1.3. Ochrona przeciwporażeniowa.

1.3.1. Czynniki wpływające na stopień porażenia.

Porażeniem nazywamy zmiany i zakłócenia w normalnym funkcjonowaniu organizmu człowieka spowodowane przepływem prądu rażeniowego.

Zmiany te dotyczą głównie: zaburzeń w pracy serca, zaburzeń w układzie oddychania, cieplnego działania prądu oraz szoku i reakcji z nim związanych.

Mogą również wystąpić pośrednie działania prądu, takie jak: oparzenie łukiem, uszkodzenie wzroku, uszkodzenie narządu słuchu czy urazy mechaniczne przy upadkach.

Na stopień porażenia prądem elektrycznym wpływają czynniki: elektryczne, fizjologiczne i zewnętrzne (otoczenia).

W grupie **czynników elektrycznych** należy wymienić:

a) rodzaj prądu (stały czy przemienny),

b) wielkość natężenia prądu,

c) czas przepływu prądu,

d) droga przepływu,

e) częstotliwość w przypadku prądu przemiennego.

Najważniejsze znaczenie odgrywa natężenie prądu przepływającego przez człowieka, przy czym wyróżnia się trzy charakterystyczne wielkości zwane poziomami bezpieczeństwa:

— poziom I: I_{po} = 0,5 mA – próg odczuwalności,

— poziom II: I_s = 10÷15 mA – prąd samouwolnienia,

— poziom III: I_{gr} = 30÷400 mA – prąd graniczny niebezpieczny dla zdrowia i życia ze względu na prawdopodobieństwo wystąpienia migotania komór sercowych (wyższe wartości prądu dotyczą czasów przepływu poniżej 1 s).

Do **czynników fizjologicznych** należą:

a) ukształtowanie rozwoju organizmu (mężczyzna, kobieta lub dziecko),

b) stan emocjonalno-psychiczny,

c) stany chorobowe: choroba wieńcowa, astma, gruźlica, padaczka, cukrzyca, choroby skóry, alkoholizm.

Do **czynników zewnętrznych** (środowiskowych) zalicza się:

a) czynniki wpływające na zmniejszenie odporności ciała ludzkiego (wilgotność, temperatura),

b) czynniki ułatwiające przepływ prądu do ziemi (stanowiska na gołej ziemi, podłoga przewodząca).

1.3.2. Ogólna charakterystyka środków ochrony przeciwporażeniowej w urządzeniach elektrycznych.

1.3.2.1. Zagrożenia porażeniowe.

Użytkowanie urządzeń elektrycznych oraz przebywanie w pobliżu urządzeń stwarza możliwość porażenia prądem związanego z sytuacjami, w których człowiek znajdzie się pod działaniem napięcia:

- **roboczego (fazowego)**, w przypadu dotyku bezpośredniego części pod napięciem lub nadmiernego zbliżenia do tych części,
- **dotykowego**, w przypadku dotyku części metalowych niebędących normalnie pod napięciem, na których jednakże pojawiło się tzw. napięcie uszkodzenia,
- **krokowego**, w przypadku gdy człowiek znajdzie się w strefie objętej rozpływem prądu w ziemi.

Statystyki wykazują, że najczęściej mamy do czynienia z porażeniami od napięć roboczych, które obejmują ok. 60% porażeń i porażeniami od napięć dotykowych stanowiącymi ok. 40% ogólnej liczby porażeń prądem. Porażenia od napięcia krokowego stanowią niewielki udział, znacznie poniżej 1%.

Statystyki porażeń prądem elektrycznym wykazują również, że ok. 70÷80% przypadków porażeń to porażenia na niskim napięciu, wśród których udział najcięższych śmiertelnych wypadków porażeń wynosi 1,5÷5%.

Z kolei porażenia na wysokim napięciu (powyżej 1 kV) powodują z reguły cięższe przypadki, udział śmiertelnych wypadków porażeń w tej grupie sięga 15÷20%.

1.3.2.2. Rodzaje ochrony przeciwporażeniowej.

Środki ochrony przeciwporażeniowej można ogólnie podzielić na:

- środki organizacyjne,
- środki techniczne.

Środki organizacyjne ochrony stosowane w celu zapobieżenia porażeniom elektrycznym obejmują wprowadzone przez rozporządzenia wykonawcze do ustawy — Prawo energetyczne [58] wymagania dotyczące kwalifikacji osób zatrudnionych przy eksploatacji urządzeń energetycznych oraz wymagania dotyczące organizacji i wykonywania prac związanych z eksploatacją, konserwacją, naprawą oraz z badaniami odbiorczymi i okresowymi eksploatacyjnymi urządzeń elektrycznych.

Do działań typu organizacyjnego mających na celu zmniejszenie ryzyka zagrożeń elektrycznych należą:

1) popularyzacja zasad prawidłowego użytkowania urządzeń elektrycznych,
2) nauczanie zasad udzielania pierwszej pomocy porażonym i poparzonym prądem elektrycznym,
3) stosowanie środków propagandy wizualnej w postaci plansz i plakatów popularyzujących zasady bezpiecznego użytkowania urządzeń elektrycznych,
4) obowiązkowe szkolenie okresowe pracowników zaliczanych do grupy wzmożonego ryzyka porażeniem prądem, głównie elektryków,
5) ustawowy wymóg posiadania uprawnień kwalifikacyjnych przez osoby zatrudnione przy eksploatacji urządzeń i instalacji energetycznych,
6) przestrzeganie zasad i przepisów bezpieczeństwa pracy dotyczących organizacji prac przy urządzeniach elektrycznych, w tym zwłaszcza stosowania modelu obejmującego 5 podstawowych (złotych) reguł bezpieczeństwa:

Wyłączyć - Zablokować - Sprawdzić - Uziemić - Wygrodzić

Środki techniczne stanowiące właściwą ochronę przeciwporażeniową obejmują w zasadzie środki ochrony przed dotykiem bezpośrednim (ochrony podstawowej), stanowiące zabezpieczenie przed porażeniami od napięć roboczych (fazowych) oraz środki ochrony przy dotyku pośrednim (ochrony dodatkowej) zabezpieczające przed porażeniami od napięć dotykowych. Do technicznych środków ochrony zaliczyć należy również środki ochrony osobistej (sprzęt ochronny) mające zastosowanie głównie przy pracach konserwacyjno-remontowych, operacjach łączeniowych i czynnościach pomiarowych.

1.3.3. Środki ochrony przeciwporażeniowej w urządzeniach do 1 kV.

1.3.3.1. Charakterystyka przepisów.

Zasady ochrony przeciwporażeniowej w instalacjach i urządzeniach elektrycznych o napięciu do 1 kV określają aktualnie normy wieloarkuszowe PN-IEC 60364 [47] i zastępująca ją stopniowo PN-HD 60364 [48].

Są one odpowiednikami międzynarodowych norm odpowiednio IEC-60364 i HD 60364, posiadają identyczny zakres, treść i układ. Norma [47] wprowadziła szereg nowych postanowień w zakresie ochrony przeciwporażeniowej w stosunku do przepisów wprowadzonych rozporządzeniem MP z dnia 08.10.1990 r., obowiązujących w pierwszej połowie lat dziewięćdziesiątych, głównie w zakresie ochrony przy dotyku pośrednim (ochrony dodatkowej).

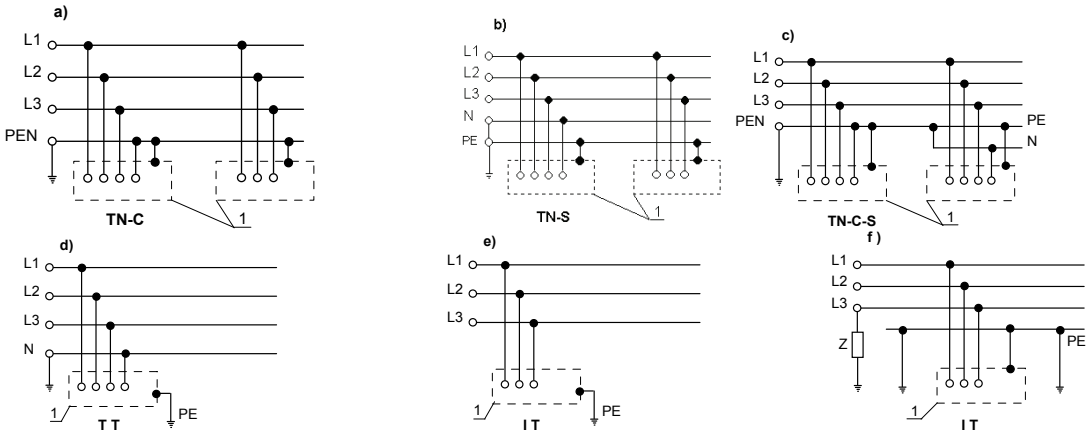
W 2003 r. zatwierdzona została norma N SEP-E-001 [51], która do czasów ustanowienia przepisów przez PKN jest dokumentem określającym zasady ochrony przeciwporażeniowej w liniach napowietrznych i kablowych niskiego napięcia. Norma ta wypełniła lukę legislacyjną w zakresie ochrony przeciwporażeniowej w sieciach rozdzielczych do 1 kV zasilających obiekty budowlane, jaka wystąpiła w 1995 r. po wejściu w życie ustawy Prawo budowlane [57].

1.3.3.2. Układy sieciowe.

W zależności od związku pomiędzy układem sieci a ziemią oraz od związku pomiędzy częściami przewodzącymi dostępnymi a ziemią, norma PN-IEC 60364 [47] rozróżnia następujące układy sieciowe:

- układ sieciowy TN (TN-C, TN-S, TN-C-S),
- układ sieciowy TT,
- układ sieciowy IT.

Schematy układów pokazano na rys. 1.3.1.



Rys. 1.3.1. Schematy układów sieciowych:
a) sieć typu TN-C, b) sieć typu TN-S, c) sieć typu TN-C-S
d) sieć typu TT, e), f) sieć typu IT
1 – dostępne części przewodzące, Z – impedancja lub bezpiecznik przeskokowy

Sposób połączenia sieci z ziemią oznacza się za pomocą kodu 2÷4-literowego, przy czym:

- pierwsza litera określa związek układu sieci z ziemią:

  T – oznacza bezpośrednie połączenie punktu neutralnego sieci z ziemią,

  I – oznacza izolowanie wszystkich części będących pod napięciem lub połączenie punktu neutralnego sieci z ziemią przez dużą impedancję,
- druga litera określa sposób połączenia z ziemią dostępnych części przewodzących:

  N – oznacza bezpośrednie połączenie dostępnych części przewodzących z uziemionym punktem neutralnym,
- trzecia i czwarta litera określają układy przewodów neutralnych i ochronnych (ochronno-neutralnych):

  C – oznacza, że funkcje przewodów neutralnych i ochronnych pełni jeden przewód ochronno-neutralny PEN w całym układzie,

  S – oznacza, że funkcje przewodów neutralnych i ochronnych pełnią oddzielne przewody (odpowiednio N i PE) w całym układzie,

  C-S – oznacza, że funkcje przewodów neutralnych i ochronnych w części układu pełni jeden przewód PEN, a w części układu oddzielne przewody N i PE.

1.3.3.3. Przewody ochronne, neutralne i wyrównawcze.

Podstawowe wymagania odnośnie przewodów ochronnych, ochronno-neutralnych i neutralnych w instalacjach elektrycznych określa norma PN-IEC 60364 [47].

Przekrój przewodów ochronnych nie powinien być mniejszy od wartości obliczonej ze wzoru:

$$S = \frac{I_{th}\sqrt{t}}{k} \qquad (1.3.1)$$

gdzie: S – przekrój przewodu [mm^2],

I_{th} – prąd zwarciowy cieplny [A],

t – czas trwania zwarcia w sekundach,

k – współczynnik zależy od rodzaju przewodu i warunków jego użytkowania, w $A \cdot \sqrt{s} / mm^2$.

Jednocześnie minimalny przekrój przewodu ochronnego został uzależniony od przekroju przewodu fazowego i nie powinien być mniejszy od wartości podanych w tabeli 1.3.1.

Tabela 1.3.1

Przekrój przewodu ochronnego w zależności od przekroju przewodów fazowych

Przekrój przewodu fazowego S, w mm^2	Przekrój odpowiadającego przewodu ochronnego S_{PE}, w mm^2
$S \le 16$	S [1)]
$16 < S \le 35$	16
$S > 35$	1/2 S

[1)] Lecz nie mniejszy niż 2,5 mm^2, jeżeli przewód jest zabezpieczony przed uszkodzeniem mechanicznym lub 4 mm^2, jeżeli nie jest zabezpieczony przed uszkodzeniami mechanicznymi — dotyczy to przewodów ochronnych niebędących żyłą przewodu (kabla) lub jego powłoką.

Jako przewody ochronne mogą być stosowane:

— żyły przewodów (kabli) wielożyłowych,

— przewody prowadzone we wspólnej osłonie z przewodami roboczymi,

— metalowe osłony niektórych rodzajów kabli szynowych,

— odpowiednie części przewodzące obce.

Przepisy [47] określają dodatkowe wymagania dotyczące wykorzystania jako przewodów ochronnych metalowych osłon, obudów i części przewodzących obcych, dotyczące głównie zapewnienia ich ciągłości elektrycznej oraz konduktancji równej co najmniej konduktancji przewodów wyznaczonych według tabeli 1.3.1.

W sieciach systemu TN, w których ułożony na stałe pojedynczy przewód (żyła) spełnia funkcję przewodu ochronnego i neutralnego, przekrój przewodu ochronno-neutralnego PEN nie może być mniejszy niż 10 mm^2 Cu lub 16 mm^2 Al. W przypadku stosowania przewodów (kabli) koncentrycznych, minimalny przekrój przewodu PEN może wynosić 4 mm^2.

Przewód neutralny N wyprowadzony z punktu neutralnego źródła prądu przemiennego, jako przewód czynny uczestniczy w przesyłaniu energii elektrycznej. Jego przekrój musi być dostosowany do przewidywanych obciążeń roboczych. Z reguły, zwłaszcza w obwodach 1-fazowych lub w 3-fazowych przy znacznej asymetrii obciążenia poszczególnych faz, przekrój przewodu neutralnego powinien odpowiadać przekrojowi przewodów fazowych.

Istotne znaczenie w ochronie przeciwporażeniowej odgrywają **połączenia wyrównawcze**. Mają one za zadanie połączenie ze sobą wszystkich części przewodzących dostępnych i części przewodzących obcych dla wyeliminowania porażenia w przypadku równoczesnego ich dotyku. Wymagania odnośnie połączeń wyrównawczych ochrony przeciwporażeniowej są podane w normie PN-IEC 60364 [47]. Jako przewody wyrównawcze mogą być stosowane miedziane przewody gołe lub izolowane oraz stalowe przewody gołe lub pokryte trwałymi powłokami antykorozyjnymi. Minimalne przekroje poprzeczne przewodów wyrównawczych w ochronie przeciwporażeniowej określone normą [47] podaje tabela 1.3.2.

Tabela 1.3.2

Przekroje poprzeczne przewodów wyrównawczych głównych i dodatkowych

Wymagania	Połączenia wyrównawcze główne	Połączenia wyrównawcze dodatkowe między	
		dwoma częściami przewodzącymi dostępnymi	częścią przewodzącą dostępną i częścią przewodzącą obcą
Podstawowe	$S_w \geq 0{,}5\ S_{PEmax}$	$S_w \geq S_{PEmin}$	$S_w \geq 0{,}5\ S_{PE}$
Dodatkowe	$S_w \geq 6\ mm^2$	$S_w \geq 2{,}5\ mm^2$ dla przewodów chronionych od uszkodzeń mechanicznych [1)] $S_w \geq 4\ mm^2$ dla przewodów niechronionych od uszkodzeń mechanicznych [2)]	
Możliwe złagodzenie wymagania podstawowego	S_w nie musi być większy od 25 mm^2 Cu albo przekroju równoważnego w przypadku innego metalu niż miedź	—	

[1)] niezależnie od materiału, z którego wykonany jest przewód,

[2)] w przypadkach stosowania innego metalu niż miedź należy przyjmować przekrój zapewniający taką samą obciążalność prądową, jaką ma odpowiedni przewód miedziany.

Oznaczenia: S_w – przekrój przewodu wyrównawczego, S_{PEmax} – największy przekrój przewodu ochronnego w danej instalacji, S_{PEmin} – najmniejszy przekrój przewodu ochronnego spośród przewodów doprowadzonych do rozpatrywanych części przewodzących dostępnych, S_{PE} – przekrój przewodu ochronnego doprowadzonego do rozpatrywanej części przewodzącej dostępnej.

1.3.3.4. Uziemienia robocze i ochronne.

Uziemieniem nazywa się celowo wykonane elektryczne połączenie części urządzeń lub instalacji elektrycznej z przedmiotem metalowym znajdującym się w ziemi, zwanym **uziomem**.

W zależności od zadania spełnianego przez uziemienie, rozróżnia się uziemienia: ochronne i robocze. Uziomy stanowiące zasadniczą część instalacji uziemiającej mogą być naturalne lub sztuczne bądź stanowić układ mieszany, złożony z obu ich rodzajów.

Uziomami naturalnymi są przedmioty metalowe znajdujące się w ziemi, których podstawowe przeznaczenie jest inne niż dla celów uziemienia.

Jako uziomy naturalne mogą być wykorzystywane: metalowe rury wodociągowe, ołowiane płaszcze i pancerze kabli elektroenergetycznych, elementy metalowe osadzone w fundamentach, zbrojenia betonu znajdującego się w ziemi oraz inne elementy metalowe obiektów mające dobrą styczność z ziemią.

Jako uziomy sztuczne mogą być wykorzystywane kształtowniki, pręty, druty, linki, płyty lub taśmy najczęściej stalowe, pokryte przewodzącymi powłokami ochronnymi (antykorozyjnymi) pogrążone w gruncie poziomo (uziomy poziome) lub pionowo (uziomy pionowe).

Aktualne przepisy dopuszczają możliwość wykonywania uziomów ze stali nieocynkowanej, ze stali ocynkowanej lub z miedzi. Często miedź stosowana jest jako materiał na powłoki ochronne uziomów stalowych. Uziomy mogą być wykonywane z pojedynczych elementów poziomych lub pionowych (uziomy skupione) lub też mogą stanowić uziom złożony, utworzony z układu uziomów o zróżnicowanej konfiguracji (np. uziomy promieniowe, kratowe lub otokowe).

Układ składający się z uziomów, przewodów uziomowych oraz przewodów uziemiających nosi nazwę **systemu uziemiającego**.

Przewód uziemiający jest to przewód łączący część metalową podlegającą ochronie z uziomem lub z przewodem uziomowym.

Przewód uziomowy jest to umieszczony w gruncie nieizolowany przewód, łączący uziom lub zespół uziomów z przewodem uziemiającym lub zaciskiem probierczym uziomowym.

Charakterystycznym parametrem określającym cechy uziemienia jest **rezystancja uziemienia**, przy czym rozróżnia się rezystancję statyczną, odpowiadającą przewodzeniu prądów przemiennych o częstotliwości 50 Hz, oraz rezystancję udarową, odpowiadającą przepływowi prądów piorunowych o charakterze udarowym, charakteryzujących się dużą wartością prądu i bardzo krótkim czasem trwania.

Istotnym parametrem wpływającym na obliczeniowe wyznaczenie rezystancji uziemienia jest **rezystywność gruntu** ρ, będąca wielkością charakteryzującą poszczególne rodzaje gruntów, zawierającą się w przedziale 40÷2000 Ωm.

Uziemienie robocze polega na połączeniu z uziomem określonego punktu obwodu elektrycznego (części czynnej oraz przewodu ochronnego PE lub ochronno-neutralnego PEN). Może ono być wykonane jako bezpośrednie, pośrednie (poprzez reaktancję lub rezystancję) lub otwarte (za pośrednictwem bezpiecznika iskiernikowego). Szczegółowe wymagania odnośnie uziemień roboczych określa norma N SEP-E-001 [51]. Wymagania odnośnie wykorzystania uziemień w zakresie ochrony przy dotyku pośrednim w systemie samoczynnego wyłączenia zasilania w różnych układach sieciowych określa norma [47].

W sieciach TN i TT pierwszym uziemieniem jest uziemienie robocze punktu neutralnego transformatora (generatora lub zespołu prądotwórczego). Najczęściej jest to uziom kratowy lub otokowy, ewentualnie uzupełniony elementami pionowymi, jeżeli wartość rezystancji uziemienia nie spełnia wymagań przepisów. Wymagania odnośnie dopuszczalnej wartości rezystancji tego uziemienia określało rozporządzenie MP z 1990 r., zgodnie z którym rezystancja uziemienia roboczego punktu neutralnego sieci niskiego napięcia nie mogła przekraczać 5 Ω oraz wartości wynikającej z napięcia bezpiecznego i prądu zwarcia doziemnego w sieci wyższego napięcia:

$$R_r = \frac{50}{I_z} \qquad (1.3.2.)$$

gdzie: R_r – rezystancja uziemienia roboczego [Ω],
I_z – prąd zwarcia doziemnego w sieci wyższego napięcia [A].

Norma [60] wprowadza też wymaganie wykonywania dodatkowych uziemień roboczych przewodu ochronnego lub ochronno-neutralnego w sieci TN, określając szczegółowo miejsce ich wykonywania w liniach napowietrznych i kablowych oraz ustalając maksymalną wartość rezystancji każdego z tych uziomów na 30 Ω.

W sieci TT dostępne części przewodzące odbiorników łączy się przewodami ochronnymi z uziomami (dawne uziemienie ochronne), a w sieci IT części przewodzące dostępne powinny być uziemione indywidualnie lub grupowo (dawne uziemienie ochronne) lub zbiorowo poprzez przewód ochronny sieci (dawna sieć ochronna).

1.3.3.5. Rodzaje ochron i środków ochrony.

Obowiązująca aktualnie norma PN-HD 60364 [48b] przewiduje 3 rodzaje ochron przeciwporażeniowych:

- równoczesną ochronę przed dotykiem bezpośrednim (ochrona podstawowa) i pośrednim (ochrona dodatkowa),
- ochronę przed dotykiem bezpośrednim (podstawową),
- ochronę przy dotyku pośrednim (dodatkową).

Zestawienie rodzajów ochrony i środków ochrony przeciwporażeniowej podano w tabeli 1.3.3.

Tabela 1.3.3

Rodzaje ochron i środków ochrony przeciwporażeniowej w urządzeniach niskiego napięcia — wg [48b]

Rodzaje ochron przeciwporażeniowych	Środki ochrony przeciwporażeniowej	
1	2	
Równoczesna ochrona przed dotykiem bezpośrednim i pośrednim (równoczesna ochrona podstawowa i dodatkowa)	Obwody o bardzo niskich napięciach bezpiecznych (ochronnych) nie wymagające ochrony przed dotykiem bezpośrednim	bez uziemienia SELV
		z uziemieniem PELV
	Obwody o bardzo niskich napięciach bezpiecznych (ochronnych) wymagające ochrony przed dotykiem bezpośrednim	bez uziemienia SELV
		z uziemieniem PELV

Rodzaje ochron przeciwporażeniowych	Środki ochrony przeciwporażeniowej	
1	2	
Ochrona przed dotykiem bezpośrednim (ochrona podstawowa)	Zastosowanie izolowania części czynnych	
	Ogrodzenia (przegrody) lub obudowy (osłony)	
	Bariery (przeszkody)	
	Umieszczenie poza zasięgiem ręki	
	Uzupełnienie ochrony przy użyciu wysokoczułych urządzeń ochronnych różnicowoprądowych	
Ochrona przy dotyku pośrednim (ochrona dodatkowa)	Zastosowanie szybkiego wyłączania w przypadku przekroczenia wartości napięcia dotykowego bezpiecznego oraz zastosowanie połączeń wyrównawczych (miejscowych)	w układzie TN
		w układzie TT
		w układzie IT
	Urządzenia II klasy ochronności lub o izolacji równoważnej	
	Izolowanie stanowiska	
	Nieuziemione połączenia wyrównawcze miejscowe	
	Separacja elektryczna	

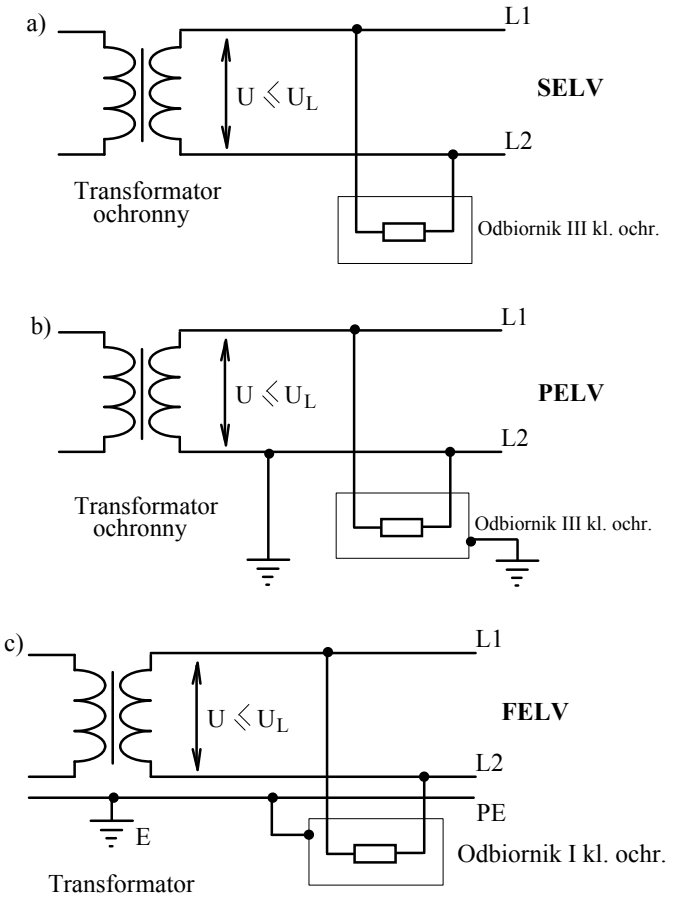
1.3.3.6. Charakterystyka środków ochrony.

1.3.3.6.1. Równoczesna ochrona podstawowa i dodatkowa.

Równoczesna ochrona przed dotykiem bezpośrednim i pośrednim polega na zastosowaniu jednego z następujących środków:

- bardzo niskiego napięcia bezpiecznego SELV (oznaczenie ang. *Safety Extra-Low Voltage*) lub bardzo niskiego napięcia ochronnego PELV (ang. *Protective Extra-Lowe Voltage*),
- bardzo niskiego napięcia funkcjonalnego FELV (ang. *Functional Extra-Lowe Voltage*).

Przykłady obwodów SELV, PELV i FELV pokazano na rys. 1.3.2.



Rys. 1.3.2. Przykłady obwodów SELV, PELV i FELV.

Ochronne obniżenie napięcia roboczego do wartości bardzo niskiego napięcia bezpiecznego stanowi najskuteczniejszy, lecz w praktyce ze względów technologicznych rzadko stosowany sposób ochrony.

W tabeli 1.3.4. podano wartości napięć bezpiecznych określone normą [47], a uzależnione od rodzaju prądu i warunków środowiskowych.

Tabela 1.3.4

Wartości napięć bezpiecznych U_L

Rodzaj prądu	Napięcie bezpieczne dla warunków środowiskowych		
	normalnych	szczególnego zagrożenia	ekstremalnego zagrożenia (zanurzenie w wodzie)
Przemienny	50V~	25V~	12V~
Stały (nietętniący)	120V-	60V-	30V-

Jako źródło bardzo niskiego napięcia bezpiecznego mogą być stosowane:

- transformatory ochronne,
- przetwornice ochronne,
- źródła elektroniczne,
- źródła elektrochemiczne (baterie akumulatorów),
- zespoły prądotwórcze napędzane silnikiem spalinowym.

Wykonanie instalacji na napięcie bezpieczne wymaga spełnienia licznych warunków dotyczących właściwego doboru źródeł zasilania, układania przewodów instalacji oraz budowy i użytkowania instalacji. W szczególności transformatory i przetwornice stanowiące źródło zasilania obwodów bardzo niskiego napięcia bezpiecznego powinny spełniać wymagania II klasy ochronności, czyli pewnego oddzielenia elektrycznego obwodu pierwotnego od obwodu wtórnego.

1.3.3.6.2. Ochrona przed dotykiem bezpośrednim (ochrona podstawowa).

Ochrona podstawowa polega na zastosowaniu jednego z następujących środków:

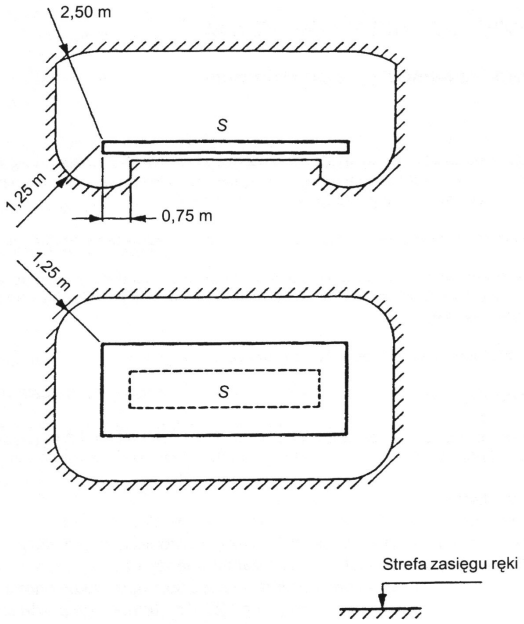
- izolowania części czynnych,
- użycia ogrodzeń (przegród) lub obudów (osłon),
- użycia barier (przeszkód),
- umieszczenia poza zasięgiem ręki,
- uzupełnienia ochrony przy użyciu wysokoczułych urządzeń ochronnych różnicowoprądowych.

Izolowanie części czynnych polega na pokryciu izolacją części obwodu elektrycznego, które znajdują się pod napięciem w normalnych warunkach pracy. Izolacja ta powinna wytrzymywać obciążenia mechaniczne, chemiczne i termiczne, na jakie może być narażona w warunkach eksploatacji.

Ogrodzenia lub obudowy powinny zapewniać dla znajdujących się wewnątrz części czynnych stopień ochrony co najmniej IP2X. Ogrodzenia i obudowy powinny być trwale zamocowane, a usunięcie ich powinno być możliwe jedynie przy użyciu narzędzi lub po wyłączeniu napięcia z części czynnych znajdujących się wewnątrz nich.

Bariery (przeszkody) mają za zadanie uniemożliwienie przypadkowemu dotknięciu części czynnych, natomiast nie chroni przed rozmyślnym działaniem. Bariery mogą być usuwane bez użycia narzędzi, jednak muszą być zabezpieczone przed niezamierzonym usunięciem. Zwykle stosowane są w pomieszczeniach ruchu elektrycznego.

Umieszczenie poza zasięgiem ręki, podobnie jak bariery, chroni przed przypadkowym dotknięciem, a nie przed rozmyślnym działaniem. Zakres strefy zasięgu ręki przedstawiono na rys. 1.3.3.



Rys. 1.3.3. Strefy zasięgu ręki (wg PN-HD 60364-4-41:2009)
S – powierzchnia stanowiska, na której może przebywać człowiek

Stosowanie urządzeń ochronnych różnicowoprądowych o prądzie wyzwalającym $I_{\Delta n}$ nie większym od 30 mA uważane jest za uzupełnienie ochrony, zarówno w przypadku nieskuteczności innych środków ochrony przed dotykiem bezpośrednim, jak i w przypadku nieostrożności użytkowników.

Wyłączniki ochronne różnicowoprądowe lub wyłączniki współpracujące z przekaźnikami różnicowoprądowymi nie mogą być jedynym środkiem ochrony. Mierzą one prąd upływu i powodują szybkie wyłączenie obwodów w przypadku dotknięcia fazy.

1.3.3.6.3. Ochrona przy dotyku pośrednim (ochrona dodatkowa).

Ochrona dodatkowa polega na zastosowaniu jednego z następujących środków:

- samoczynnego wyłączenia zasilania,
- urządzeń II klasy ochronności lub o izolacji równoważnej,
- izolowania stanowiska,
- separacji elektrycznej,
- nieuziemionych połączeń wyrównawczych miejscowych.

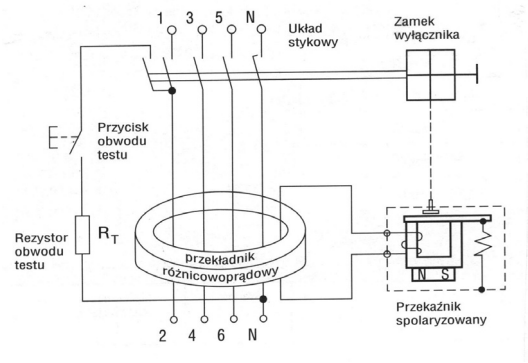
Ochrona przez samoczynne wyłączenie zasilania polega na utworzeniu pętli zwarciowych poprzez przewody ochronne łączące dostępne części przewodzące z punktem neutralnym sieci lub z ziemią (w zależności od układu sieci) oraz zastosowaniu urządzeń ochronnych zapewniających wyłączenie w odpowiednim, wymaganym przepisami czasie.

Jako urządzenia ochronne powodujące wyłączenie odbiornika lub obwodu mogą być zastosowane:

— urządzenia przetężeniowe (nadmiarowoprądowe), do których należą wyłączniki z wyzwalaczami nadprądowymi lub przekaźnikami nadprądowymi oraz bezpieczniki z wkładami topikowymi,

— urządzenia ochronne różnicowoprądowe, do których należą wyłączniki różnicowoprądowe i wyłączniki współpracujące z przekaźnikami różnicowoprądowymi.

Na rys. 1.3.4 pokazany jest uproszczony schemat trójfazowego wyłącznika różnicowoprądowego o działaniu bezpośrednim.



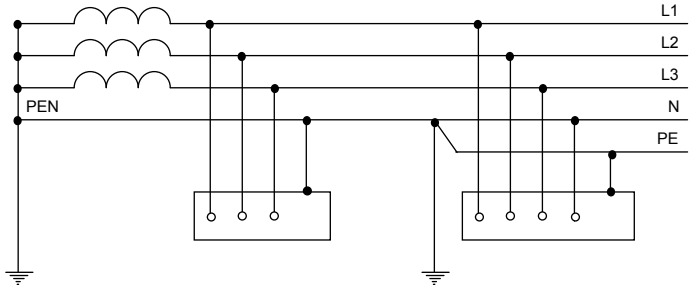
Rys. 1.3.4. Schemat wyłącznika różnicowoprądowego o działaniu bezpośrednim.

Samoczynne szybkie wyłączanie zasilania jest najczęściej stosowanym i najpewniejszym środkiem ochrony dodatkowej stosowanym w układach sieciowych TN, TT oraz IT.

Ochrona w układzie TN.

W układach sieciowych TN ochronę przez samoczynne wyłączenie zasilania (dawniej zerowanie) uzyskuje się poprzez połączenie części przewodzących dostępnych z przewodem ochronnym PE lub przewodem ochronno-neutralnym PEN, co przy zwarciu części czynnych powoduje przepływ prądu zwarciowego do dostępnych części przewodzących i samoczynne odłączenie odbiornika od zasilania.

W obiektach budownictwa ogólnego i przemysłowego najszerzej stosowany jest układ TN-C-S przedstawiony na rys. 1.3.5.



Rys. 1.3.5. Przykład układu TN-C-S z zastosowaniem odbiorników I klasy ochronności.

Maksymalny czas wyłączenia w układzie TN w zależności od napięcia fazowego oraz od warunków środowiskowych podano w tabeli 1.3.5.

Tabela 1.3.5

Maksymalny czas wyłączenia w układzie TN

Napięcie względem ziemi U_0[V]	Maksymalny czas wyłączenia w [s] dla warunków środowiskowych	
	normalnych $U_L \le 50$ [V~], $U_L \le 120$ [V.]	szczególnych $U_L \le 25$ [V~], $U_L \le 60$ [V.]
120	0,8	0,35
230	0,4	0,20
277	0,4	0,20
400	0,2	0,05
480	0,1	0,05
580	0,1	0,02

Wymagania dotyczące szybkiego odłączenia zasilania są spełnione, jeżeli:

$$Z_s \cdot I_a \le U_o \qquad (1.3.3)$$

gdzie: Z_s – impedancja pętli zwarciowej [Ω],

I_a – prąd [A] powodujący samoczynne zadziałanie urządzenia zabezpieczającego w czasie określonym w tabeli 1.3.5 lub w czasie nie dłuższym niż 5 s dla warunków określonych niżej,

U_o – napięcie znamionowe względem ziemi [V].

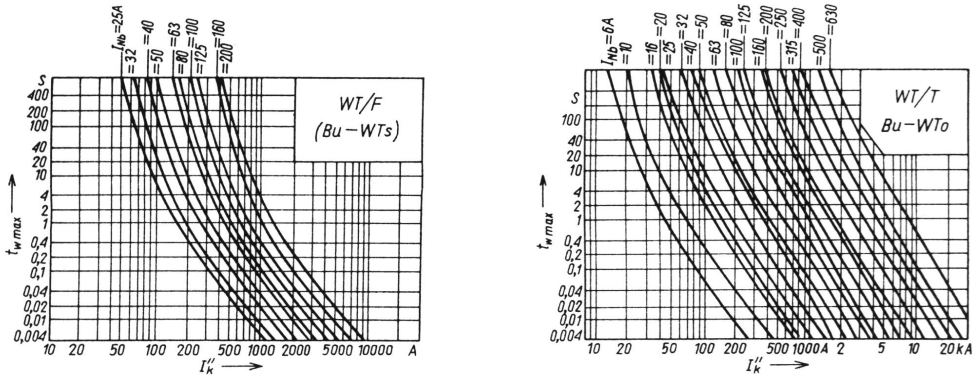
Czas odłączania napięcia dłuższy od podanego w tab. 1.3.5, ale nieprzekraczający 5 s dopuszcza się:

- w sieciach rozdzielczych i wewnętrznych liniach zasilających,
- w obwodach odbiorczych, do których przyłączone są jedynie odbiorniki stacjonarne i stałe.

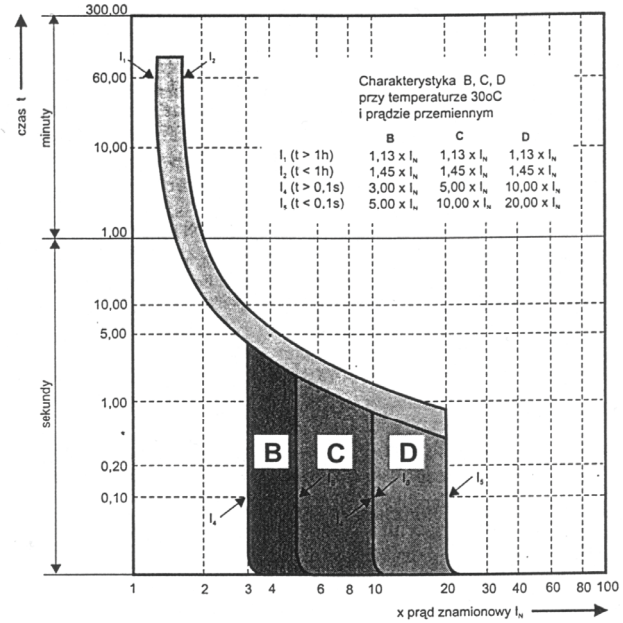
Prąd I_a zapewniający samoczynne zadziałanie urządzenia zabezpieczającego przetężeniowego (nadmiarowoprądowego) powinien być wyznaczony na podstawie charakterystyk czasowo-prądowych urządzeń wyłączających.

Jeżeli urządzeniem ochronnym jest urządzenie ochronne różnicowoprądowe, prąd I_a jest znamionowym prądem wyzwalającym $I_{\Delta n}$.

Na rys. 1.3.6 przedstawiono charakterystyki czasowo-prądowe dla bezpieczników, a na rys. 1.3.7 podano charakterystyki dla wyłączników instalacyjnych.



Rys. 1.3.6. Charakterystyki czasowo-prądowe wkładek topikowych stacyjnych niskiego napięcia: a) szybkich typu WT/F (Bu-WTs) b) zwłocznych typu WT/T (Bu-Wto)
t_{wmax} – największy czas wyłączania I_k" – spodziewany prąd zwarciowy



Rys. 1.3.7. Charakterystyki czasowo-prądowe wyłączników nadprądowych.
Linią przerywaną zaznaczono warunek wyłączenia wg [47, 48].

Przepisy [47, 48] wymagają, aby każdy obiekt budowlany posiadał połączenia wyrównawcze główne. Połączenia wyrównawcze główne realizuje się poprzez umieszczenie w najniższej kondygnacji budynku **głównej szyny uziemiającej** (zacisku), do której podłącza się:

- przewody uziemiające połączone z uziomami,
- przewody ochronne lub ochronno-neutralne,
- metalowe rury oraz metalowe urządzenia wewnętrznych instalacji wody zimnej, wody gorącej, ścieków, centralnego ogrzewania, gazu, klimatyzacji,
- metalowe powłoki i pancerze kabli elektroenergetycznych,
- metalowe elementy konstrukcyjne budynku, takie jak np. zbrojenia itp.

W pomieszczeniach o zwiększonym zagrożeniu porażeniowym, jak np. w łazienkach, pralniach, hydroforniach i kotłowniach oraz przestrzeniach, w których nie ma możliwości zapewnienia ochrony przeciwporażeniowej przez samoczynne wyłączenie zasilania po przekroczeniu wartości napięcia dotykowego dopuszczalnego długotrwale na częściach przewodzących dostępnych, powinny być wykonane **połączenia wyrównawcze dodatkowe** (miejscowe).

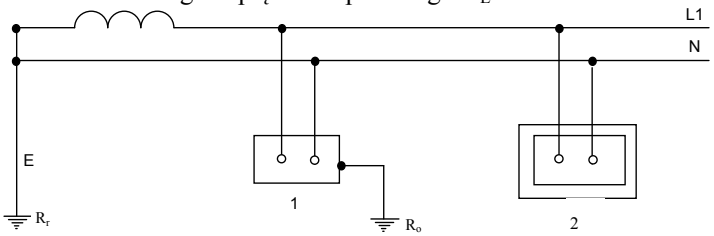
Powinny one obejmować wszystkie części przewodzące jednocześnie dostępne, takie jak:

- części przewodzące dostępne,
- części przewodzące obce,
- przewody ochronne wszystkich urządzeń, w tym gniazd wtyczkowych,
- metalowe konstrukcje i zbrojenia budowlane.

Elementy przewodzące wprowadzone do budynku z zewnątrz powinny być przyłączone do głównej szyny uziemiającej możliwie najbliżej miejsca wprowadzenia ich do budynku. Połączenie wszystkich części przewodzących dostępnych w danym obiekcie budowlanym za pomocą przewodów wyrównawczych ma na celu wyrównanie potencjałów między elementami (ekwipotencjalizację).

Ochrona w układzie TT.

W układzie sieciowym TT przedstawionym na rys. 1.3.8 ochrona polega na połączeniu części przewodzących dostępnych chronionych za pomocą urządzeń ochronnych przetężeniowych lub różnicowoprądowych, z uziomem (dawniej uziemienie ochronne). Przy zwarciu części czynnej z częścią przewodzącą dostępną, powinno nastąpić samoczynne odłączenie odbiornika od sieci w wymaganym czasie lub obniżenie napięcia dotykowego na częściach przewodzących do wartości bardzo niskiego napięcia bezpiecznego U_L.



Rys. 1.3.8. Przykład sieci TT:
1 – odbiornik I klasy ochronności; 2 – odbiornik II klasy ochronności.

W układzie TT powinien być spełniony warunek:

$$R_A I_a \leq U_L \qquad (1.3.4)$$

gdzie: R_A – suma rezystancji uziomu i przewodu PE,
I_a – prąd zapewniający samoczynne zadziałanie urządzenia ochronnego,
U_L – napięcie dotykowe bezpieczne.

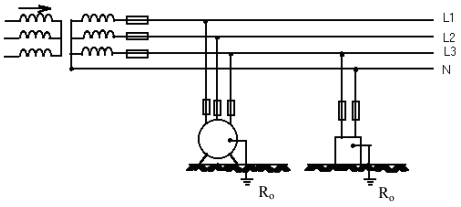
Przy rezystancji uziomu dobranej zgodnie z warunkiem (1.3.4) nastąpi szybkie wyłączenie, gdy prąd zwarciowy I_Z ograniczony sumą rezystancji uziomu roboczego punktu neutralnego transformatora i uziomu ochronnego przekroczy wartość I_a.

Jeżeli prąd I_Z będzie mniejszy niż I_a to powinno nastąpić obniżenie napięcia dotykowego do wartości bezpiecznej U_L. W praktyce spełnienie warunku szybkiego wyłączenia jest zapewnione przy małych mocach odbiorników lub przy stosowaniu jako urządzeń ochronnych wyłączników różnicowoprądowych.

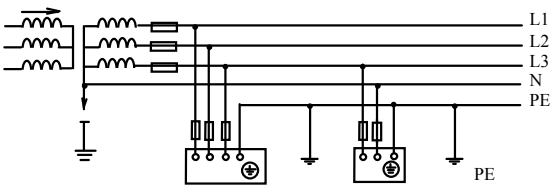
Ochrona w układzie IT.

W układzie sieciowym IT pokazanym na rys. 1.3.9 wszystkie części czynne są odizolowane od ziemi, a części przewodzące dostępne powinny być uziemione indywidualnie, grupowo lub zbiorowo.

a)



b)



Rys. 1.3.9. Przykłady układów IT:
a) dawne uziemienie ochronne, b) dawna sieć ochronna.

Prąd pojedynczego zwarcia z ziemią ma charakter prądu pojemnościowego i jego ograniczona wartość (zwykle poniżej 1A) nie wystarcza do spełnienia warunku szybkiego wyłączenia, ale za to z reguły występuje skuteczne obniżenie napięcia dotykowego do bezpiecznego w danych warunkach środowiskowych, zwykle 50 V lub 25 V.

Powyższe wymaganie określone jest wzorem:

$$R_A I_a \leq U_L \qquad (1.3.5)$$

gdzie: R_A – rezystancja uziomu,
I_a – prąd pojedynczego zwarcia między przewodem fazowym a częścią przewodzącą dostępną (prąd doziemny),
U_L – napięcie dotykowe bezpieczne.

Zaleca się, aby pojedyncze zwarcie doziemne było usuwane możliwie szybko, co zmniejsza prawdopodobieństwo wystąpienia podwójnych zwarć doziemnych. Urządzenie do kontroli stanu izolacji powinno przy zwarciu doziemnym działać na sygnał dźwiękowy lub/i świetlny.

Warunki wyłączania podwójnego zwarcia z ziemią zależą od sposobu uziemienia części przewodzących dostępnych i przy uziemieniu:

— indywidualnym lub grupowym, warunki analogiczne jak dla układu TT,

— zbiorowym, warunki analogiczne jak dla układu TN.

Aby nastąpiło szybkie wyłączenie powinny być spełnione następujące warunki:

— dla układu IT bez przewodu neutralnego:

$$Z_s \leq \frac{\sqrt{3} \cdot U_0}{2 \cdot I_a} \qquad (1.3.6)$$

— dla układu IT z przewodem neutralnym:

$$Z'_s \leq \frac{U_0}{2 \cdot I_a} \qquad (1.3.7)$$

gdzie: Z_s – impedancja pętli zwarcia obejmującej przewód fazowy i przewód ochronny obwodu,
Z'_s – impedancja pętli zwarcia obejmującej przewód neutralny i przewód ochronny obwodu.

Maksymalne dopuszczalne czasy wyłączenia przy podwójnych zwarciach doziemnych w układzie IT w zależności od napięcia podano w tabeli 1.3.6.

Tabela 1.3.6

Maksymalne dopuszczalne czasy wyłączenia w układzie IT (przy podwójnym zwarciu doziemnym)

Napięcie znamionowe instalacji Uo/U [V]	Czas wyłączenia w [s] dla napięcia bezpiecznego			
	w warunkach normalnych $U_L \leq 50$ [V~], $U_L \leq 120$ [V-]		w warunkach szczególnych $U_L \leq 25$ [V~], $U_L \leq 60$ [V-]	
	dla sieci bez przewodu neutralnego	dla sieci z przewodem neutralnym	dla sieci bez przewodu neutralnego	dla sieci z przewodem neutralnym
120/230	0.8	5.0	0.4	1.0
230/400	0.4	0.8	0.2	0.5
277/480	0.2	0.4	0.2	0.5
400/690	0.2	0.4	0.06	0.2
580/1000	0.1	0.2	0.02	0.08

Ochrona przez zastosowanie urządzenia II klasy ochronności lub o izolacji równoważnej ma na celu zapobieżenie pojawieniu się niebezpiecznego napięcia na częściach przewodzących dostępnych urządzeń elektrycznych w przypadku uszkodzenia izolacji podstawowej. Istota tego środka ochrony polega na ograniczeniu do minimum możliwości porażenia poprzez zastosowanie izolacji podwójnej lub izolacji wzmocnionej albo równoważnej obudowy izolacyjnej. Urządzenia II klasy ochronności oznaczone symbolem ⧈ są rozpowszechnionym środkiem ochrony dodatkowej, zwłaszcza w odniesieniu do przyrządów ręcznych i ruchomych (elektronarzędzia i sprzęt gospodarstwa domowego). Mogą być stosowane we wszystkich warunkach środowiskowych.

Obudowy izolacyjne urządzeń powinny mieć stopień ochrony co najmniej IP2X i być odporne na spodziewane obciążenia mechaniczne, elektryczne i termiczne. W widocznych miejscach wewnątrz i na zewnątrz obudowy powinien być umieszczony symbol ⊗ oznaczający zakaz przyłączania przewodu ochronnego.

Izolowanie stanowiska polega na zapobieżeniu równoczesnemu dotknięciu części, które mogą mieć różny potencjał w wyniku uszkodzenia izolacji podstawowej części czynnych.

Ściany i podłogi stanowiska powinny być wykonane z materiałów izolacyjnych w taki sposób, aby ich rezystancja nie była mniejsza niż 50 kΩ dla instalacji o napięciu znamionowym do 500 V, oraz 100 kΩ przy napięciu powyżej 500 V.

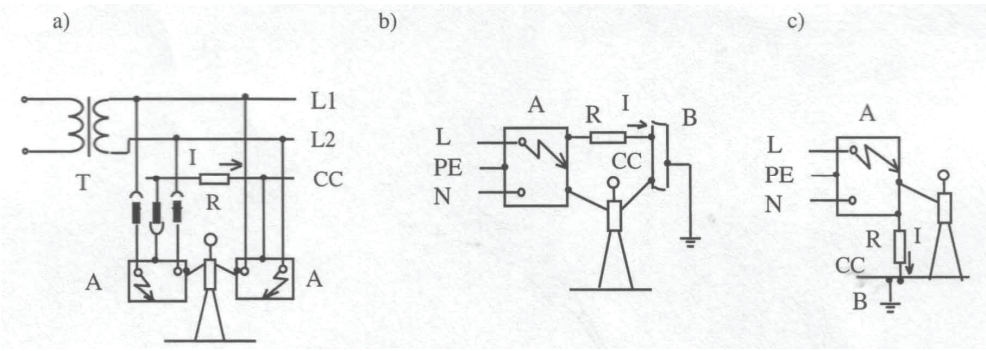
Zastosowane środki ochrony powinny być wyposażeniem stałym umożliwiającym nieumyślne ograniczenie skuteczności ich działania, a ich stan techniczny należy często kontrolować.

Izolacja podłogi i ścian nie powinna podlegać działaniu wilgoci, a więc ten sposób ochrony można stosować tylko w pomieszczeniach suchych. Wszystkie dostępne części przewodzące powinny być oddalone od siebie nie mniej niż 2 m, odległość ta może być zmniejszona do 1,25 m poza strefą zasięgu ręki.

Do stanowiska izolowanego nie wolno doprowadzać z zewnątrz żadnych uziemionych przedmiotów ani przewodów ochronnych. Ten sposób ochrony wymaga szczególnie skutecznego nadzoru eksploatacyjnego nad instalacjami.

Nieuziemione połączenia wyrównawcze miejscowe mają na celu zapobieżenie pojawieniu się niebezpiecznych napięć dotykowych. Istota tej ochrony polega na łączeniu między sobą wszystkich części przewodzących jednocześnie dostępnych oraz części przewodzących obcych za pomocą nieuziemionych miejscowych połączeń wyrównawczych.

Zasadę działania połączeń wyrównawczych przedstawia rys. 1.3.10.



Rys. 1.3.10. Zasada działania połączeń wyrównawczych:
A – część przewodząca dostępna z uszkodzoną izolacją, B – część przewodząca obca,
T – transformator separacyjny, I – największy spodziewany prąd niepowodujący samoczynnego wyłączenia,
R – rezystancja połączenia wyrównawczego.

System połączeń wyrównawczych miejscowych nie powinien mieć połączenia elektrycznego z ziemią przez części przewodzące dostępne lub przez części przewodzące obce. Rezystancja połączeń wyrównawczych powinna być tak dobrana, aby największy spodziewany prąd niepowodujący samoczynnego wyłączenia zasilania, wywoływał na niej spadek napięcia nieprzekraczający dopuszczalnej w danych warunkach środowiskowych wartości napięcia dotykowego bezpiecznego.

$$I \cdot R \leq U_L \qquad (1.3.8)$$

gdzie: I – największy spodziewany prąd niepowodujący samoczynnego wyłączenia,

R – rezystancja połączenia wyrównawczego,

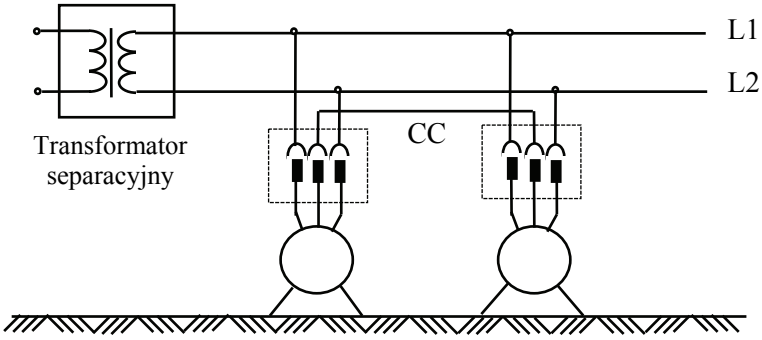
U_L – napięcie bezpieczne (np. 50 V).

Separacja elektryczna polega zwykle na zasilaniu pojedynczego odbiornika przez transformator separacyjny lub przetwornicę separacyjną.

Części czynne obwodu separowanego nie powinny być połączone w żadnym punkcie z innym obwodem lub ziemią.

Zaleca się, aby w obwodzie separowanym iloczyn napięcia znamionowego (V) i łącznej długości przewodów (m) nie przekraczał 100000 i aby łączna długość przewodów nie przekraczała 500 m.

Jeżeli z obwodu separowanego jest zasilanych kilka urządzeń, to ich dostępne części przewodzące powinny być połączone ze sobą nieuziemionymi połączeniami wyrównawczymi, a zasilające je gniazda wtyczkowe muszą być wyposażone do tego celu w styki ochronne (rys. 1.3.11).



Rys. 1.3.11. Przewody wyrównawcze (CC) w przypadku zastosowania separacji elektrycznej.

Napięcie ochronne obwodów separowanych jest ograniczone do 500 V.

Przewody obwodów separowanych są najczęściej prowadzone oddzielnie od przewodów innych obwodów. Obudów odbiorników nie wolno łączyć z uziemionymi przewodami wyrównawczymi. Szczególne zagrożenie w obwodach separowanych zasilających co najmniej dwa odbiorniki występuje w przypadku wystąpienia zwarcia podwójnego na różnych odbiornikach. Zwarcia takie powinny być wyłączane przez urządzenia ochronne w czasie podanym w tabeli 1.3.6.

1.3.4. Klasy ochronności.

Urządzenia (odbiorniki) elektryczne ze względu na wymagany i możliwy do zastosowania sposób ochrony przeciwporażeniowej dzieli się na klasy ochronności.

Rozróżnia się urządzenia kasy ochronności: 0, I, II i III. Charakterystykę poszczególnych klas ochronności oraz zakres i przykłady zastosowania podano w tabeli 1.3.7. Najczęściej w praktyce występują urządzenia klasy I i II.

W urządzeniach **klasy ochronności I** ochronę realizuje się poprzez połączenie przewodów PE lub PEN z zaciskami ochronnymi, przez co następuje:

- szybkie zadziałanie zabezpieczeń przetężeniowych i wyłączenie zasilania, albo
- ograniczenie napięć dotykowych do wartości uznanych za bezpieczne (tab. 1.3.4).

W urządzeniach **klasy ochronności II** ochrona jest zapewniona przez fabryczne zastosowanie izolacji podwójnej lub wzmocnionej. Rzadziej w praktyce występują urządzenia klasy ochronności III, w których ochrona przeciwporażeniowa jest zapewniona przez zasilanie ich bardzo niskim napięciem (SELV lub PELV), mieszczącym się w zakresie napięcia bezpiecznego.

Tabela 1.3.7

Klasy ochronności urządzeń elektrycznych — wg [47, 48]

Klasy ochronności	klasa 0	klasa I	klasa II	klasa III
Symbol	brak oznaczenia			
Cechy charakterystyczne wykonania urządzenia	- izolacja jedynie podstawowa - brak zacisku ochronnego	- izolacja jedynie podstawowa - zacisk ochronny do przyłączenia przewodu	- izolacja podwójna lub wzmocniona, - brak zacisku ochronnego	- zasilanie napięciem bardzo niskim w układzie SELV lub PELV
Wymagania szczegółowe dotyczące sposobu wykonania ochrony przeciwporażeniowej	- izolowanie stanowiska, - uniemożliwienie jednoczesnego dotknięcia dwóch różnych części przewodzących	- przyłączenie przewodu ochronnego PE lub ochronnoneutralnego PEN do zacisku ochronnego	Brak wymagań	brak wymagań
Zakres zastosowań	- w pomieszczeniach o izolowanych ścianach i podłogach, bez konstrukcji i uziomów naturalnych (izolowanie stanowiska) - w obwodzie zasilanym z transformatora separacyjnego	- w pomieszczeniach mieszkalnych, przemysłowych i podobnych, o ile wymagania szczegółowe dotyczące określonych miejsc i pomieszczeń nie ograniczają stosowania urządzeń tej klasy ochronności	- we wszystkich w zasadzie pomieszczeniach i warunkach, o ile wymagania szczegółowe dotyczące określonych miejsc i pomieszczeń nie ograniczają stosowania urządzeń tej klasy ochronności	- we wszystkich warunkach i pomieszczeniach
Przykłady zastosowania	oprawy oświetleniowe (żyrandole)	silniki, rozdzielnice metalowe, pralki, chłodziarki, kuchenki elektryczne, zmywaki	młynki do kawy, suszarki do włosów, golarki, wiertarki i inne elektronarzędzia ręczne	zabawki, ręczne przenośne lampy oświetleniowe, niektóre elektronarzędzia

1.3.5. Ochrona przeciwporażeniowa w urządzeniach elektrycznych o napięciu powyżej 1 kV.

1.3.5.1. Charakterystyka przepisów.

Zasady ochrony przeciwporażeniowej w urządzeniach elektrycznych o napięciu powyżej 1 kV aktualnie określa wprowadzona w 2002 r. norma PN-E-05115 [42] dotycząca instalacji elektroenergetycznych wysokiego napięcia. Wcześniej, w pierwszej połowie lat dziewięćdziesiątych obowiązywało Rozporządzenie MP z 08.10.1990 r., które przestało formalnie obowiązywać w 1995 r. po wejściu w życie ustawy — Prawo budowlane [57].

1.3.5.2. Środki ochrony przeciwporażeniowej w urządzeniach o napięciu wyższym niż 1 kV.

Do środków technicznych ochrony zalicza się:

- środki ochrony przeciwporażeniowej podstawowej, zwane też środkami ochrony przed dotykiem bezpośrednim,
- środki ochrony przeciwporażeniowej dodatkowej, zwane też środkami ochrony przy dotyku pośrednim (ochrony przy uszkodzeniu).

Środki ochrony przeciwporażeniowej podstawowej spełniają swoje zadania przede wszystkim w czasie normalnej pracy urządzeń elektroenergetycznych. Ich zadaniem jest niedopuszczenie do niezamierzonego dotknięcia przez człowieka części czynnych urządzeń elektrycznych oraz zapobieganie niezamierzonemu sięgnięciu do strefy w pobliżu części czynnych.

Do środków ochrony podstawowej w urządzeniach wysokiego napięcia norma [42] zalicza następujące cztery środki ochrony:

- zastosowanie obudów,
- zastosowanie przegród ochronnych (ogrodzeń),
- zastosowanie przeszkód ochronnych,
- umieszczenie poza zasięgiem.

Ochronę przez zastosowanie **obudowy** oraz przez **umieszczenie poza zasięgiem** można stosować zarówno poza zamkniętym obszarem ruchu elektrycznego (na terenach i w pomieszczeniach ogólnodostępnych), jak i w obszarach zamkniętego ruchu elektrycznego. Ochronę przez zastosowanie przegród (z wyjątkiem ogrodzeń zewnętrznych) i przeszkód dopuszcza się stosować tylko w zamkniętych strefach ruchu elektrycznego.

Szczegółowe wymagania odnośnie poszczególnych środków ochrony przed dotykiem bezpośrednim określa norma [42].

Norma PN-E-05115 [42] nakazuje **dla ochrony przy uszkodzeniu (dotyku pośrednim)** w instalacjach elektroenergetycznych wysokiego napięcia stosować **uziemienie ochronne**.

W ww. dokumencie napisano, że na terenach instalacji elektroenergetycznych **z uziomem należy łączyć wszystkie części przewodzące dostępne**; w przypadkach specjalnych mogą być tworzone strefy wyizolowane. Równocześnie stwierdzono, że **części przewodzące obce należy uziemiać** wtedy, gdy mogą one stwarzać zagrożenie, np. w wyniku występowania łuku elektrycznego, sprzężenia pojemnościowego lub indukcyjnego.

Uziemienie jest w urządzeniach wysokiego napięcia środkiem ochrony najbardziej trwałym, skutecznym i tanim. Uziom na terenie obiektu elektroenergetycznego może, a nawet powinien, w większości przypadków być wykorzystywany dla wielu celów, może pełnić wiele funkcji (uziemienia ochronnego, funkcjonalnego, odgromowego).

Zwykle uziom taki umieszcza się na głębokości 0,6 do 0,8 m. W stacjach średniego napięcia słupowych lub wnętrzowych o małej powierzchni uziom jest wykonywany jako otokowy.

Inne środki ochrony przy dotyku pośrednim mogą jedynie wspomagać działanie ochronne uziemienia.

W praktyce, w urządzeniach średniego napięcia stosuje się następujące **uzupełniające środki ochrony** przy dotyku pośrednim:

- wykonanie uziomu wyrównawczego w postaci uziomu otokowego lub gęstej kraty zagłębionych na niewielką głębokość pod rozpatrywanym stanowiskiem (podniesienie potencjałów na stanowiskach, z których można dotknąć części uziemiane),
- pokrycie stanowiska warstwą izolacyjną (zwiększenie rezystancji przejścia między stopami i ziemią, a tym samym zwiększenie rezystancji wypadkowej obwodu rażeniowego),
- wykonanie stanowiska przewodzącego w postaci metalowej płyty lub kraty połączonych z dostępnymi częściami przewodzącymi (zrównanie potencjału stanowiska z dostępnymi częściami uziemianymi),
- zastosowanie nieprzewodzących przegród (ścian) (uniemożliwienie dotknięcia części uziemianych poprzez odseparowanie ich od człowieka).

W normie PN-E-05115 [42] tego rodzaju środki ochrony przedstawiono w sposób opisowy, nie zawsze jednakowy dla różnych miejsc ich zastosowania. Środki uzupełniające oznaczono literą M i dwoma cyframi określającymi miejsce i sposób wykonania kolejnego środka. Środkom stosowanym na zewnątrz budynków rozdzielni wnętrzowych przypisano pierwszą cyfrę 1, na zewnątrz ogrodzeń rozdzielni napowietrznych – 2, w rozdzielniach wnętrzowych – 3, a w rozdzielniach napowietrznych – 4.

Środki uzupełniające M1 przeznaczone do stosowania na zewnątrz budynków stacji wnętrzowych obejmują:

M 1.1: Wykonanie dostępnych części ścian z materiałów nieprzewodzących (np. z kamienia lub drewna) bez uziemionych części metalowych.

M 1.2: Wyrównanie potencjałów przez zastosowanie uziomu poziomego ułożonego na zewnątrz ściany, na głębokości nie większej niż 0,5 m i w odległości ok. 1 m od niej.

M 1.3: Zastosowanie izolowanego stanowiska o szerokości co najmniej 1,25 m.

Izolację stanowiska uznaje się przy tym za wystarczający, jeżeli jest to:

– warstwa tłucznia o grubości co najmniej 100 mm,

– warstwa asfaltu na odpowiednim podłożu (np. na żwirze),

– mata izolacyjna o minimalnych wymiarach 1 m x 1 m i o grubości przynajmniej 2,5 mm lub środek zapewniający izolację równoważną.

Środki uzupełniające M3 przeznaczone do stosowania w rozdzielniach wnętrzowych obejmują:

M 3.1: Wyrównanie potencjałów przez wykonanie w fundamentach budynku kratowego układu uziomowego, którego oczka nie będą miały szerokości większej od 10m lub zastosowanie metalowych siatek budowlanych o wystarczającej obciążalności prądowej. Uziom taki lub siatki należy łączyć z uziomem stacji co najmniej w dwóch różnych miejscach.

M 3.2: Wykonanie stanowisk metalowych i połączenie ich z uziomem rozdzielni i z dostępnymi ze stanowisk częściami przewodzącymi dostępnymi.

M 3.3: Wykonanie izolowanego stanowiska (patrz M 1.3) i wykonanie połączeń wyrównawczych części, które mogą być jednocześnie dostępne.

Podane wyżej możliwości ograniczenia zagrożenia przy dotyku pośrednim polegały głównie na ograniczeniu napięć dotykowych i krokowych lub zwiększeniu rezystancji obwodu rażeniowego, a więc w efekcie zmniejszeniu prądu rażeniowego i napięcia rażeniowego.

Istnieją ponadto inne sposoby osiągnięcia bezpieczeństwa porażeniowego w urządzeniach wysokiego napięcia, do których należą:

- niedopuszczanie do powstania zwarcia doziemnego (zwiększenie wytrzymałości elektrycznej izolacji),
- ograniczanie napięć wynoszonych poza tereny, na których wykonane są uziemienia ochronne (zastosowanie wstawek izolacyjnych w elementach wynoszących napięcie),
- utrudnianie dostępu do części i miejsc, na których mogą się pojawiać napięcia dotykowe i krokowe o dużych wartościach (ogrodzenie miejsc, w których występuje zagrożenie).

1.3.6. Badania eksploatacyjne środków ochrony przeciwporażeniowej.

1.3.6.1. Ogólne zasady wykonywania badań.

Przepisy wykonawcze do ustaw: — Prawo energetyczne [58] i — Prawo budowlane [57] oraz norma PN-IEC 60364 [47] wprowadzają wymóg przeprowadzenia badań odbiorczych pomontażowych i okresowych badań eksploatacyjnych zastosowanych środków ochrony przeciwporażeniowej. Wyniki pomiarów odbiorczych są podstawą podjęcia decyzji o przekazaniu dopiero zmontowanych lub przebudowanych urządzeń do eksploatacji, a wyniki sukcesywnie przeprowadzanych badań eksploatacyjnych (ochronnych) stanowią podstawę do podjęcia decyzji o dalszej eksploatacji lub konieczności dokonania niezbędnych napraw, wymian czy remontów. Istotne znaczenie przy przeprowadzaniu badań ma wybór metody pomiaru uwzględniającej specyfikę badanego obiektu oraz dobór przyrządów pomiarowych gwarantujących uzyskanie wymaganej dokładności pomiarów.

Z reguły pomiary należy przeprowadzić w miarę najprostszą metodą, przy czym klasa dokładności użytych przyrządów i ich zakres pomiarowy powinny zapewniać osiągnięcie wymaganej dokładności. Obowiązujące w kraju przepisy nie podają wymagań odnośnie dokładności pomiarów przeprowadzanych dla oceny stanu technicznego urządzeń i skuteczności ochrony przeciwporażeniowej. Istniejące wytyczne w zakresie pomiarów zalecają, aby dążyć do wykonywania pomiarów z możliwie dużą dokładnością, dopuszczalny uchyb pomiaru nie powinien przekraczać 20%.

Pomiary eksploatacyjne powinny być wykonywane w warunkach najbardziej zbliżonych do warunków występujących podczas eksploatacji urządzeń i instalacji.

Przed rozpoczęciem pomiarów należy:

1) dokonać oględzin badanego obiektu,

2) zapoznać się z dokumentacją techniczną obiektu,

3) wybrać najlepszą metodę pomiarów,

4) dobrać prawidłowo przyrządy pomiarowe.

Dla zachowania wiarygodności wyników pomiarów należy okresowo dokonywać kontroli metrologicznej przyrządów pomiarowych używanych do badań.

Prace kontrolno-pomiarowe przy urządzeniach i instalacjach elektrycznych mogą wykonywać tylko osoby, które posiadają aktualne świadectwo kwalifikacyjne z zakresu wykonywania czynności kontrolno-pomiarowych.

1.3.6.2. Ramowe czasokresy badań eksploatacyjnych.

Czasokresy badań eksploatacyjnych instalacji i urządzeń elektrycznych są ściśle związane z warunkami środowiskowymi, w jakich są one eksploatowane. Wymagania w zakresie częstości wykonywania badań eksploatacyjnych określają ustawy — Prawo budowlane [57] i — Prawo energetyczne [58] oraz norma [47]. Na podstawie analizy ww. przepisów COBRiUE „Elektromontaż" opracował *Wytyczne* ... [11], w których określono ramowe czasokresy pomiarów eksploatacyjnych przytoczone w tabeli 1.3.8.

Tabela 1.3.8

Zalecane czasokresy pomiarów eksploatacyjnych urządzeń i instalacji elektrycznych — wg [11]

Lp.	Rodzaj pomieszczenia	Okres pomiędzy kolejnymi pomiarami	
		skuteczności ochrony przeciwporażeniowej	rezystancji izolacji instalacji (urządzeń)
		nie rzadziej niż co	
1	o wyziewach żrących	1 rok	1 rok
2	zagrożone wybuchem	1 rok	1 rok
3	otwarta przestrzeń	1 rok	5 lat
4	bardzo wilgotne (o wilgotności ok. 100%) i przejściowo wilgotne (o wilgotności 75÷100%)	1 rok	5 lat
5	gorące (o temperaturze powietrza ponad 35°C)	1 rok	5 lat
6	zagrożone pożarem	5 lat	1 rok
7	stwarzające zagrożenie dla ludzi (ZL I, ZL II, ZL III)	5 lat	1 rok
8	zapylone	5 lat	5 lat
9	pozostałe niewymienione	5 lat	5 lat

Podane wyżej czasokresy badań eksploatacyjnych są wymaganiami ramowymi, które należy traktować jako zalecane terminy badań. Szczegółowe wymagania odnośnie częstości badań ochronnych powinny być określone w instrukcji eksploatacji. Przy określaniu tych wymagań bierze się pod uwagę:

— czasokresy ramowe,

— intensywność oddziaływania czynników środowiskowych,

— stopień zużycia technicznego urządzeń, sieci i instalacji.

1.3.6.3. Protokoły z badań i pomiarów.

Prace kontrolno-pomiarowe przy urządzeniach i instalacjach elektrycznych powinny być zakończone sporządzeniem protokołu z badań i pomiarów. Protokół taki powinien zawierać:

1) dane dotyczące obiektu badań,

2) rodzaj pomiarów,

3) nazwisko i numer świadectwa kwalifikacyjnego osoby wykonującej pomiary,

4) datę wykonywania pomiarów i pogodę w dniu pomiarów,

5) wykaz użytych przyrządów pomiarowych i ich numery,

6) wyniki pomiarów, zwykle w ujęciu tabelarycznym,

7) uwagi i wnioski wynikające z pomiarów.

Protokoły z badań i pomiarów uzupełnia się zwykle o szkice rozmieszczenia badanych urządzeń, obwodów i uziomów. Jako wzór protokołów można wykorzystać załączniki nr 1÷5 podane w Wytycznych [11].

1.3.6.4. Zasady wykonywania badań i pomiarów eksploatacyjnych.

1.3.6.4.1. Badania i pomiary ochrony przed dotykiem bezpośrednim.

Badania ochrony przed dotykiem bezpośrednim obejmują:

1) pomiar rezystancji izolacji,

2) pomiar wskaźnika R_{60}/R_{15},

3) oględziny izolacji części czynnych urządzeń i instalacji, w tym izolacji przyrządów,

4) sprawdzenie stanu ogrodzeń (przegród) i obudów (osłon) pod kątem zgodności wykonania z projektem i wymaganiami środowiskowymi (stopień ochrony co najmniej IP2X),

5) pomiar wytrzymałości elektrycznej izolacji,

6) pomiar odstępów izolacyjnych na powierzchni i w powietrzu,

7) sprawdzenie skuteczności zabezpieczenia przy użyciu barier (przegród),

8) sprawdzenie odległości zabezpieczających przed niezamierzonym dotykaniem części czynnych, w przypadku ochrony przez umieszczenie poza zasięgiem ręki.

Podstawowe znaczenie przy ocenie ochrony przed dotykiem bezpośrednim odgrywa pomiar rezystancji izolacji, gdyż stan izolacji ma decydujący wpływ na prawidłowe funkcjonowanie urządzeń elektrycznych i bezpieczeństwo obsługi i otoczenia.

Rezystancję izolacji należy mierzyć pomiędzy przewodami czynnymi (przewody fazowe i neutralny) a ziemią, przy czym przewody ochronne PE i ochronno-neutralne PEN należy traktować jako ziemię.

Pomiar rezystancji izolacji powinien być przeprowadzony w temperaturze 10÷25°C i wilgotności 40÷70%. Pomiar wykonuje się prądem stałym, odczytując wynik pomiaru po ustaleniu się wskazania przyrządu (po ok. 1 min.). Zasady doboru napięcia probierczego oraz wymagania odnośnie minimalnej wartości rezystancji podano w tabeli 1.3.9.

Tabela 1.3.9

Wymagane napięcia probiercze oraz minimalne wartości rezystancji izolacji

Napięcie znamionowe badanego obwodu lub urządzenia	Napięcie probiercze prądu stałego [V]	Minimalna wartość rezystancji izolacji [MΩ]
do 50 V (SELV i PELV)	250	≥ 0,25
50 V < U ≤ 500 V	500	≥ 0,5
500 V < U ≤ 1000 V	1000	≥ 1,0
> 1000 V	2500	wg przepisów

Dla niektórych urządzeń elektroenergetycznych, oprócz pomiaru rezystancji izolacji, należy wykonać pomiar rezystancji po 15 s – R_{15} i po 60 s od przyłożenia napięcia probierczego – R_{60}, a następnie obliczyć wskaźnik $K = R_{60}/R_{15}$, którego wartość jest określona szczegółowymi przepisami eksploatacji. Przykładowo dla transformatorów III grupy o mocy do 1600 kVA wartość wskaźnika K powinna być nie mniejsza niż 1,15.

1.3.6.4.2. Badania i pomiary ochrony przy dotyku pośrednim.

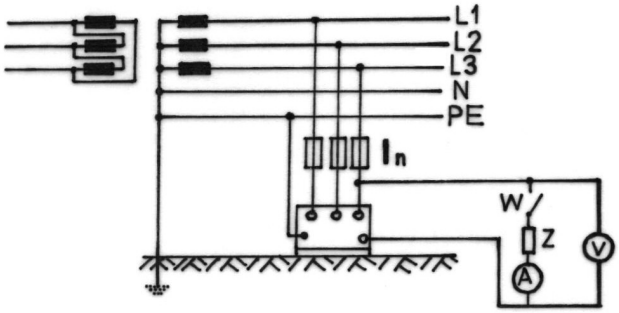
W zakresie badań ochrony przy dotyku pośrednim podstawowe znaczenie odgrywają badania dla oceny samoczynnego wyłączenia zasilania, które w praktyce sprawdzają się do pomiarów impedancji (rezystancji) pętli zwarcia i pomiarów rezystancji uziemień oraz sprawdzenia podanych w rozdziale 1.3.3.6.3 warunków samoczynnego zadziałania urządzeń zabezpieczających przetężeniowych lub różnicowoprądowych w poszczególnych układach sieciowych albo nieprzekraczania dopuszczalnej wartości napięcia dotykowego w sieci TT i IT.

Do pomiarów **impedancji** (rezystancji) pętli zwarciowej głównie w sieciach TN może być stosowana:

— metoda techniczna (woltomierza i amperomierza) lub – co częściej ma zastosowanie

— metoda sztucznego zwarcia z wykorzystaniem odpowiednich przyrządów pomiarowych.

Układ pomiarowy do pomiaru impedancji pętli zwarcia przedstawiono na rys. 1.3.12.



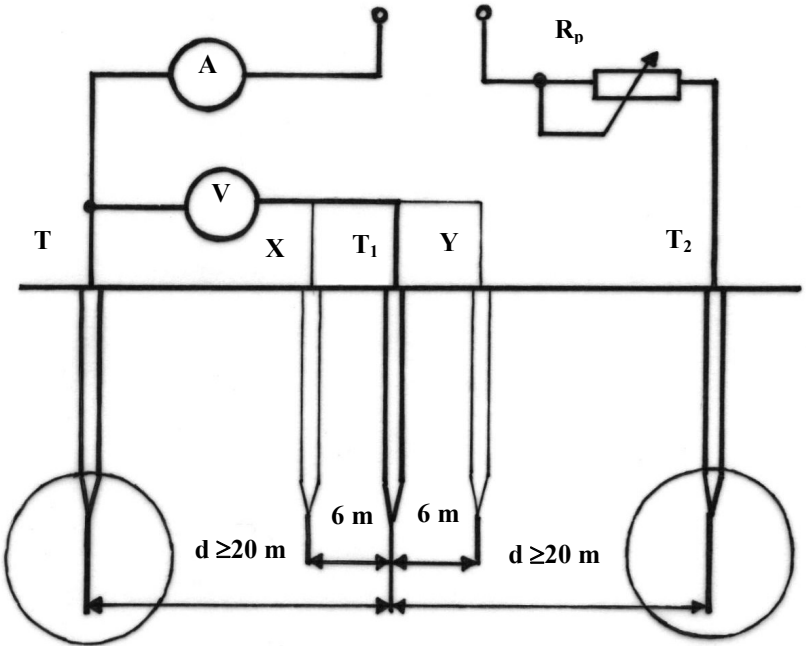
Rys. 1.3.12. Schemat układu pomiarowego do pomiaru impedancji pętli zwarcia;
Z – impedancja ograniczająca prąd, W – wyłącznik, V – woltomierz, A – amperomierz,
I_n – prąd znamionowy wkładek bezpiecznikowych.

Pomiary rezystancji uziemień mogą być wykonane:

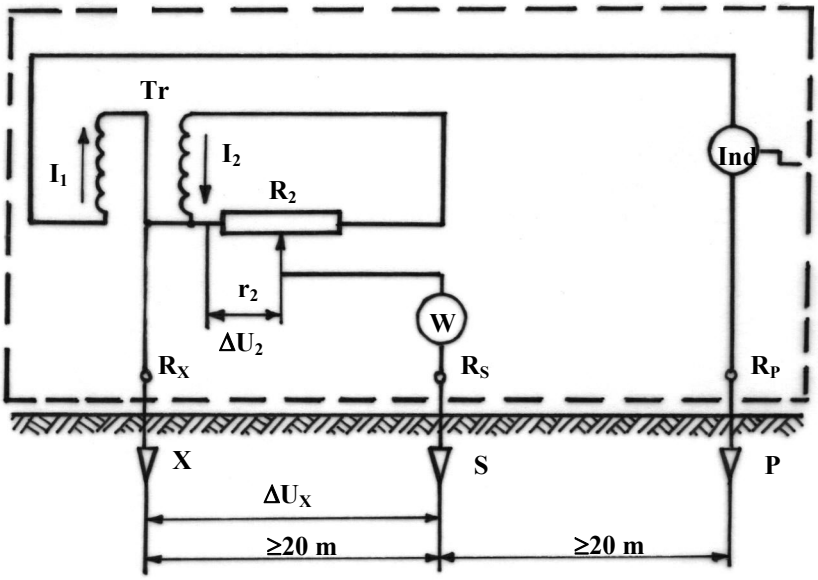
— metodą techniczną lub

— metodą kompensacyjną (np. za pomocą induktorowego miernika uziemienia IMU).

Układ pomiarowy do pomiaru rezystancji uziemienia metodą techniczną przedstawiono na rys. 1.3.13, natomiast układ do metody kompensacyjnej na rys. 1.3.14.



Rys. 1.3.13. Schemat układu do pomiaru rezystancji uziemienia metodą techniczną.
T – uziom badany, T_1 i T_2 – sondy pomiarowe (prądowa i napięciowa), X, Y – miejsca przemieszczania sondy napięciowej T2, R_p – opornik ograniczający prąd.



Rys. 1.3.14. Schemat układu do pomiaru rezystancji uziemienia metodą kompensacyjną (za pomocą miernika IMU).
R_x, R_s, R_p – oznaczenia zacisków miernika, X – uziom badany, S – sonda napięciowa, P – sonda prądowa, Ind – prądnica induktorowa, Tr – transformator, R_2 – rezystor pomiarowy, W – wskaźnik skompensowania spadków napięcia na uziomie badanym ΔU_x i na rezystorze pomiarowym ΔU_2, I_1, I_2 – prąd pierwotny i wtórny transformatora.

Przy pomiarach uziemień należy dokonać przemnożenia zmierzonej rezystancji uziemienia przez współczynnik K_p o wartościach podanych w tabeli 1.3.10, uwzględniający warunki przeprowadzenia pomiarów i stopień nawilgocenia gruntu.

Tabela 1.3.10

Rodzaj uziomu	Rozmiar uziomu	Zmierzona rezystywność gruntu Ω · m	Współczynnik K_P grunt w czasie pomiarów		
			suchy[1]	wilgotny[2]	mokry[3]
Uziom poziomy[4]	$l < 30$ m	dowolna	1,4	2,2	3,0
Uziom kratowy[4]	$S_E < 900$ m²	$\rho \le 200$	1,3	1,8	2,4
		$\rho > 200$	1,4	2,2	3,0
	$S_E \ge 900$ m²	$\rho \le 200$	1,1	1,3	1,4
		$\rho > 200$	1,2	1,6	2,0
Uziom pionowy	$l = 2{,}5 \div 5$ m	dowolna	1,2	1,6	2,0
	$l > 5$ m	dowolna	1,1	1,2	1,3

[1] W okresie od czerwca do września (włącznie) z wyjątkiem trzech dni po długotrwałych opadach.
[2] Poza okresem zaliczanym do [1], z wyjątkiem trzech dni po długotrwałych opadach lub stopieniu się śniegu.
[3] W ciągu trzech dni po długotrwałych opadach lub stopieniu się śniegu.
[4] Głębokość ułożenia uziomu od 0,6 do 1 m.

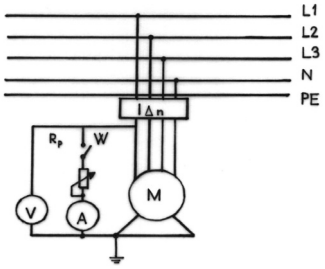
Dla sprawdzenia skuteczności ochrony poprzez samoczynne wyłączenie zasilania przy zastosowaniu jako urządzeń ochronnych urządzeń przetężeniowych (wkładek bezpiecznikowych, wyłączników nadmiarowych lub wyzwalaczy elektromagnetycznych) należy:

1) ustalić dane znamionowe urządzeń ochronnych,
2) określić wartości prądów wyłączalnych urządzeń zabezpieczających dla wymaganego czasu wyłączenia na podstawie charakterystyk podanych przez producentów,
3) określić na podstawie pomiarów wartości impedancji (rezystancji) pętli zwarcia lub rezystancji uziemienia,
4) sprawdzić spełnienie warunków skuteczności podanych w rozdziale 1.3.3.6.3 dla poszczególnych układów sieciowych.

Dla sprawdzenia skuteczności ochrony poprzez **samoczynne wyłączenie zasilania** przy zastosowaniu urządzeń ochronnych różnicowoprądowych należy:

1) ustalić dane znamionowe wyłącznika różnicowoprądowego,
2) zmierzyć impedancję pętli zwarcia w sieci TN lub rezystancję uziemienia w sieci TT i IT,
3) ustalić, czy zmierzona impedancja lub rezystancja są mniejsze od wymaganych dla zadziałania wyłącznika,
4) zmierzyć prąd zadziałania wyłącznika różnicowoprądowego i czas jego zadziałania,
5) sprawdzić spełnienie warunków skuteczności ochrony podanych w rozdziale 1.3.3.6.3.

Układ do badania prądu zadziałania wyłącznika różnicowoprądowego pokazano na rys. 1.3.15.



Rys. 1.3.15. Schemat układu do pomiaru prądu zadziałania wyłącznika różnicowoprądowego.
$I_{\Delta n}$ – wyłącznik różnicowoprądowy, R_p – opornik ograniczający prąd,
M – badany obiekt (silnik), V – woltomierz, A – amperomierz.

W celu dokonania badań i pomiarów urządzeń **II klasy ochronności** należy:

a) dokonać sprawdzenia danych znamionowych oraz prawidłowości doboru do warunków otoczenia,
b) przeprowadzić badania izolacji,
c) przeprowadzić próby wytrzymałości elektrycznej izolacji zgodnie z wymaganiami norm przedmiotowych.

W celu dokonania badań i pomiarów ochrony przez **izolowanie stanowiska** należy:

a) sprawdzić, czy odległości między częściami przewodzącymi dostępnymi spełniają wymagania podane w rozdziale 1.3.3.6.3,
b) sprawdzić prawidłowość umieszczenia barier,

c) wykonać pomiary rezystancji izolacji podłóg i ścian stanowiska,

d) dokonać oceny wyników sprawdzenia i pomiarów rezystancji i na ich podstawie ocenić skuteczność ochrony przeciwporażeniowej przez izolowanie stanowiska.

W celu dokonania badań i pomiarów ochrony przez zastosowanie **separacji elektrycznej** należy:

a) obliczyć iloczyn napięcia znamionowego obwodu separowanego i łącznej długości przewodów tego obwodu, który nie powinien przekraczać 100000 Vm,

b) sprawdzić łączną długość przewodów obwodu separowanego, która nie powinna przekraczać 500 m i wartości wynikającej ze wzoru:

$$U \cdot L \leq 100\,000 \text{ [Vm]} \qquad (1.3.10)$$

c) zmierzyć ciągłość i rezystancję nieuziemionych połączeń wyrównawczych,

d) sprawdzić stan przewodów oraz gniazd wtyczkowych,

e) sprawdzić zadziałanie samoczynnego wyłączenia zasilania w przypadku wystąpienia zwarcia podwójnego na różnych odbiornikach,

f) dokonać oceny wyników badań i oceny skuteczności ochrony przez zastosowanie separacji elektrycznej.

W celu dokonania badań i pomiarów ochrony przez zastosowanie **nieuziemionych połączeń wyrównawczych miejscowych** należy:

a) wykonać pomiary ciągłości i pomiary rezystancji nieuziemionych połączeń wyrównawczych,

b) sprawdzić brak połączeń z ziemią części przewodzących dostępnych i części przewodzących obcych,

c) sprawdzić spełnienie warunku podanego wzorem (1.3.8) w rozdz. 1.3.3.6.3,

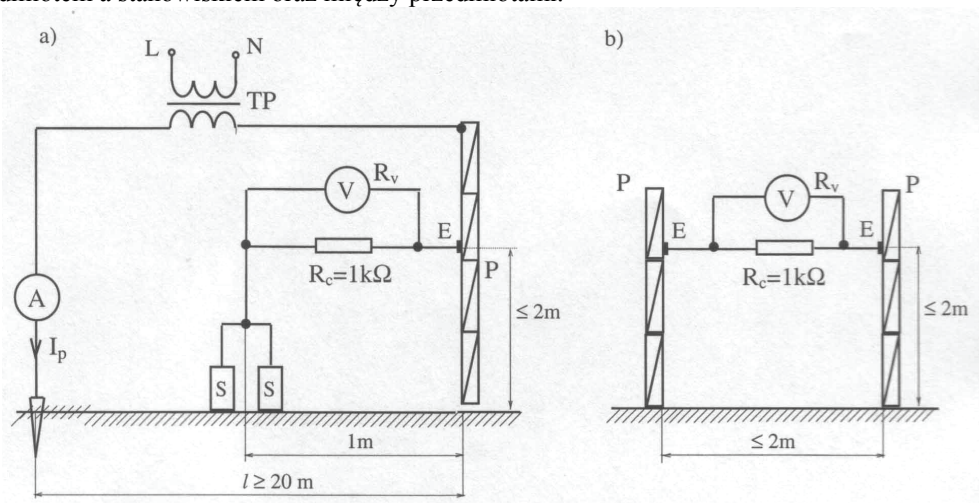
d) dokonać oceny wyników badań i oceny skuteczności ochrony przez zastosowanie nieuziemionych połączeń wyrównawczych miejscowych.

1.3.6.4.3. Badania i pomiary eksploatacyjne w urządzeniach o napięciu powyżej 1 kV.

Odbiorcze i eksploatacyjne badania w urządzeniach wysokiego napięcia wykonuje się zwykle metodą małoprądową modelując zwarcie jednofazowe z ziemią przez badany uziom. Do wykonania badań wymuszamy przepływ prądu pomiarowego I_p o wartości co najmniej 30A.

Do pomiaru rezystancji uziemienia i napięcia uziomowego najczęściej stosuje się metodę techniczną pokazaną na rys. 1.3.13. W przypadku badania układów uziomowych stacji sondę napięciową umieszcza się w odległości nie mniejszej niż 50÷250 m, a sondę prądową w odległości od kilkuset metrów do kilku kilometrów od uziomu stacji (w zależności od wielkości stacji). Do podłączenia sond pomiarowych wykorzystuje się zwykle linie elektroenergetyczne wyprowadzone ze stacji, wyłączone z eksploatacji na czas wykonywania pomiarów.

Na rys. 1.3.16 przedstawiono schematy układów pomiarowych do pomiaru napięć dotykowych rażeniowych między przedmiotem a stanowiskiem oraz między przedmiotami.



Rys. 1.3.16. Schematy układów pomiarowych do pomiaru napięcia dotykowego rażeniowego:
a) między przedmiotem a stanowiskiem, b) między dwoma przedmiotami;
R_c – opornik modelowy, S – elektroda stykająca się ze stanowiskiem, V- woltomierz o rezystancji wewnętrznej R_v, A – amperomierz, E – elektroda stykająca się z przedmiotem P, TP – transformator pomiarowy.

W skład układów pomiarowych wchodzą:

a) opornik R_c, modelujący rezystancję ciała człowieka o wartości równej 1000 Ω dla czasów trwania rażenia $t_r < 1$ s i 1500 Ω dla $t_r > 1$ s;

b) woltomierz V o rezystancji wewnętrznej nie mniejszej niż 100 kΩ;

c) dwie metalowe elektrody pomiarowe S, każda o powierzchni po 200 cm^2 dociskane do podłoża siłą 200 N;

d) elektrody metalowe E, każda o powierzchni styku z przedmiotem równej 100 cm^2, dociskane do przedmiotu siłą 50 N.

Podczas wykonywania pomiaru napięcia dotykowego rażeniowego między przedmiotem a stanowiskiem, elektrody S powinno się umieścić na stanowisku w odległości poziomej 1 m od przedmiotu, w sposób pokazany na rys. 1.3.16a. Woltomierz V mierzy napięcie na oporniku R_c, połączonym z elektrodami S i z elektrodą E.

Napięcie dotykowe rażeniowe między przedmiotami powinno się mierzyć na oporniku R_c, połączonym z elektrodami E (rys. 1.3.16b).

Przy wykonywaniu pomiarów napięć rażeniowych powinno się uwzględnić stan i rodzaj stanowiska. W szczególności dla stanowiska lub powierzchni, które podczas eksploatacji mogą być wilgotne lub mokre, powinno się je przed pomiarem zmoczyć wodą.

Przy pomiarach napięcia dotykowego korzysta się z układów pokazanych na rys. 1.3.16, z tym że pomiar wykonywany jest dla rezystancji $R_c = 1$ kΩ, czyli po wyłączeniu opornika R_c.

W przypadku zwarć jednofazowych spodziewane wartości napięcia uziomowego U_z oraz wartości napięć dotykowych oblicza się mnożąc wartości zmierzone przez współczynnik:

$$k = \frac{r \cdot I''_{k1}}{I_p} \qquad (1.3.11)$$

gdzie:

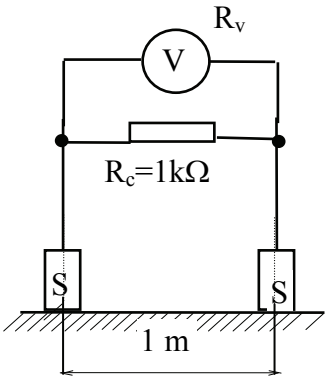
I''_{k1} – spodziewany największy prąd jednofazowego zwarcia doziemnego,

I_p – prąd pomiarowy

r – współczynnik redukcyjny.

Wynik pomiaru uważa się za pozytywny, jeżeli w ten sposób obliczone napięcie nie przekracza wartości dopuszczalnych określonych przepisami dla wszystkich miejsc występowania zagrożenia porażeniowego.

Układ pomiarowy do pomiaru napięcia krokowego pokazany jest na rys. 1.3.17.



Rys. 1.3.17. Schemat układu do pomiaru napięcia krokowego.

R_c – opornik modelowy, V – woltomierz o rezystancji wewnętrznej R_v, S – elektroda stykająca się ze stanowiskiem

W układzie tym wykorzystuje się te same elektrody pomiarowe S co przy pomiarach napięć rażeniowych dotykowych i napięć dotykowych. Identyczne jak wyżej wymagania dotyczą opornika R_c i woltomierza V.

Wykaz rysunków zamieszczonych w rozdziale.

Rys. 1.3.1. Schematy układów sieciowych.
Rys. 1.3.2. Przykłady obwodów SELV, PELV i FELV.
Rys. 1.3.3. Strefy zasięgu ręki.
Rys. 1.3.4. Schemat wyłącznika różnicowoprądowego o działaniu bezpośrednim.
Rys. 1.3.5. Przykład układu TN-C-S z zastosowaniem odbiorników I klasy ochronności.
Rys. 1.3.6. Charakterystyki czasowo-prądowe wkładek topikowych stacyjnych niskiego napięcia.
Rys. 1.3.7. Charakterystyki czasowo-prądowe wyłączników nadprądowych.
Rys. 1.3.8. Przykład sieci TT.

Rys. 1.3.9. Przykłady układów IT:
Rys. 1.3.10. Zasada działania połączeń wyrównawczych.
Rys. 1.3.11. Przewody wyrównawcze (CC) w przypadku zastosowania separacji elektrycznej.
Rys. 1.3.12. Schemat układu pomiarowego do pomiaru impedancji pętli zwarcia.
Rys. 1.3.13. Schemat układu do pomiaru rezystancji uziemienia metodą techniczną.
Rys. 1.3.14. Schemat układu do pomiaru rezystancji uziemienia metodą kompensacyjną (za pomocą miernika IMU).
Rys. 1.3.15. Schemat układu do pomiaru prądu zadziałania wyłącznika różnicowoprądowego.
Rys. 1.3.16. Schematy układów pomiarowych do pomiaru napięcia dotykowego rażeniowego:
Rys. 1.3.17. Schemat układu do pomiaru napięcia krokowego.

Wykaz tabel zamieszczonych w rozdziale.

Tab. 1.3.1. Przekrój przewodu ochronnego w zależności od przekroju przewodów fazowych.
Tab. 1.3.2. Przekroje poprzeczne przewodów wyrównawczych głównych i dodatkowych.
Tab. 1.3.3. Rodzaje ochron i środków ochrony przeciwporażeniowej w urządzeniach niskiego napięcia.
Tab. 1.3.4. Wartości napięć bezpiecznych U_L.
Tab. 1.3.5. Maksymalny czas wyłączenia w układzie TN.
Tab. 1.3.6. Maksymalne dopuszczalne czasy wyłączenia w układzie IT (przy podwójnym zwarciu doziemnym).
Tab. 1.3.7. Klasy ochronności urządzeń elektrycznych.
Tab. 1.3.8. Zalecane czasokresy pomiarów eksploatacyjnych urządzeń i instalacji elektrycznych.
Tab. 1.3.9. Wymagane napięcia probiercze oraz minimalne wartości rezystancji izolacji.
Tab. 1.3.10. Wartości współczynnika poprawkowego K_p.