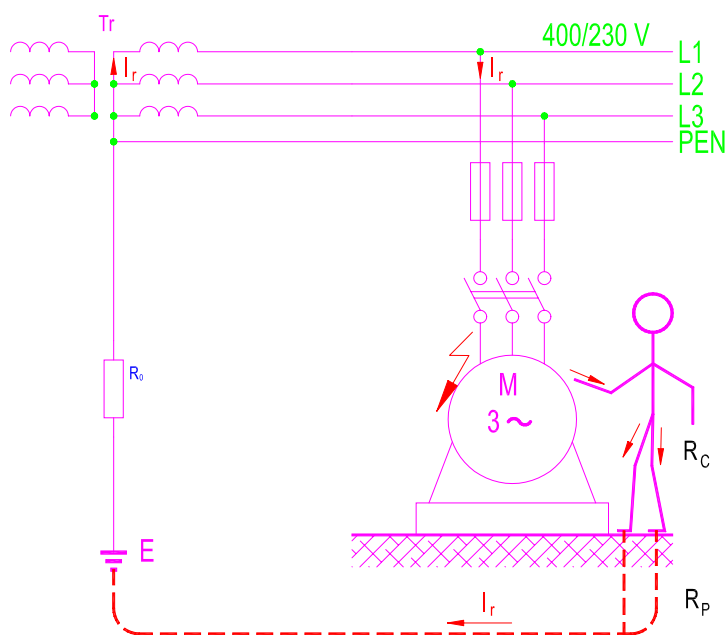
Powyższe dane stanowiły podstawę do ustalenia maksymalnych czasów samoczynnego wyłączenia zasilania w warunkach środowiskowych normalnych oraz w warunkach środowiskowych o zwiększonym zagrożeniu.

Za granicę natężenia prądu niebezpiecznego dla życia ludzkiego przy ograniczonym przepływie prądu przyjmujemy 30 mA prądu przemiennego i 70 mA prądu stałego.

Wartość natężenia prądu płynącego w chwili dotknięcia części będących pod napięciem bądź kadłuba czy osłony w przypadku uszkodzenia izolacji zależy od:

- wartości napięcia zasilającego obwód prądowy, w którym znajduje się ciało ludzkie,
- rezystancji ciała ludzkiego,
- rezystancji pozostałych części obwodu (rezystancji wewnętrznej źródła napięcia, rezystancji przewodów zasilających, rezystancji uziemienia punktu zerowego itp.),
- pojemności (przy prądzie zmiennym) i upływności w sieciach o izolowanym punkcie zerowym.

Na rysunku Rys. 3.1.4 przedstawiono schematycznie układ elektryczny trójfazowy niskiego napięcia czteroprzewodowy o napięciu fazowym $U_f = 230\text{ V}$ i o uziemionym punkcie zerowym (neutralnym).



Rys. 3.1.4 Niebezpieczeństwo porażenia w przypadku uszkodzenia izolacji w silniku zasilanym z sieci 400/230 V o uziemionym punkcie neutralnym

Z układu zasilany jest silnik trójfazowy. Jeżeli obsługujący stojąc na ziemi dotknie kadłuba silnika w chwili, gdy izolacja silnika (np. fazy L1) jest uszkodzona, to zamknie się obwód prądu przez uzwojenie fazy L1 transformatora, rezystancję linii zasilającej, rezystancję ciała ludzkiego R_c , rezystancję podłoża R_p oraz rezystancję uziemienia punktu neutralnego R_0 . Spośród wymienionych rezystancji tylko rezystancje R_c i R_p mają znaczne wartości, pozostałe są co najmniej setki razy mniejsze i w praktyce nie wpływają na wartość prądu rażenia I_r płynącego przez ciało ludzkie. Wartość tego prądu, możemy wyznaczyć z zależności przybliżonej

$$I_r \approx \frac{U_f}{R_c + R_p} \quad (3.1.1)$$

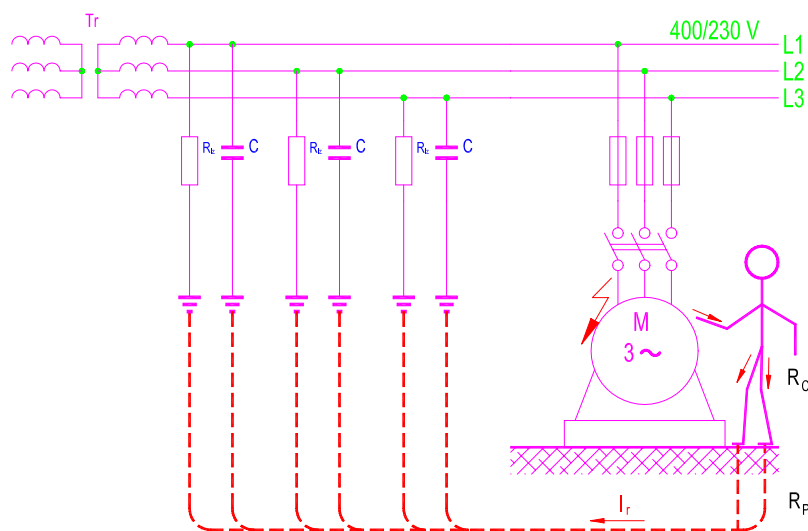
gdzie R_c to rezystancja ciała na drodze ręka-obie stopy.

Rezystancja ciała ludzkiego między zawilgoconą ręką a zawilgoconymi stopami wynosi około $2000 \div 2500 \Omega$, a jeśli praca przebiega w pomieszczeniach mokrych i gorących może się zmniejszyć nawet do 1000Ω . Rezystancja naskórka w stanie suchym przekracza $100k\Omega$, jednak w razie zawilgocenia znacznie maleje. Iloczyn natężenia prądu I_r płynącego przez ciało ludzkie i rezystancji ciała R_c określa spadek napięcia w ciele ludzkim zwany :

napięciem rażenia

$$U_r = I_r \cdot R_c = \frac{U_f \cdot R_c}{R_c + R_p} \quad (3.1.2)$$

$$U_r = \frac{U_f}{1 + \frac{R_p}{R_c}} \quad (3.1.3)$$



Rys. 3.1.5 Niebezpieczeństwo porażenia w sieci o niezziemionym punkcie neutralnym

Jak widać, napięcie rażenia stanowi tylko część napięcia fazowego U_f tym mniejszą, im większa jest rezystancja podłoża R_p w stosunku do rezystancji ciała R_c . Niebezpieczeństwo porażenia występuje również w układach o izolowanym punkcie zerowym. Wynika to z niedoskonałości izolacji R_{iz} faz oraz pojemności C względem ziemi faz układu (Rys. 3.1.5). W sieciach niskiego napięcia pojemność przewodów względem ziemi odgrywa niewielką rolę ze względu na małą długość tych linii. Reaktancja pojemnościowa $:1/\omega C$ jest zazwyczaj wielokrotnie większa od rezystancji izolacji, wskutek czego prądy pojemnościowe są znacznie mniejsze od prądów upływu, a przez to ich rola podczas rażenia prądem elektrycznym jest nieznacząca. W sieciach wysokonapięciowych ($>1kV$) dominuje wpływ pojemności. Jeśli nastąpi przebicie do kadłuba izolacji jednej fazy silnika nie uziemionego (Rys. 3.1.5), to w razie dotknięcia kadłuba przez człowieka obwód prądu zamknie się przez ciało ludzkie, ziemię oraz upływność i pojemność pozostałych faz.

3.2 Ochrona przeciwporażeniowa

Możliwość niebezpiecznego porażenia prądem elektrycznym występuje we wszystkich urządzeniach elektrycznych, których napięcie robocze lub dotykowe przekracza wartość napięcia bezpiecznego. (*Napięcie dotykowe jest to napięcie, które występuje w warunkach normalnych lub może pojawić się w warunkach zakłóceń między dwoma częściami jednocześnie dostępnymi, nie należącymi do obwodu elektrycznego*) Napięcia te uważa się za bezpieczne, jeżeli w określonych warunkach środowiskowych nie przekraczają wartości podanych w Tabela 3.2.1.

W wypadku występowania szczególnych warunków środowiskowych, np. zanurzenie ciała w wodzie, praca wewnątrz zbiorników metalowych, należy zastosować napięcia bezpieczne niższe od podanych w Tabela 3.2.1, ustalone w drodze indywidualnej analizy zagrożenia porażeniem prądem elektrycznym.

Tabela 3.2.1 Wartość napięcia bezpiecznego U_L utrzymująca się długotrwale w określonych warunkach oddziaływania otoczenia

Rodzaj prądu	Wartość napięcia bezpiecznego U_L	
	Warunki środowiskowe 1	Warunki środowiskowe 2
Prąd przemienny o częstotliwości 15-500 Hz	50 V	25 V
Prąd stały	120 V	60 V

- ◆ *Warunki środowiskowe 1 są to takie warunki, w których rezystancja ciała ludzkiego w stosunku do ziemi wynosi co najmniej 1000Ω.*
- ◆ *Warunki środowiskowe 2 gdy mniej niż 1000 Ω.*

Niebezpieczeństwo porażenia prądem elektrycznym należy oceniać uwzględniając następujące czynniki:

- *największą skuteczną wartość napięcia roboczego względem ziemi w układach elektroenergetycznych z uziemionym punktem zerowym lub napięcia roboczego międzyprzewodowego w sieciach bez uziemionego punktu zerowego,*
- *sposób obsługi lub użytkowania urządzeń; np. przyrządy ręczne, przyrządy i urządzenia nie chwytane dłonią w czasie pracy itp.,*
- *okoliczności zmniejszające rezystancję ciała ludzkiego (np. pomieszczenia wilgotne lub mokre, wysoka temperatura wywołująca potnienie naskórka) lub zwiększające niebezpieczeństwo porażenia wskutek ciasnoty pomieszczenia (skrępowanie swobody ruchów) albo trudnej pozycji podczas pracy,*
- *okoliczności zwiększające niebezpieczeństwo porażenia wskutek niekorzystnej sytuacji człowieka względem nie izolowanych od ziemi przewodów przewodzących; np. stanowiska pracy dobrze przewodzące (podłogi z materiałów przewodzących), znajdujące się w zasięgu ręki metalowe uziemione przedmioty nadające się do uchwycenia dłonią itp.*

Tabela 3.2.2 Rodzaje ochron przeciwporażeniowych

Równoczesna ochrona przed dotykiem bezpośrednim i pośrednim (równoczesna ochrona podstawowa i dodatkowa)	Obwody o napięciach nie przekraczających wartości napięć dotykowych dopuszczalnych długotrwale w określonych warunkach otoczenia, nie wymagające ochrony przed dotykiem bezpośrednim	bez uziemień SELV
		z uziemieniem PELV
	Obwody o napięciach nie przekraczających wartości napięć dotykowych dopuszczalnych długotrwale w określonych warunkach otoczenia, wymagające ochrony przed dotykiem bezpośrednim	bez uziemień SELV
		z uziemieniem PELV
Ochrona przed dotykiem bezpośrednim (ochrona podstawowa)	Ochrona przez zastosowanie izolowania części czynnych	
	Ochrona przy użyciu ogrodzenia (przegrody) lub obudowy (osłony)	
	Ochrona przy użyciu bariery (przeszkody)	
	Ochrona przez umieszczenie poza zasięgiem rak	
	Ochrona uzupełniająca za pomocą urządzeń ochronnych różnicowoprądowych o znamionowym prądzie zadziałania nie większym niż 30 mA	
Ochrona przed dotykiem pośrednim (ochrona dodatkowa)	Ochrona przez zastosowanie samoczynnego wyłączenia zasilania w przypadku przekroczenia wartości napięcia dotykowego dopuszczalnego długotrwale w określonych warunkach otoczenia (i zastosowanie połączeń wyrównawczych dodatkowych - miejscowych)	w układzie sieci TN
		w układzie sieci TT
		w układzie sieci IT
	Ochrona przez zastosowanie urządzeń II klasy ochronności lub o izolacji równoważnej	
	Ochrona przez zastosowanie izolowania stanowiska	
	Ochrona przez zastosowanie nieuziemionych połączeń wyrównawczych miejscowych	
	Ochrona przez zastosowanie separacji elektrycznej	

W urządzeniach elektroenergetycznych o napięciu znamionowym nie wyższym niż 1kV ochronę przeciwporażeniową należy zapewnić przez zastosowanie:

1. Napięć bezpiecznych.(napięcia zakresu I):

- ◆ *bardzo niskie napięcie SELV*
- ◆ *bardzo niskie napięcie PELV*
- ◆ *bardzo niskie napięcie funkcjonalne FELV*

2. Ochrony przeciwporażeniowej podstawowej oraz co najmniej jednego z następujących środków ochrony przeciwporażeniowej dodatkowej:

- *a) zerowania,*
- *b) uziemienia ochronnego,*

- *c) sieci ochronnej (połączenia wyrównawcze),*
- *d) wyłączników przeciwporażeniowych różnicowo-prądowych,*
- *e) separacji odbiornika,*
- *f) izolacji stanowiska,*
- *g) izolacji ochronnej.*

Ze względu na to, że wykonanie dodatkowych środków ochrony przeciwporażeniowej zwiększa koszt budowy urządzeń elektrycznych oraz że możliwość porażenia istnieje we wszystkich niemal urządzeniach, konieczne jest zastosowanie środków ochrony przeciwporażeniowej tam, gdzie to jest faktycznie niezbędne.

Dopuszcza się zatem niestosowanie ochrony przeciwporażeniowej między innymi w:

- *obwodach roboczych (głównych obwodach prądowych) urządzeń spawalniczych, elektrotermicznych i elektrochemicznych, jeżeli ochrona taka, ze względów technologicznych lub eksploatacyjnych, nie może być wykonana, a zastosowano inne ochronne środki techniczne i organizacyjne, skutecznie ograniczające prawdopodobieństwo porażenia,*
- *urządzeniach laboratoryjnych, jeżeli podczas użytkowania i obsługi urządzeń są stale obecne co najmniej dwie osoby i jeżeli urządzenia te są zabezpieczone przed dostępem osób nie upoważnionych,*
- *urządzeniach iskrobezpiecznych.*

Ochrona przeciwporażeniowa podstawowa (ochrona przed dotykiem bezpośrednim)

jest to zespół środków zapobiegających niebezpiecznym skutkom dotknięcia przez człowieka tzw. **części czynnych**, tzn. żył przewodów lub innych części przewodzących prąd elektryczny, znajdujących się podczas normalnej pracy pod napięciem, w tym także przewód neutralny.

W tym celu należy zastosować:

- *izolację roboczą,*
- *osłony,*
- *bariery i ogrodzenia przenośne lub*
- *umieścić części czynne poza zasięgiem ręki.*

Ochrona przeciwporażeniowa dodatkowa (ochrona przed dotykiem pośrednim)

stanowi ochronę zapobiegającą niebezpiecznym skutkom dotknięcia części przewodzących dostępnych w razie pojawienia się na nich napięcia w warunkach zakłóceń.

Najskuteczniejszym zabezpieczeniem przed porażeniem jest przystosowanie urządzeń elektrycznych do zasilania z bezpiecznych źródeł o napięciu roboczym nie przekraczającym napięcia bezpiecznego U_L (Tabela 3.2.1).

▶ *Za bezpieczne źródła zasilania uważa się:*

- ◆ *transformatory bezpieczeństwa lub*
- ◆ *przetwornice bezpieczeństwa,*
- ◆ *baterie akumulatorów i zespoły prądotwórcze o napięciu roboczym nie przekraczającym wartości napięcia bezpiecznego U_L oraz*

- ◆ *urządzenia elektroniczne wykonane w taki sposób, aby w razie wewnętrznego uszkodzenia napięcie na zaciskach wyjściowych nie mogło przekroczyć wartości napięcia bezpiecznego.*

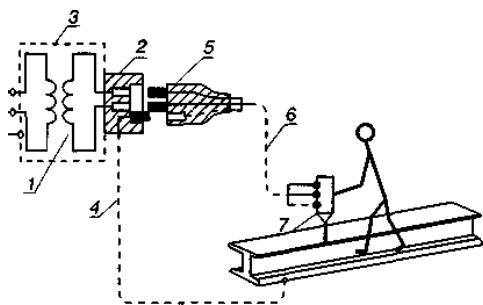
Jeżeli napięcie znamionowe urządzeń elektroenergetycznych o napięciu bezpiecznym jest wyższe niż 25 V prądu przemiennego lub 60 V prądu stałego, to wszystkie części czynne powinny być chronione przez zastosowanie osłony lub izolacji roboczej wytrzymującej w czasie 60 s napięcie probiercze 500 V przy 50 Hz. Zastosowanie tego typu ochrony przeciwporażeniowej jest jednak ograniczone względami ekonomicznymi tylko do niewielkich odbiorników, przede wszystkim do ręcznych narzędzi elektrycznych.

▶ *Izolację ochronną,*

jako środek ochrony przeciwporażeniowej dodatkowej, polegający na zastosowaniu izolacji o parametrach ograniczających do minimum możliwość porażenia prądem elektrycznym, stosuje się do faktycznie produkowanych urządzeń i przyrządów prądu przemiennoprądowych i stałoprądowych, niezależnie od ich napięcia znamionowego. Duże znaczenie w rozpowszechnianiu tego sposobu ochrony ma stosowanie izolacyjnych tworzyw sztucznych.

▶ *Izolacja stanowiska,*

jako środek ochrony dodatkowej, polegający na izolowaniu stanowiska od ziemi i na wyrównaniu potencjałów części przewodzących obcych, dostępnych z tego stanowiska, może być stosowana do urządzeń prądu przemiennego i prądu stałego, niezależnie od ich napięcia przemiennego, w obrębie pomieszczeń suchych.



Rys. 3.2.1 Zastosowanie transformatora separacyjnego do zasilania narzędzi o napędzie elektrycznym pracującego na podłożu metalowym:

1 - transformator separacyjny, 2 - gniazdo wtyczkowe ze stykiem ochronnym, 3 - osłona metalowa, 4 - przewód wyrównawczy, 5 - wtyczka ze stykiem ochronnym, 6- przewód oponowy z żyłą ochronną, 7 - odbiornik z osłoną metalową

W miejscach zainstalowania urządzeń elektroenergetycznych rezystancja podłóg i ścian izolacyjnych powinna być nie mniejsza niż:

- ◆ *50 kΩ, gdy napięcie znamionowe względem ziemi nie przekracza 500 V,*
- ◆ *100 kΩ, gdy napięcie znamionowe względem ziemi przekracza 500 V.*

Stosowanie przenośnych środków izolacji stanowiska jest dopuszczalne tylko w pomieszczeniach dostępnych dla osób upoważnionych. Izolacja stanowiska jest traktowana jako środek zastępczy wtedy, gdy zastosowanie innego środka następcza nadmierne trudności.

▶ *Separacja odbiorników,*

polegająca na zasilaniu odbiornika lub grupy odbiorników za pomocą transformatora separacyjnego lub przetwornicy separacyjnej (Rys. 3.2.1), może być stosowana w sieciach na napięcie znamionowe nie przekraczające 500 V przy prądzie przemiennym i 750 V przy prądzie stałym. Napięcie znamionowe obwodu separowanego nie może przekroczyć 500 V. Sposób ten jest zalecany w przypadkach zasilania odbiorników ruchomych i ręcznych o dość dużej mocy, np. na placach budowy.

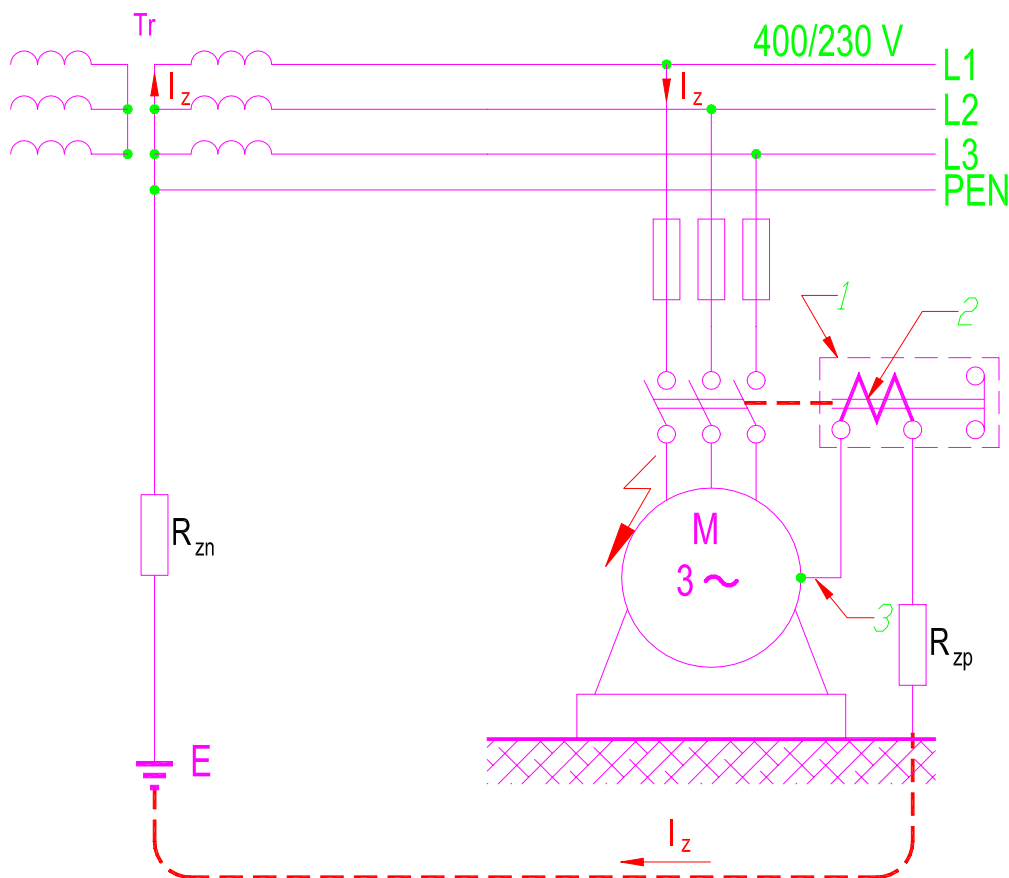
► Wyłączniki przeciwporażeniowe

są łącznie samoczynnymi odłączającymi urządzenia elektryczne (np. silnik) w razie utrzymywania się niebezpiecznego napięcia na częściach metalowych nie będących zwykle pod napięciem względem ziemi.

W zależności od zasady działania rozróżnia się wyłączniki

- ◆ przeciwporażeniowe napięciowe i
- ◆ różnicowo-prądowe.

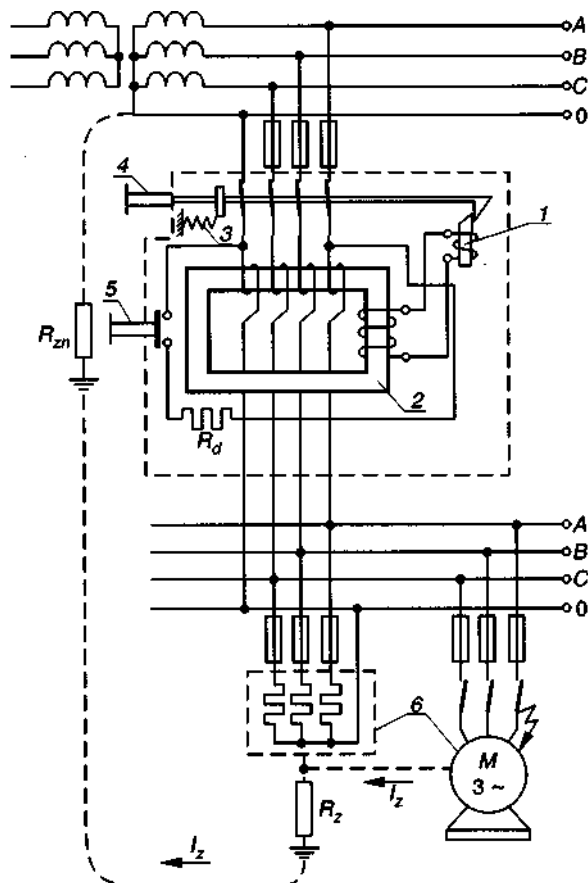
Zasadę działania **wyłącznika napięciowego** wyjaśniono na Rys. 3.2.2. W wypadku pojawienia się napięcia względem ziemi na kadłubie silnika, przez cewkę wyłącznika 2 płynie prąd I_z powodujący zadziałanie wyłącznika i odłączenie silnika od źródła zasilania.



Rys. 3.2.2 Zasada działania wyłącznika przeciwporażeniowego napięciowego:

1 - wyłącznik przeciwporażeniowy, 2 - cewka wybijkowa wyłącznika, 3 - przewód ochronny, R_{zp} , R_{zn} — rezystancje odpowiednio uziemienia pomocniczego i roboczego sieci

Zasadę działania wyłącznika różnicowo-prądowego (jednego z najskuteczniejszych środków ochrony przeciwporażeniowej) przedstawiono na Rys. 3.2.3 Wyzwalacz (przełącznik) nadprądowy zasila się zwykle przez uzwojenie wtórne przekładnika Ferrantiego. Przekładnik ten obejmuje wszystkie bieguny toru, w którym wyłącznik jest zainstalowany, wobec czego suma prądów i strumieni magnetycznych jest **równa zero, jeśli nie płyną prądy doziemne w obwodzie zamykającym się poza przekładnikiem**. Prądy powodujące działanie wyzwalacza lub przełącznika nadprądowego i w efekcie samoczynne odłączenie zasilania występują przy zwarciach doziemnych, lub wskutek upływów przez izolację.



Rys. 3.2.3. Zasada działania wyłącznika przeciwporażeniowego różnicowo-prądowego:

- 1 - wyzwalacz różnicowo-prądowy;
 - 2 - przekładnik Ferrantiego;
 - 3 - sprężyna;
 - 4 - przycisk włączający;
 - 5 - przycisk kontrolny;
 - 6 - metalowe osłony (podlegające ochronie) odbiorników,
- R_z - rezystancja uziemienia części przewodzących

Podstawowym parametrem jest prąd wyzwalający wyłącznik. Prąd ten i rezystancja uziemienia części przewodzących dostępnych chronionego pojedynczego odbiornika lub grupy odbiorników powinny być tak dobrane, aby w warunkach zakłóceń nastąpiło samoczynne odłączenie zasilania w czasie określonym w Tabela 3.2.1.

Wymagania te uważa się za spełnione, jeżeli:

$$R_z \cdot I_w \leq U_L \quad (3.2.1)$$

gdzie:

R_z - rezystancja uziemienia części przewodzących dostępnych, Ω ,

I_w - wartość różnicowego prądu wyłączającego wyłącznik, A, wyznaczona zgodnie z Tabela 3.2.5,

U_L - napięcie bezpieczne, V.

Tabela 3.2.3. Maksymalny czas odłączenia napięcia

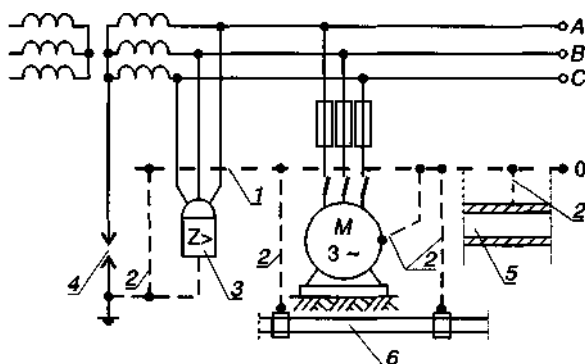
Napięcie między przewodem skrajnym a ziemią	Maksymalny czas odłączenia napięcia T	
	Warunki środowiskowe 1	Warunki środowiskowe 2
120	0,8 s	0,4 s
235	0,4 s	0,2 s
400	0,2 s	0,1 s
580	0,1 s	0,1 s

♦ *Warunki środowiskowe 1 rezystancja ciała > 1000Ω.*

♦ *Warunki środowiskowe 2 - rezystancja ciała < 1000Ω.*

▶ *Sieć ochronna*

jest to środek ochronny polegający na połączeniu wszystkich metalowych części urządzeń elektrycznych, i nie tylko urządzeń, normalnie nie będących pod napięciem z uziemioną siecią przewodów uziemiających i wyrównawczych w całym obiekcie zasilanym z tego samego źródła energii (np. transformatora). Środek ten stosuje się głównie w sieciach pracujących z izolowanym punktem zerowym (Rys. 3.2.4). Może być również stosowany w układach sieciowych mających punkt neutralny bezpośrednio uziemiony, w których wszystkie części czynne są izolowane od ziemi, a części przewodzące dostępne odbiorców połączone przewodami ochronnymi z uziomami (uziome) niezależnymi od uziomu roboczego. Działanie tego systemu ochronnego polega na tym, że niewielkie wartości prądów zwarć doziemnych jednofazowych powodują jedynie nieznaczne podwyższenie się napięcia (asymetrię napięć) całego układu uziemionej sieci, co jest sygnalizowane przez odpowiednie przyrządy do kontroli stanu izolacji. Nie powoduje to zakłóceń w pracy całego układu zasilającego i zasilanych z niego odbiorców. Jednofazowe zwarcie doziemne powinno być niezwłocznie wykrywane przez obsługę, a uszkodzone urządzenie odłączone od sieci. W razie nieusunięcia doziemienia, każde następne uszkodzenie izolacji pozostałych faz w dowolnym miejscu układu zasilającego przekształca się w zwarcie dwufazowe i powoduje szybkie zadziałanie zabezpieczenia (np. przepalenie się wkładki bezpiecznikowej) odbiornika o mniejszej mocy. Często w celu zabezpieczenia sieci przed skutkami wysokiego napięcia stosuje się *bezpiecznik iskiernikowy* (Rys. 3.2.4) włączony między punkt neutralny nieuziemionego transformatora a główny uziom sieci. Wystąpienie przebicia na iskierniku powoduje zadziałanie zabezpieczeń transformatora i odłączenie go od zasilania.



Rys. 3.2.4. Układ z siecią ochronną:

1 - główny przewód ochronny, 2 - przewody ochronne, 3 - przyrząd do stałej kontroli izolacji, 4 - bezpiecznik iskiernikowy, 5 - stalowa część konstrukcji budowlanej, 6 - metalowa rura wodociągowa

Sieć robocza z zastosowaną siecią ochronną powinna mieć przyrządy do stałej kontroli

izolacji (np. typu UKSI), których impedancja nie powinna być mniejsza niż 15 kΩ, aby nie powodować nadmiernych prądów doziemnych. Rezystancja uziemienia sieci ochronnej nie powinna przekraczać 20 Ω. Wszystkie uziomy naturalne (rurociągi, konstrukcje metalowe budów itp.) winny być połączone z siecią ochronną.

Najczęściej stosowanymi środkami dodatkowej ochrony przed porażeniami elektrycznymi są:

- zerowanie
- uziemienie ochronne.

Doświadczenia eksploatacyjne urządzeń elektrycznych wykazały, że prawdopodobieństwo porażenia elektrycznego w wypadku stosowania zerowania i uziemienia ochronnego jest w zasadzie takie samo. Skuteczność obu rodzajów zabezpieczeń zależy od wielu warunków, których spełnienie w uziemieniu — jeżeli nie można wykorzystać uziomów naturalnych i odpowiednio małej rezystancji uziemienia — pociąga za sobą większe koszty urządzeń niż podczas zastosowania zerowania.

W trójfazowych sieciach czteroprzewodowych, o napięciu międzyprzewodowym nie przekraczającym 380 V, pracujących z bezpośrednio uziemionym punktem zerowym, zaleca się stosować zerowanie. W sieciach zaś z izolowanym punktem zerowym — uziemienie ochronne. Wybór rodzaju zabezpieczenia przeciwporażeniowego zależy więc od systemu pracy punktu zerowego sieci zasilającej.

3.2.1 Uziemienie ochronne

W elektrotechnice *uziemieniem* (ogólnie) nazywamy celowo wykonane połączenie elektryczne jakiegokolwiek części urządzenia z przewodnikiem metalowym znajdującym się w ziemi, a zwanej *uziomem*.

Uziomy dzieli się na

- *naturalne (np. rury wodociągowe, metalowe części budowli mające dobrą styczność z ziemią itp.) oraz*
- *sztuczne (ułożone w ziemi specjalnie do celów uziemienia). Uziomy sztuczne wykonuje się obecnie z kształtowników, prętów, drutów lub taśm ze stali zwykłej jakości, o poprzecznych wymiarach nie mniejszych od podanych w tabeli 18.3.*

Jeżeli uziomy z blachy nieocynkowanej będą znajdowały się w środowisku powodującym zmniejszenie założonej trwałości, to najmniejsze wymiary poprzeczne należy zwiększyć o 1mm. Dla blachy ocynkowanej, grubość powłoki cynku powinna być nie mniejsza niż 40 μm . W przypadku gruntów o wyjątkowej agresywności korozyjnej dopuszcza się wykonanie uziomów sztucznych z miedzi, przy czym ich wymiary mogą być zmniejszone o 50% w stosunku do uziomów wykonanych ze stali.

Uziomy sztuczne pionowe powinny być zagłębiane w gruncie w taki sposób, aby ich dolna krawędź znajdowała się na głębokości większej niż 2,5 m (Rys. 3.2.5). Uziomy zaś poziome powinny być ułożone na głębokości nie mniejszej niż 0,6 m w rowach lub bruzdach zasypanych gruntem bez kamieni, żwiru i gruzu. Należy unikać układania tych uziomów pod warstwą nie przepuszczającą wody, jak asfalt czy beton.

Tabela 3.2.4 Wymiary poprzeczne uziomów sztucznych

Rodzaj uziomu sztucznego	Dane wyrobu zastosowanego na uziom		Najmniejsze dopuszczalne poprzeczne wymiary uziomu wykonanego ze stali	
	Rodzaj wyrobu	Rodzaj wymiaru	nieocynkowanej	ocynkowanej
Uziom poziomy	taśmy	grubość znamionowa	5 mm	4-3
		szerokość znamionowa	16 mm	12-20 mm
	drut	średnica znamionowa	7 mm	5 mm
Uziom pionowy	pręty okrągłe	średnica znamionowa	8 mm	6 mm
	kształtowniki	grubość ścianki	5 mm	4 mm
	rury lekkie	średnica znamionowa	15 mm	15 mm
		grubość ścianki	2,75 mm	2,75 mm
	blacha	grubość znamionowa	4 mm	3 mm

Uziomy ulegają korozji ziemnej, w związku z czym ich początkowe wymiary poprzeczne powinny być tak dobrane, by mimo zmniejszenia przekroju pracowały poprawnie przez cały czas eksploatacji. Rezystancja uziemienia zależy od rezystywności gruntu i wymiarów geometrycznych uziomu, w praktyce można ją wyliczyć wg wzoru przybliżonego

$$R_z = k \frac{\rho}{l} \quad (3.2.2)$$

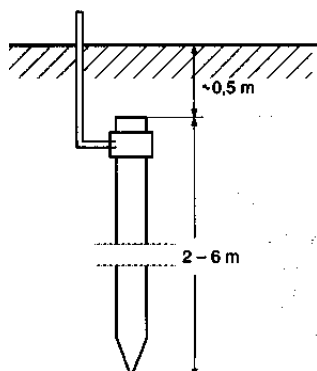
gdzie:

R_z - rezystancja uziemienia,

k - współczynnik, którego wartość dla najczęściej wykonywanych uziomów pionowych wynosi 0,84, a dla uziomów poziomych 1,8 ,

ρ - rezystywność gruntu, Ωm ,

l - długość uziomu, m.

**Rys. 3.2.5 Uziom rurowy**

W zależności od zadania, jakie mają spełniać, rozróżnia się oprócz ochronnego, uziemienia: robocze, pomocnicze i odgromowe.

Uziemienie ochronne, jako środek ochronny przeciwporażeniowej dodatkowej, polega na połączeniu części przewodzących dostępnych z uziomami (uziomem) i powoduje w warunkach zakłóceń samoczynne odłączenie zasilania. Może być stosowane w urządzeniach prądu przemiennego i stałego, niezależnie od ich napięcia znamionowego, zarówno w układzie sieciowym mającym punkt neutralny bezpośrednio uziemiony, jak i w układzie sieciowym izolowanym w stosunku do ziemi lub mającym punkt neutralny uziemiony poprzez bezpiecznik iskiernikowy.

Wszystkie części przewodzące dostępne odbiorców winny być wówczas połączone przewodami ochronnymi z uziomami (uziomem).

Uziemienie powinno być tak dobrane, aby w razie zwarcia przewodu skrajnego z częścią przewodzącą dostępną powodowało samoczynne odłączenie w czasie nie dłuższym niż 5 s. Wymagania te uważa się za spełnione wówczas, gdy spełniona jest zależność $R_z \cdot I_w \leq U_l$ przy czym I_w stanowi wartość prądu zapewniającą samoczynne zadziałanie urządzenia ochronnego w amperach, wyznaczonego zgodnie z Tabela 3.2.5.

Na Rys. 3.2.6 pokazano układ trójfazowy pracujący z izolowanym punktem neutralnym. Przewody każdej fazy mają pojemność C względem ziemi oraz rezystancję upływu izolacji R_{iz} . Rezystancja uziemienia R_z silnika jest wielokrotnie mniejsza od rezystancji izolacji R .

W razie wystąpienia zwarcia, prąd zwarciovowy wynosi

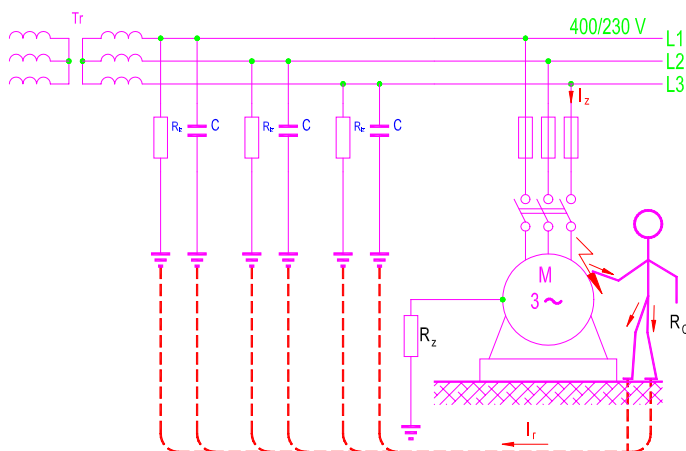
$$I_z \approx \frac{U}{\sqrt{3} \left(R_z + \frac{R_{iz}}{3} \right)} \quad (3.2.3)$$

gdzie: U - jest napięciem międzyfazowym sieci zasilającej, V,

R_z - rezystancja uziemienia ochronnego silnika, Ω ,

R_{iz} — rezystancja izolacji jednej fazy sieci względem ziemi, Ω .

Na obudowie silnika pojawi się wówczas pewna wartość napięcia U_z równa spadkowi napięcia ($I_z R_z$) na rezystancji R_z podczas przepływu prądu zwarciovowego. Ponieważ w momencie wystąpienia uszkodzenia izolacji silnika człowiek może dotknąć obudowy silnika, więc ze względu na zagrożenie porażeniem spadek napięcia na obudowie powinien być mniejszy od napięcia bezpiecznego U_L $U_z \leq U_L$



Rys. 3.2.6. Uziemienie ochronne w sieci o izolowanym punkcie zerowym:

R_c - rezystancja ciała,

R_z - rezystancja uziemienia ochronnego silnika

C, R_a - pojemność i rezystancja izolacji fazy sieci względem ziemi

Z zależności na prąd zwarciovowy otrzymuje się wówczas wzór określający wartość rezystancji uziemienia

$$R_z \leq R_{iz} \frac{U_L}{3(U_f - U_L)} \quad (3.2.4)$$

gdzie U_f - to napięcie fazowe sieci, V.

Dla kilku silników zainstalowanych w danym pomieszczeniu lub budynku można wykonać jedno wspólne uziemienie dostosowując je do wymagań odpowiadających silnikowi o największej mocy. Wymaganie dotyczące bezpieczeństwa będzie spełnione wtedy, gdy rezystancja uziemienia

$$R_z \leq \frac{U_L}{I_w} \quad (3.2.5)$$

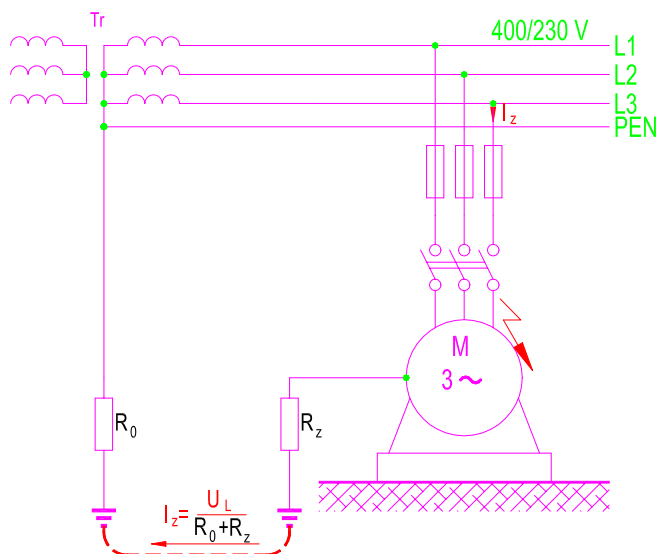
gdzie:

R_z - rezystancja uziemienia największego odbiornika, Ω ,

I_w - prąd zwarcia (wyłączający), powodujący dostatecznie szybkie odłączenie uszkodzonego urządzenia od sieci, A.

Spełnienie tego warunku $R_z \leq \frac{U_L}{I_w}$ (3.2.5) jest niekiedy bardzo kłopotliwe, gdyż wymaga

stosowania uziomów o bardzo małej rezystancji uziemienia. Uziemienia powinny być bowiem tak wykonane, aby prąd doziemny w razie uszkodzenia jednej fazy spowodował dostatecznie szybkie przepalenie się bezpiecznika lub zadziałanie wyłączacza elektromagnetycznego samoczynnego wyłącznika. Wartości prądu zwarcia I_w powodującego szybkie wyłączenie uszkodzonego urządzenia zależą od rodzaju przyrządu wyłączającego i są podane w Tabeli 3.2.5. **Skuteczność uziemienia jest więc spełniona wtedy, gdy prąd zwarcia I_z jest większy lub równy prądowi I_w**



Rys. 3.2.7. Przepływ prądu przy uszkodzeniu izolacji silnika uziemionego zasilanego z sieci czteroprzewodowej z uziemionym punktem zerowym,

R_0 , R_z - rezystancje uziemienia odpowiednio punktu zerowego sieci i silnika

$$I_z \geq I_w = k \cdot I_{bn} \quad (3.2.6)$$

gdzie:

I_{bn} - prąd znamionowy urządzenia wyłączającego,

k - współczynnik (zgodnie z Tabelą 3.2.5).

3.2.2 Zerowanie ochronne

Przy stosunkowo niewielkiej mocy silnika wymagana jest mała wartość rezystancji R_z . Wynika to bowiem z prądu znamionowego silnika i zastosowanej w związku z tym wkładki bezpiecznikowej na dość dużą wartość prądu znamionowego I_{bn} . Dla silnika np. o mocy 12,5 kW, sprawności $\eta=0,87$ i współczynnika mocy $\cos\phi= 0,86$ zasilanego napięciem 380/220 V prąd znamionowy:

$$I_n = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \eta \cdot \cos\phi} = \frac{12,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,87 \cdot 0,86} = 25,3 A \quad (3.2.7)$$

Stąd wkładka bezpiecznikowa, jaką należy zastosować uwzględniając prąd rozruchowy silnika, ma prąd znamionowy $I_{bn} = 35$ A. Wartość R_z w sieci prądu przemiennego w warunkach środowiskowych 2 (Tabela 3.2.1) powinna zgodnie z zależnością $R_z \leq \frac{U_L}{I_w}$ (3.2.5) wynosić

$$R_z \leq \frac{25}{2,5 \cdot 35} \cong 0,29 \Omega \quad (3.2.8)$$

Wykonanie takiego uziemienia byłoby bardzo kosztowne, dlatego chętnie korzysta się z zerowania jako dodatkowego środka ochrony przeciwporażeniowej.

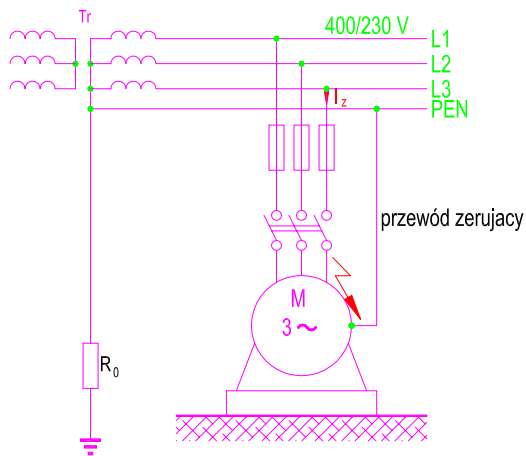
- *Zerowanie ochronne jako środek ochrony przeciwporażeniowej dodatkowej polega na połączeniu części przewodzących dostępnych z uziemionym przewodem ochronnym lub przewodem ochronno-neutralnym i powoduje w warunkach zakłóceń samoczynne odłączenie zasilania.*
- ▶ *Zerowanie ochronne może być stosowane w urządzeniach prądu przemiennego o napięciu nie przekraczającym 500 V i o układzie sieciowym mającym punkt neutralny bezpośrednio uziemiony.*

Zasadę zerowania przedstawiono Rys. 3.2.8. W wyniku przebicia izolacji dowolnej fazy do obudowy zerowanego silnika, obwód prądu zamyka się przez przewód fazowy, przewód ochronno-neutralny (zerowy) i uzwojenie transformatora powodując przepalenie się bezpiecznika w uszkodzonej fazie i w rezultacie odłączenie (przez łącznik samoczynny silnika) od sieci.

- ▶ *Aby zerowanie było skuteczne, muszą być spełnione następujące warunki:*
- ◆ *charakterystyka urządzenia odłączającego napięcie i przekroje przewodów: fazowych, ochronno-neutralnego (zerowego) i zerującego (łączycego części metalowe nie będące pod napięciem z przewodem ochronnym lub przewodem ochronno-neutralnym Rys. 3.2.8) powinny być tak dobrane, aby prąd zwarcia /z spowodował dostatecznie szybkie (Tabela 3.2.3) zadziałanie zabezpieczenia uszkodzonego odbiornika, czyli spełnienie warunku*

$$I_z \geq I_w = k \cdot I_{bn} \quad (3.2.6),$$
- ◆ *przewód ochronno-neutralny (zerowy) powinien być wielokrotnie uziemiony zgodnie z przepisami,*
- ◆ *przewody: ochronny (zerujący) i ochronno-neutralny (zerowy) powinny być dostatecznie wytrzymałe mechanicznie i cieplnie oraz prowadzone tak samo starannie, jak przewody fazowe,*

- ♦ w przewodzie zerowym, neutralnym oraz ochronno-neutralnym (zerowym) **nie wolno umieszczać bezpiecznika lub jednobiegunowego łącznika**; ciągłość tych przewodów (brak przerwy) jest podstawowym warunkiem skuteczności zerowania.



Rys. 3.2.8. Przepływ prądu przy uszkodzeniu izolacji w stosunku do kadłuba silnika zerowanego

Dopuszcza się czas odłączenia napięcia dłuższy od podanego w Tabela 3.2.3, ale nie przekraczający 5 s. Wymagania dotyczące czasów samoczynnego odłączenia zasilania

uważa się za spełnione, gdy

$$Z_s \cdot I_w \leq U_0 \quad (3.2.9)$$

gdzie:

Z_s - impedancja pętli zwarciowej, Ω ,

I_w - wartość prądu, w amperach, zapewniająca samoczynne zadziałanie urządzenia odłączającego zasilanie w wymaganym czasie,

U_0 - napięcie pomiędzy przewodem skrajnym a ziemią, V.

Impedancja pętli zwarciowej powinna być określona za pomocą pomiarów lub obliczona. Przy obliczaniu impedancji należy przyjąć, że rzeczywista impedancja jest o 25% większa od obliczonej, przy założeniu pełnego metalicznego zwarcia, z pominięciem impedancji zestyków, przekładników i innych elementów.

W urządzeniach, w których dopuszczono samoczynne odłączenie zasilania w czasie nie przekraczającym 5 s wartość prądu I_z mającego spowodować to odłączenie powinna być większa od wartości obliczonej wg $I_z \geq I_w = k \cdot I_{bn}$ (3.2.6). Wartości prądu znamionowego urządzenia wyłączającego I_{bn} oraz współczynnika k należy przyjmować zgodnie z Tabela 3.2.5 lub wyznaczyć indywidualnie z charakterystyk prądowo-czasowych urządzeń wyłączających prąd zwarciowy.

W szczególnych wypadkach, gdy może nastąpić bezpośrednie zwarcie skrajnego przewodu z ziemią, urządzenia elektroenergetyczne powinny być tak wykonane, aby przewód ochronny lub przewód ochronno-neutralny i przyłączone do niego części przewodzące dostępne nie mogły osiągnąć napięcia względem ziemi przekraczającego wartość 50 V. Wymaganie to zostanie spełnione, jeżeli

$$\frac{R_B}{R_E} \leq \frac{50}{U_0 - 50} \quad (3.2.10)$$

gdzie:

R_B — rezystancja wszystkich połączonych równolegle uziomów, Ω ,

R_E — minimalna wartość rezystancji przy styku z ziemią części przewodzących obcych nie połączonych z przewodem ochronnym, poprzez które może nastąpić zwarcie między przewodem skrajnym a ziemią (jeżeli wartość R_E nie jest znana, dopuszczalne jest jej przyjęcie jako równej 10Ω), U_0 — napięcie znamionowe pomiędzy przewodem skrajnym a ziemią, V.

Tabela 3.2.5. Wartości współczynnika k w zależności od rodzaju urządzenia odłączającego

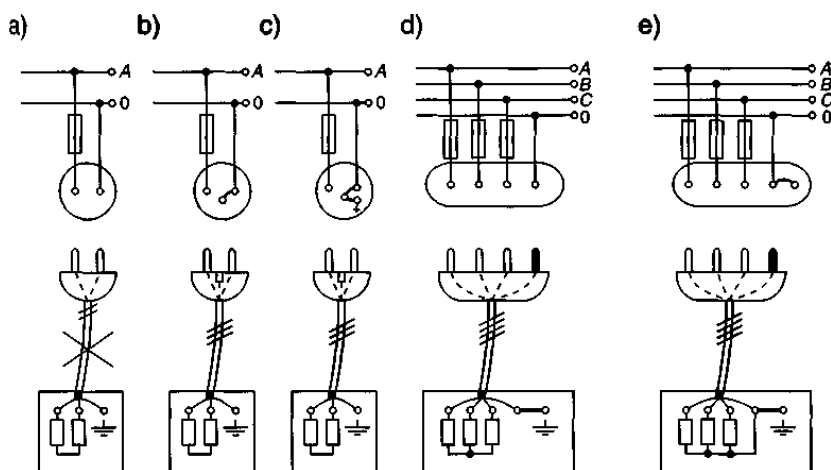
Urządzenia samoczynnie odłączające zasilanie	Wartość współczynnika k	Wartość prądu I_{bn}
<p>Bezpiecznik</p> <p>1) instalacyjny z wkładką topikową szybką</p> <p>a) na prąd znamionowy do 35 A</p> <p>b) na prąd znamionowy od 40 A do 100 A</p> <p>c) na prąd znamionowy od 125 A do 200 A</p> <p>2) instalacyjny z wkładką topikową zwłoczną</p> <p>a) na prąd znamionowy do 16 A</p> <p>b) na prąd znamionowy od 20 A do 25 A</p> <p>c) na prąd znamionowy od 32 A do 63 A</p> <p>d) na prąd znamionowy od 80 A do 100 A</p> <p>3) instalacyjny z wkładką topikową o działaniu szybkozwłocznym</p> <p>a) na prąd znamionowy do 50 A</p> <p>b) na prąd znamionowy od 63 A do 100 A</p> <p>4) wielkiej mocy z wkładką topikową szybką</p> <p>a) na prąd znamionowy 25 A</p> <p>b) na prąd znamionowy od 32 A do 200 A</p> <p>5) wielkiej mocy z wkładką topikową zwłoczną</p> <p>a) na prąd znamionowy do 10 A</p> <p>b) na prąd znamionowy od 16 A do 50 A</p> <p>c) na prąd znamionowy od 63 A do 100 A</p> <p>d) na prąd znamionowy od 125 A do 250 A</p> <p>e) na prąd znamionowy od 400 A do 500 A</p>	<p>2,5</p> <p>3,0</p> <p>3,5</p> <p>3,5</p> <p>4,0</p> <p>4,5</p> <p>5,0</p> <p>4,5</p> <p>6,0</p> <p>3,2</p> <p>4,0</p> <p>5,0</p> <p>5,5</p> <p>6,0</p> <p>6,5</p> <p>7,0</p>	<p>prąd znamionowy wkładki bezpiecznikowej</p>
Wyłącznik zgodnie z normą PN-90/E-06150 wyposażony w wyzwalacze lub przekaźniki bezzwłoczne	1,2	prąd nastawczy wyzwalacza lub przekaźnika zwarciovego
<p>Wyłącznik instalacyjny nadmiarowy zgodnie z normą PN-90/E-93002</p> <p>1) typ L</p> <p>a) na prąd znamionowy do 10 A</p> <p>b) na prąd znamionowy od 16 A do 25 A</p> <p>c) na prąd znamionowy od 32 A do 63 A</p> <p>2) typ U</p> <p>a) na prąd znamionowy do 10 A</p> <p>b) na prąd znamionowy od 16 A do 25 A</p> <p>c) na prąd znamionowy od 32 A do 63 A</p> <p>2) typ K</p> <p>3) 4) typ D</p>	<p>5,2</p> <p>4,9</p> <p>4,5</p> <p>12,0</p> <p>11,2</p> <p>10,4</p> <p>10,0</p> <p>50,0</p>	Prąd znamionowy wyłącznika
Wyłącznik przeciwporażeniowy różnicowoprądowy	1,2	Wyzwalający prąd różnicowy

Sprawdzenie obliczeniowe skuteczności zerowania polega na obliczeniu prądu podczas sztucznego zwarcia: faza - przewód neutralny ochronny lub zerujący i porównaniu jego wartości z prądem I_w powodującym dostatecznie szybkie zadziałanie zabezpieczenia rozpatrywanego urządzenia (Tabela 3.2.5). Przepisy Krajowe nie normują napięcia względem ziemi na częściach zerowych występujących podczas przepływu prądu zwarciego. Odbiorniki jednofazowe włączone do gniazd wtyczkowych zeruje się za pomocą specjalnych styków ochronnych na wtyczce i w gniazdku, połączonych z przewodem ochronnym z dodatkowym kołkiem zerującym (Rys. 3.2.9).

Nieprawidłowe połączenia wtykowe (np. przerabianie przez użytkownika) mogą być przyczyną nieszczęśliwych wypadków wskutek doprowadzenia napięcia fazowego do części metalowych podlegających ochronie przez zetknięcie styku ochronnego wtyczki ze stykiem roboczym gniazda lub braku dodatkowej ochrony przeciwporażeniowej (włożenie do gniazda ze stykiem ochronnym wtyczki bez styku ochronnego) w okolicznościach, w których jest ona wymagana.

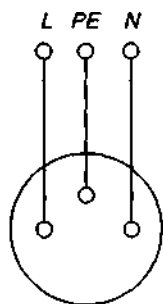
- *Przewodu ochronno-neutralnego (zerowego) i przewodów ochronnych (zerujących) nie wolno zabezpieczać, tzn. stosować w ich obwodach jakichkolwiek bezpieczników itp.*

W instalacji elektrycznej jednofazowej trójprzewodowej (zgodnie z nowymi wymaganiami) w gniazdach wtyczkowych jednofazowych pojedynczych ze stykiem ochronnym, przewód fazowy L powinien być przyłączony z lewej strony, a styk ochronny (PE) powinien znajdować się u góry (patrzac od przodu - Rys. 3.2.10). Gniazda zaś wtyczkowe i wtyczki wielobiegunowe typu przemysłowego powinny być oznaczone odpowiednimi barwami w zależności od wartości napięcia znamionowego. Usytuowanie w nich styku ochronnego (PE) określone jest za pomocą kąta godzinowego tzn.: patrzac od przodu na gniazdo wtyczkowe styk ochronny znajduje się w miejscu odpowiadającym położeniu określonej godziny na tarczy zegara (Rys. 3.2.11).

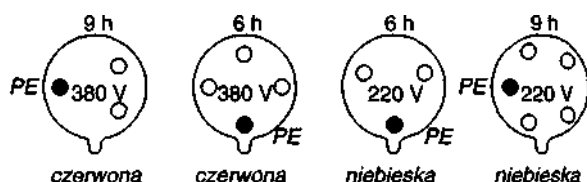


Rys. 3.2.9. Przyłączenie odbiorników ruchomych i ręcznych do sieci z zerowaniem:

- a) niedozwolone;
b) do e) prawidłowe



Rys. 3.2.10. Przyłączenie przewodów w gniazdku jednofazowym



Rys. 3.2.11. Przykłady barw i kątów godzinowych

3.2.3 Eksploatacja dodatkowych środków ochrony przeciwporażeniowej

Urządzenia przeciwporażeniowe, podobnie jak wszystkie urządzenia, ulegają zużyciu w trakcie eksploatacji. Stan więc urządzeń przeciwporażeniowych powinien być kontrolowany, a wszelkie dostrzeżone usterki muszą być natychmiast usuwane. Jest to tym ważniejsze, że od stanu tych urządzeń zależy bezpieczeństwo pracy i obsługi urządzeń elektroenergetycznych związane z bezpośrednim zagrożeniem życia ludzkiego. Sposoby, zakres i terminy wykonywania badań sprawdzających stan urządzeń przeciwporażeniowych określają odpowiednie przepisy eksploatacji urządzeń elektroenergetycznych. Należy je przeprowadzać co najmniej 1 raz w ciągu 3 lat i po każdej naprawie lub przebudowie instalacji.

Instalację ochronną poddaje się oględzinom zewnętrznym oraz próbom napięciowym najczęściej za pomocą induktora.

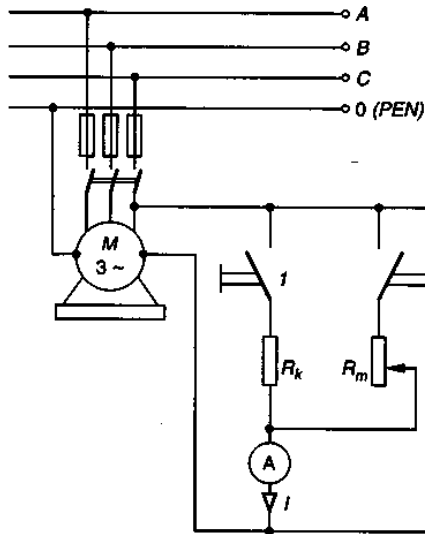
Badania urządzenia uziemiającego sprowadza się do badania wartości rezystancji uziemienia uziomu i rezystancji przewodów uziemiających. Ponieważ pomiar rezystancji uziemienia zabiera stosunkowo dużo czasu, a w wielu wypadkach może nastęrczać trudności techniczne związane z koniecznością wykonania uziomów pomocniczych, więc możemy kontrolować skuteczność działania uziemienia ochronnego wprost przez celowe wykonanie doziemienia w uziemionej części urządzenia. Szybkie zadziałanie odpowiedniego zabezpieczenia będzie podczas takiej próby potwierdzeniem dobrego stanu urządzenia i prawidłowej jego pracy. Sprawdzenie skuteczności działania uziemienia ochronnego przez wykonanie celowego doziemienia jest możliwe do wykonania tylko w urządzeniach przyłączonych do sieci z uziemionym punktem zerowym. W sieciach bowiem z izolowanym punktem zerowym prąd jednobiegunowego doziemienia jest zwykle tak mały, że nie powoduje zadziałania zabezpieczenia

Badanie skuteczności zerowania ochronnego polega na określeniu spodziewanego prądu zwarciovego I_z i porównaniu go z prądem wyłączalnym I_w wynikającym z prądu znamionowego zastosowanego zabezpieczenia.

Wartość prądu zwarciovego I_z określa się z pomiaru *impedancji pętli zwarcioviej zerowania*. Najczęściej stosuje się metody pomiarów impedancji pętli zwarcioviej zerowania podczas pracy układu. Metody te polegają na wykonaniu celowego (sztucznego) połączenia jednej z faz pracującego urządzenia za pomocą odpowiednio dobranego opornika z częścią zerowaną (np. z obudową). Zasadę tej metody ilustruje

Rys. 3.2.12 Metoda polega na dwukrotnym pomierzeniu za pomocą woltomierza: wartości napięcia U_1 między jedną fazą układu a zerową częścią metalową, przy rozwartych

zestykach przycisku 2 (przycisk 1 otwarty również), oraz wartość napięcia U_2 po włączeniu rezystora zwierającego R_m za pomocą przycisku 2.



Rys. 3.2.12. Zasada pomiaru impedancji pętli zwarciowej zerowania metodą celowego zwarcia:

R_k - rezystor kontrolny,

R_m - rezystor zwierający pomiarowy,

1 - przycisk kontrolny,

2 - przycisk zwierający

Pomijając indukcyjność pętli zwarciowej można napisać :

$$I = \frac{U_1}{R_z + R_m} \text{ oraz } I = \frac{U_2}{R_m}$$

skąd wartość rezystancji pętli zwarciowej

$$R_z = R_m \frac{U_1 - U_2}{U_2} = R_m \left(\frac{U_1}{U_2} - 1 \right) \quad (3.2.12)$$

Jeżeli $U_1 = \text{const}$, to za pomocą rezystora R_m o stałej wartości rezystancji można na podstawie powyższej zależności wyskalować woltomierz w omach.

Rezystor $R_k \gg R_m$ służy do wykonywania wstępnego zwarcia w celu sprawdzenia ciągłości obwodu zerowania.

Impedancja pętli zwarciowej zerowania wynosi

$$Z_z = \sqrt{R_z^2 + X_z^2} \quad (3.2.13)$$

Wartość prądu zwarciowego oblicza się z zależności

$$I_z = \frac{U_1}{Z_z} \quad (3.2.14)$$

W sieciach przemysłowych, w których układ zasilający stanowią kable lub przewody, gdzie odległości między żyłami poszczególnych faz są niewielkie, reaktancja pętli zwarciowej zerowania jest dużo mniejsza od rezystancji

$$X_z \ll R_z \quad (3.2.15)$$

co pozwala ograniczyć badania do pomiaru rezystancji R_z . Wówczas impedancję pętli zwarciowej zerowania można przyjąć równą jej rezystancji, czyli

$$R_z \approx Z_z \quad (3.2.16)$$

i prąd zwarciowy

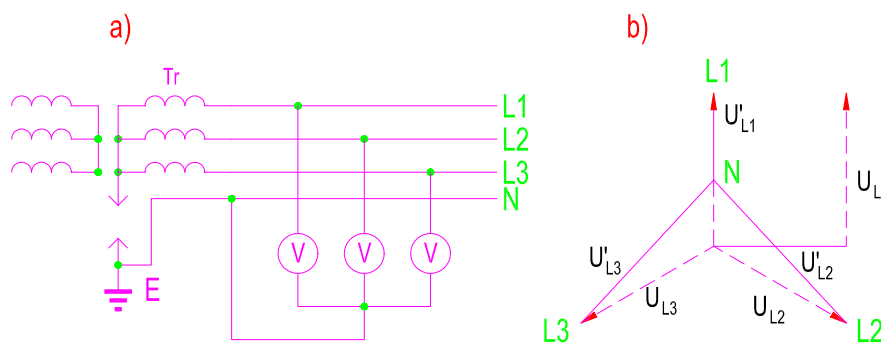
$$I_z \approx \frac{U_1}{R_z} = \frac{U_2}{R_m \left(1 - \frac{U_2}{U_1} \right)} = \frac{I}{1 - \frac{U_2}{U_1}} \quad (3.2.17)$$

gdzie I to wartość prądu sztucznego zwarcia poprzez rezystancję R_m .

Duże znaczenie w pomiarach pętli zwarciowej ma natężenie prądu pomiarowego I . Ze wzrostem wartości prądu pomiarowego zwiększa się dokładność pomiaru. Górna granica tego prądu jest ograniczona obciążalnością bezpieczników i względami bezpieczeństwa. Za dolną granicę można przyjąć 5 A. Wymagana dokładność pomiarów nie jest wielka, zwykle przyjmuje się, że 20 % uchyb pomiaru impedancji pętli zwarciowej jest dopuszczalny.

W kraju i za granicą opracowano wiele mierników do pomiaru impedancji pętli zwarciowej wykorzystujących metodę celowego zwarcia. Ponieważ obecnie stosuje się kilka typów mierników (np. MZU-1, MZ-3, MZK-2, MZW-2, MZC-2), których konstrukcje ciągle są udoskonalone, nie omawiamy tutaj konstrukcji tych mierników.

Kontrola stanu izolacji sieci stosowana jest w układach z zastosowaną siecią ochronną. Polega ona na ciągłej kontroli stanu izolacji względem przewodu ochronnego (o potencjale ziemi). Najprostszym sposobem kontroli jest pomiar napięć trzech faz względem uziemionego przewodu ochronnego za pomocą trzech woltomierzy włączonych w układzie jak Rys. 3.2.13. Po uszkodzeniu izolacji jednej z faz, występuje asymetria napięć objawiająca się wzrostem napięć faz nie uszkodzonych i zmniejszaniem wartości napięcia fazy z uszkodzoną izolacją (Rys. 3.2.13 b).



Rys. 3.2.13. Układ do kontroli stanu izolacji sieci za pomocą trzech woltomierzy:

a) układ połączeń; b) wykres wskazowy napięć, U_{L1} , U_{L2} , U_{L3} - napięcia fazowe w normalnym stanie pracy sieci, U'_{L1} , U'_{L2} , U'_{L3} — napięcia fazowe po uszkodzeniu izolacji fazy A

W sieciach z izolowanym punktem neutralnym z siecią ochronną stosuje się również specjalne urządzenia automatycznej kontroli stanu izolacji typu UKSI, CZU, CZUW, które spełniają samoczynnie trzy zasadnicze funkcje:

- *kompensują prąd upływnościowy poszczególnych faz sieci (wynikający z R_{iz} faz) względem ziemi,*
- *wskazują wartość prądu skompensowanego sieci,*
- *sygnalizują lub wyłączają kontrolowany odcinek sieci po obniżeniu się wartości rezystancji izolacji poniżej poziomu dopuszczalnego.*

Zakres badań rezystancji izolacji oraz dodatkowych środków ochrony przeciwporażeniowej należy tak ustalić (jeśli nie ma co do tego specjalnych wymagań), aby obejmowały one istotnie słabe (najczęściej podlegające uszkodzeniom) miejsca instalacji.

4. Literatura

Dziennik Ustaw Rzeczypospolitej Polskiej Nr 81 z dnia 26 listopad 1990

Polska Norma PN-92/E-05009

Strona internetowa SEP :<http://www.sep.com.pl/>

Kurs przygotowawczy Egzamin Kwalifikacyjny – Stowarzyszenie Energetyków Polskich
Elektrotechnika Podstawy i instalacje elektryczne – Bogdan Miedziński Wydawnictwo
Naukowe PWN 2000 Wydanie II