

7. OCHRONA PRZECIWPORAŻENIOWA ¹

7.1. POJĘCIA I WIELKOŚCI ZWIĄZANE Z NIEBEZPIECZEŃSTWEM PORAŻENIA PRĄDEM ELEKTRYCZNYM

Zdolność do przewodzenia prądu elektrycznego przez organizmy żywe jest ich cechą fizjologiczną. W żywych tkankach (ludzkich, zwierzęcych i niektórych roślinnych) znajdują się różnego rodzaju jony. W stanach czynnościowych, w związku ze zmianami stężeń jonów dodatnich i ujemnych po obu stronach błony komórkowej, występują krótkotrwałe wahnięcia potencjałów błonowych i pojawiają się tzw. prądy czynnościowe. Poznanie charakteru prądów czynnościowych w komórkach różnych narządów organizmu człowieka pozwala na leczenie schorzeń metodami elektroterapii. Polegają one na ingerencji w działanie narządów człowieka, wymuszającej w jego organizmie przepływ prądu elektrycznego, odpowiednio uformowanego za pomocą specjalnych urządzeń.

W codziennych kontaktach ludzi i zwierząt z urządzeniami elektrycznymi, naturalna zdolność żywych organizmów do przewodzenia prądu elektrycznego nie jest jednak czynnikiem korzystnym. W razie zetknięcia się ciała człowieka lub zwierzęcia z przedmiotami przewodzącymi o różnych potencjałach elektrycznych, może dojść do porażenia prądem.

Przez porażenie prądem elektrycznym rozumie się skutki patofizjologiczne, wywołane przepływem prądu rażeniowego, tzn. prądu, który przepływając przez ciało człowieka lub zwierzęcia może powodować tego rodzaju skutki. Wypada rozwiązać otoczkę tajemniczości, powstałą - w związku z tymi definicjami - wokół „skutków patofizjologicznych”, wyjaśniając za encyklopedią, że chodzi o „zespół objawów cechujący się zaburzeniami ośrodkowego układu nerwowego (utrata przytomności, drgawki), niekiedy zatrzymaniem czynności oddechu i serca oraz oparzeniami”.

Ludziom i zwierzętom, przebywającym w pobliżu urządzeń elektrycznych, grozi więc porażenie prądem elektrycznym, z czego chyba każdy doskonale zdaje sobie sprawę. Mało kto jednak zwraca uwagę na to niebezpieczeństwo, gdy używa nie w pełni sprawnego sprzętu elektrycznego lub korzysta ze znajdującej się w złym stanie instalacji. Statystyki mówią, że wypadki porażenia prądem elektrycznym zdarzają się najczęściej z powodu tego rodzaju zaniedbań.

Aby ograniczyć niebezpieczeństwo porażenia prądem elektrycznym lub złagodzić skutki ewentualnych - związanych z nim - wypadków, stosuje się odpowiednie środki techniczne i organizacyjne. Ich zadaniem jest niedopuszczenie do zetknięcia się ciała człowieka lub zwierzęcia z przewodami sieci roboczej o niebezpiecznym napięciu i z metalowymi częściami urządzenia, na których może się pojawić niebezpieczne napięcie, albo ograniczenie prądu rażeniowego i czasu rażenia (tzn. czasu przepływu prądu rażeniowego) do wartości niezagrażających życiu i zdrowiu.

¹ Literatura do tego rozdziału: [7, 10, 12, 23, 24].

Reakcja organizmu ludzkiego na przepływ prądu rażeniowego zależy od:

- częstotliwości prądu rażeniowego,
- natężenia prądu rażeniowego,
- drogi przepływu prądu rażeniowego,
- czasu rażenia,
- indywidualnych cech biologicznych organizmu,
- psychicznego „przygotowania” osobnika na możliwość porażenia prądem (zapobieżenie psychofizycznym skutkom zaskoczenia).

Najmniejszą odporność wykazuje organizm ludzki na prąd o częstotliwości 15 ÷ 100 Hz, w którym to zakresie mieszczą się częstotliwości sieciowe (elektroenergetyczne 50 i 60 Hz oraz obniżone trakcyjne 16 ²/₃ Hz). Objawami rażenia przy tych wartościach częstotliwości, częściej niż przy innych, są skurcze w mięśniach i migotanie komór sercowych (fibrylacja). Reakcje organizmu w rodzaju: mrowienie w rękach, stopniowe drętwienie, skurcze i sztywnienie rąk, bolesne skurcze ramion, klucie na powierzchni rąk - pozwalają zazwyczaj jeszcze na samodzielne uwolnienie się spod napięcia. Reakcje typu: trudności oddychania czy niemiarowość bicia serca, jeśli nie trwają dłużej niż kilkanaście sekund - nie powinny również zagrażać zdrowiu i życiu poszkodowanego (choć na ogół uniemożliwiają mu „samouwolnienie”). Prawdziwe niebezpieczeństwo dla zdrowia i życia człowieka rażonego prądem elektrycznym pojawia się z chwilą: zahamowania akcji serca, migotania komór sercowych, zatrzymania oddechu lub utraty przytomności (niektóre z tych reakcji mogą mieć związek z wystąpieniem szoku wywołanego zaskoczeniem, lecz to wcale nie zmniejsza zagrożenia).

Znane są orientacyjne wartości prądu rażeniowego o częstotliwości 50 lub 60 Hz, przy których występują wymienione objawy u dorosłej osoby o dobrym stanie zdrowia. Przy czasie rażenia dłuższym niż 0,2 s :

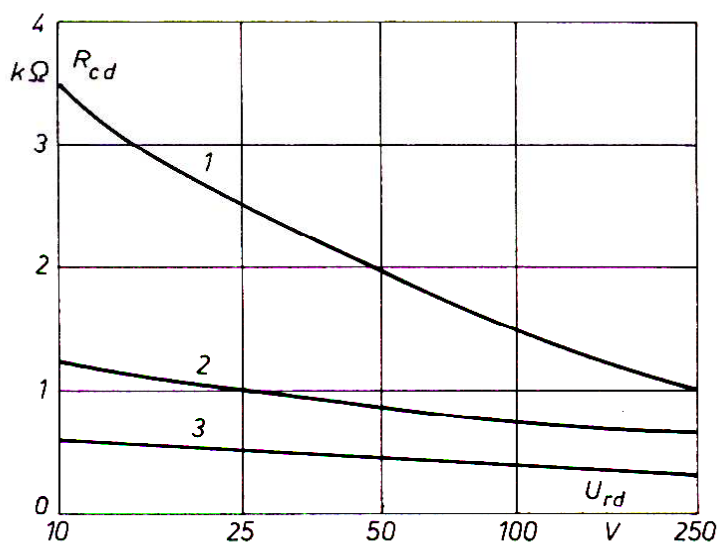
- próg odczuwania stanowi prąd rażeniowy o wartości około 1 mA,
- skurcze mięśni pojawiają przy 10 ÷ 15 mA,
- migotanie komór sercowych - przy 60 ÷ 75 mA.

Prąd stały działa na organizm ludzki 2 ÷ 4 razy słabiej niż prąd o częstotliwości 50 Hz, jeśli za kryterium porównania przyjmie się graniczne wartości prądu rażeniowego wywołujące podobne objawy. Trudno jednak o dokładne porównanie, bo w początkowym okresie czasu rażenia prądem przemiennym dominuje uczucie mrowienia, zaś prądem stałym - gorąca. Mniej więcej taką samą odporność jak na prąd stały wykazuje organizm ludzki na prąd o częstotliwości 10 kHz. Prąd ten działa przede wszystkim powierzchniowo (słabo przenika w głąb tkanek).

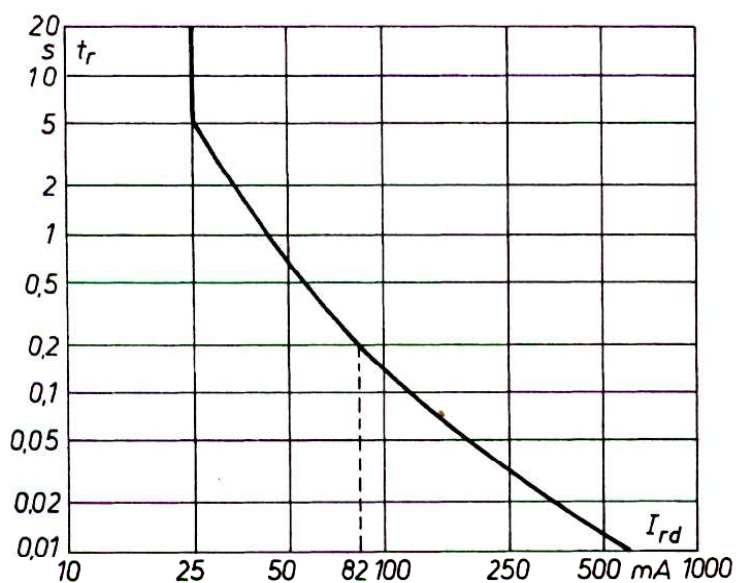
Warto jeszcze wspomnieć o zagrożeniach zdrowia i życia człowieka nie wywołanych bezpośrednio przez prąd rażeniowy. Odruchowe reakcje na porażenie, a przy prądzie stałym - dodatkowo „odrzucanie” rażonego od części znajdujących się pod napięciem, stwarzają niebezpieczeństwo doznania urazów mechanicznych wskutek upadku (np. z drabiny). Wyładowania łukowe powstające przy zwarcjach w sieciach o dużych mocach zwarciovych mają charakter eksplozji (prądy rzędu dziesiątek kA) i nawet w krótkim czasie mogą wywołać oparzenia skóry oraz uszkodzenia cieplne i świetlne narządu wzroku u każdego, kto znajdzie się w pobliżu.

Na wartość prądu rażeniowego mają wpływ napięcia i impedancje występujące w obwodzie rażeniowym, w tym - rezystancja ciała ludzkiego na drodze przepływu tego prądu. Rezystancja ciała w niewielkim stopniu zależy od drogi przepływu prądu; o jej

wartości decyduje przede wszystkim stan naskórka i wysokość napięcia rażeniowego (tzn. napięcia wzdłuż drogi przepływu prądu w ciele). Na rysunku 7.1. przedstawiono zależności rezystancji ciała R_{cd} przeciętnego osobnika o wadze około 50 kg - od napięcia rażeniowego dotykowego U_{rd} (przepływ prądu rażeniowego na drodze ręka-ręka lub ręka-stop) o częstotliwości 50 Hz, przy różnych granicznych stanach wilgotności naskórka. Wytrzymałość naskórka na przebicie wynosi około 300 ÷ 350 V, a ciało z uszkodzonym naskórkiem ma małą rezystancję (rzędu 200 ÷ 500 Ω - w zależności od rodzaju i natężenia prądu rażeniowego). Nakazuje to stawiać szczególne ostre wymagania ochronie przeciwporażeniowej w urządzeniach o napięciu znamionowym wyższym od 1 kV.



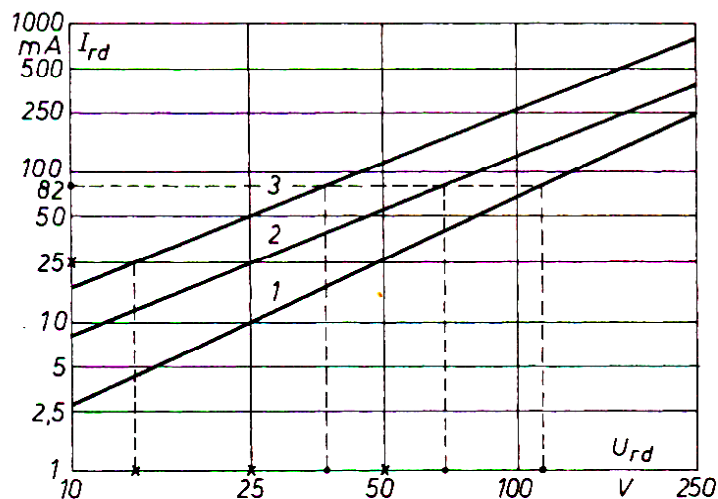
Rys. 7.1. Zależność rezystancji ciała ludzkiego od napięcia dotykowego o częstotliwości 50 Hz, przy różnych granicznych stanach wilgotności naskórka (wg IEC): 1 - skóra pokryta potem, 2 - skóra mokra, 3 - ciało zupełnie lub częściowo zanurzone w wodzie



Rys. 7.2. Zależność granicznych czasów rażenia od prądów rażeniowych przy dotyku (opracowana na podstawie danych IEC)

Na rysunku 7.2 przedstawiono zależność granicznych czasów rażenia t_r od prądów rażeniowych przy dotyku I_{rd} , odpowiadającą występowaniu pierwszych, groźnych dla zdrowia, różnego rodzaju reakcji organizmu (uniemożliwiających „samouwolnienie”, z pierwszymi objawami migotania komór sercowych przy długotrwałym działaniu prądu) u osobnika reprezentatywnego o wadze 50 kg, przy napięciu przemiennym o częstotliwości 50 Hz. Zgodnie z tą krzywą:

- rażenia uważa się za krótkotrwałe, jeśli ich czas nie przekracza 5 s,
- dopuszczalny długotrwałe prąd rażeniowy ma wartość 25 mA,
- występującemu często czasowi wyłączania zwarc, równemu 0,2 s, odpowiada dopuszczalny prąd rażeniowy równy 82 mA.

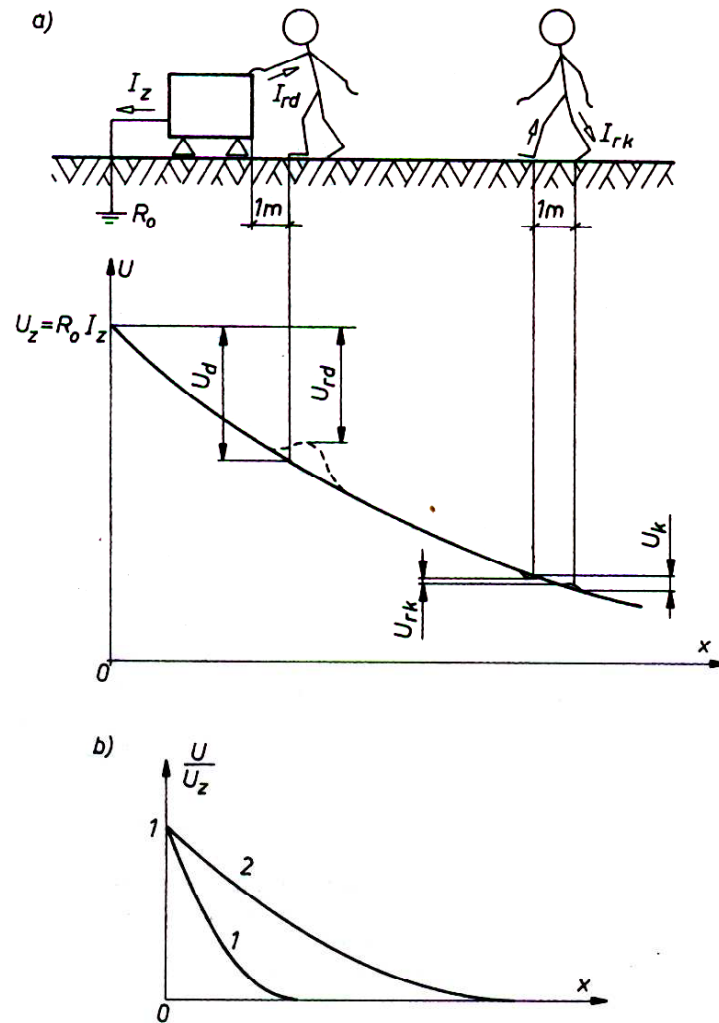


Rys. 7.3. Zależność prądu rażeniowego od napięcia rażeniowego przy dotyku dla granicznych stanów wilgotności naskórki: 1, 2, 3 - jak na rys. 7.1

Prądom $I_{rd} = 25$ mA i 82 mA odpowiadają - na rysunku 7.3 - dopuszczalne, długotrwałe i krótkotrwałe, wartości napięć rażeniowych U_{rd} , dotyczące różnych stanów wilgotności naskórki. Zależności $I_{rd} = f(U_{rd})$ uzyskano z wykresów, pokazanych na rys. 7.1, po zamianie zmiennej na osi rzędnych z R_{cd} na $I_{rd} = U_{rd}/R_{cd}$.

Rażenie prądem może pochodzić od napięć dotykowych i krokowych, które występują przy zwarcjach doziemnych (rys. 7.4), albo od napięć dotykowych równych roboczym - w wypadku bezpośredniego dotknięcia dwóch przewodów roboczych sieci (instalacji) elektrycznej. Ostatni przypadek jest najgroźniejszy, lecz „nieciekawy” z punktu widzenia ochrony przeciwporażeniowej.

Jeśli izolacja między przewodami roboczymi a obudową urządzenia elektrycznego jest uszkodzona, to płynie prąd doziemny I_z i pojawiają się napięcia: dotykowe U_d i krokowe U_k . Największa wartość napięcia dotykowego występuje między jego obudową a powierzchnią ziemi (przewodzącym podłożem), w odległości 1 m (rys. 7.4a), równej w przybliżeniu rozpiętości kroku albo długości wyciągniętej ręki. Wartość napięcia krokowego, tj. napięcia występującego między dwoma punktami na powierzchni ziemi (przewodzącego podłoża), określa się dla człowieka - między punktami oddległymi o 1 krok, czyli o około 1 m (rys. 7.4a), zaś dla dużych zwierząt - między punktami bardziej oddalonymi, liczy się bowiem rozstaw między ich przednimi i tylnymi kopytami. Rozkład napięcia na powierzchni ziemi przy zwarciu doziemnym zależy od wysokości napięcia sieci - przy wyższym jest bardziej płaski (rys. 5.4b).

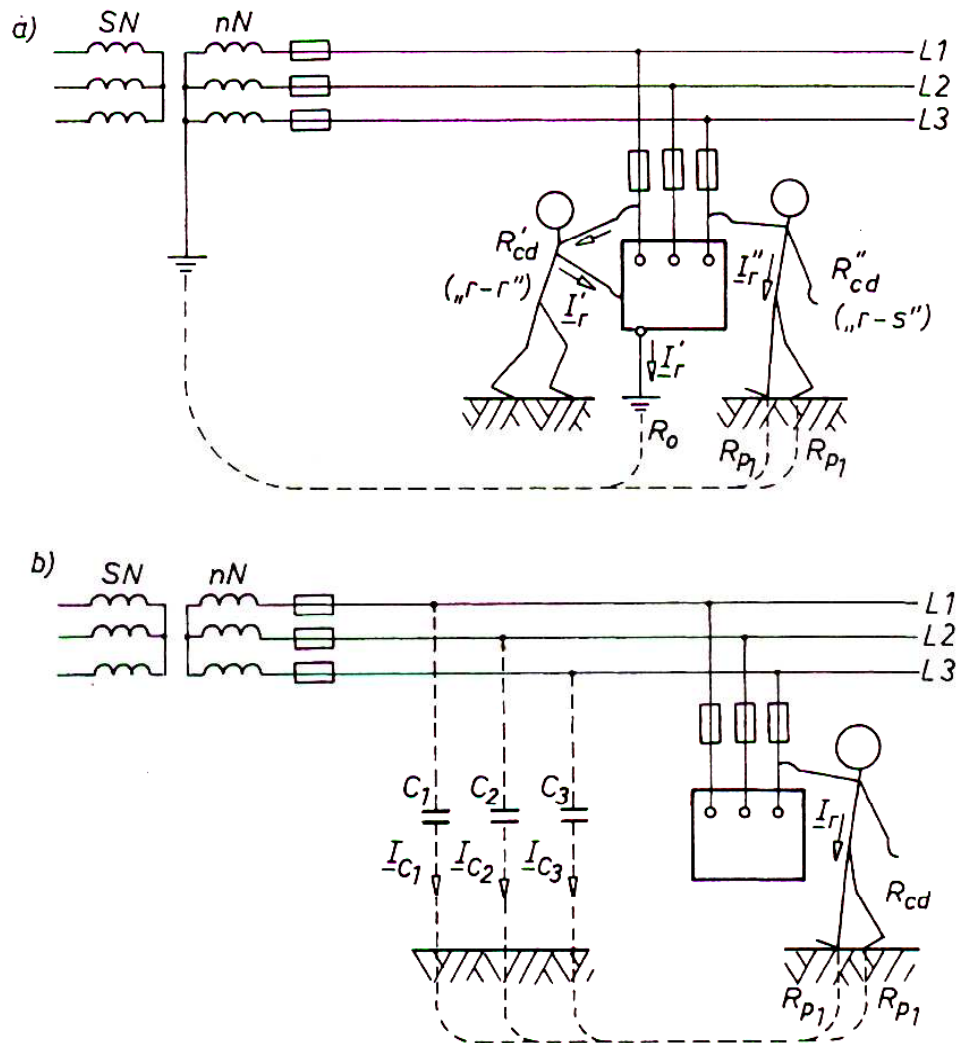


Rys. 7.4. Rozkład napięcia na powierzchni ziemi (względem potencjału „ziemi odległej”) przy prądzie zwarciovym I_z jako funkcja odległości x od uziomu: a) ilustracja napięć dotykowych i krokowych, b) krzywe 1 i 2 - rozkładu napięcia względnego - odnoszące się do urządzeń o napięciach znamionowych, odpowiednio do 1 kV i powyżej 1 kV

Ze względu na występowanie rezystancji przejścia między stopą człowieka a ziemią (R_{pl} - rys. 7.5 i 7.6), napięcia dotykowe są większe od odpowiadających im napięć rażeniowych dotykowych, zaś napięcia krokowe - od odpowiadających im napięć rażeniowych krokowych (U_d od U_{rd} i U_k od U_{rk} - rys. 7.4a).

W przypadku urządzeń niskiego napięcia napięć krokowych się nie rozważa, bo powstające wskutek nich prądy rażeniowe nie są groźne.

Ogólnie, napięcie dotykowe jest to napięcie, jakie może się pojawić między dwoma punktami elementów przewodzących, z którymi stykają się jednocześnie ręce lub ręka i stopa człowieka (rys. 7.5 i 7.6), ewentualnie kończyny lub głowa i kończyny zwierzęcia. Jeśli przynajmniej jeden z punktów tego zetknięcia należy do obwodu prądu roboczego, czyli do „części czynnych” instalacji elektrycznej, to występuje tzw. „dotyk bezpośredni” (rys. 7.5), jeśli natomiast żaden z punktów zetknięcia nie należy do obwodu prądu roboczego, tylko do „części przewodzących dostępnych” (części instalacji elektrycznej niebędących częściami czynnymi) lub „części przewodzących obcych” (części niebędących częściami instalacji elektrycznej), to występuje tzw. „dotyk pośredni” (rys. 7.6).

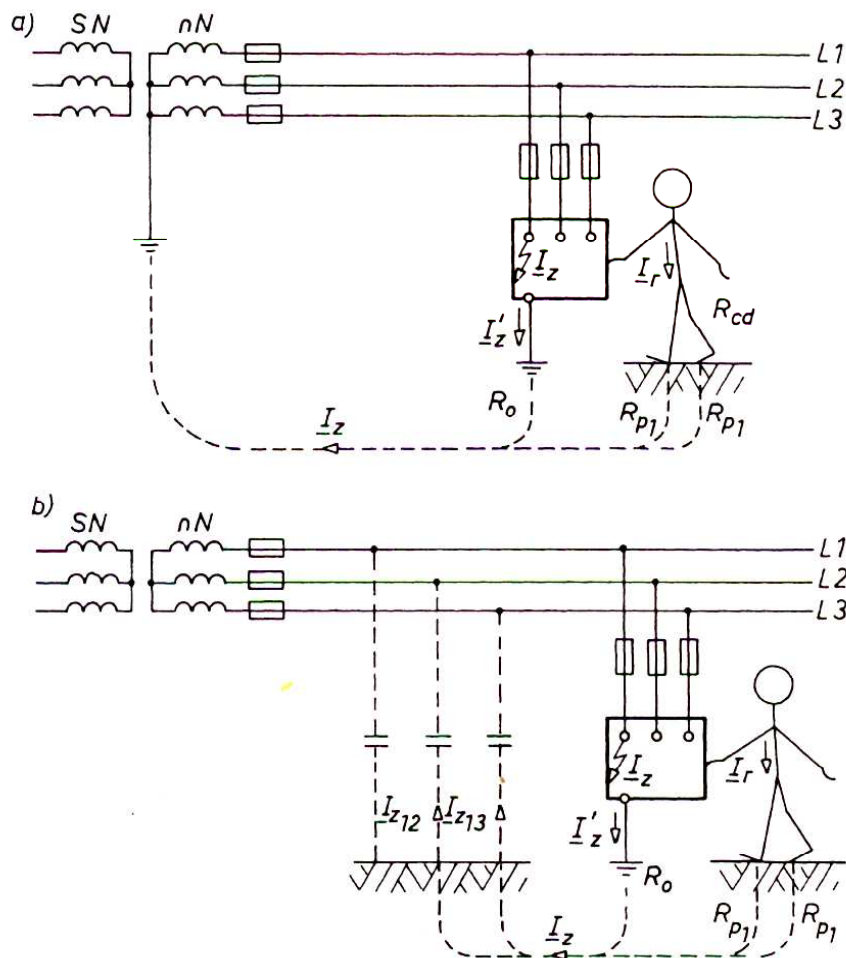


Rys. 7.5. Przepływ prądu rażeniowego w przypadku dotknięcia przewodu roboczego w sieci o punkcie neutralnym: a) uziemionym („r-r” - przy równoczesnym dotknięciu uziemionej osłony odbiornika, „r-s” - bez dotknięcia osłony), b) izolowanym (I_{C1} , I_{C2} , I_{C3} - prądy doziemne pojemnościowe); L1, L2, L3 - przewody fazowe

Podane wyżej terminy pochodzą z normy, gdzie „części czynne”, „części przewodzące dostępne” i „części przewodzące obce” mają wspólną nazwę „części jednocześnie dostępnych” i są zdefiniowane jako „przewody lub części przewodzące, które mogą być dotknięte jednocześnie przez człowieka lub zwierzę”, zaś napięcie dotykowe jest „napięciem pojawiającym się między częściami jednocześnie dostępnymi w przypadku uszkodzenia izolacji”.

Ewentualną wątpliwość, co do możliwości jednoczesnego dotknięcia przez człowieka określonych części, rozstrzyga definicja „zasięgu ręki” jako „przestrzeni lub obszaru, zawartych między dowolnym punktem powierzchni stanowiska, na którym człowiek stoi lub się porusza, a powierzchnią, którą może dosięgnąć ręką w dowolnym kierunku bez użycia środków pomocniczych”.

Aby zapobiec porażeniom prądem elektrycznym, stosuje się ochronę przed dotykiem bezpośrednim (podstawową) i przed dotykiem pośrednim (dodatkową).



Rys. 7.6. Przepływ prądu zwarcia doziemnego i prądu rażenia owego w przypadku dotknięcia uziemionej osłony urządzenia, przyłączonego do sieci o punkcie neutralnym:
a) uziemionym, b) izolowanym

7.2. ZAKRESY NAPIĘCIOWE I UKŁADY SIECIOWE INSTALACJI ELEKTRYCZNYCH

Ze względu na ochronę przeciwporażeniową w obiektach budowlanych określono:
1) I zakres napięciowy instalacji elektrycznych oraz jego podzakresy i odpowiadające im wartości napięć dotykowych bezpiecznych, 2) II zakres napięciowy instalacji elektrycznych i dotyczące tego zakresu układy sieciowe.

Zakres I (napięć bardzo niskich) obejmuje napięcia do 50 V prądu przemiennego i do 120 V prądu stałego. Dzieli się przy tym na 3 podzakresy wyznaczone przez wartości graniczne: 50, 25 i 12 V przy prądzie przemiennym oraz 120, 60 i 30 V przy prądzie stałym. Napięcia I zakresu stosuje się w instalacjach, w których:

- ochrona przed porażeniem elektrycznym zapewniona jest, pod pewnymi warunkami, przez określoną wartość napięcia (bardzo niskie napięcie bezpieczne SELV, z ang. *Safety Extra-Low Voltage* - w obwodach izolowanych od ziemi; bardzo niskie napięcie ochronne PELV, z ang. *Protection Extra-Low Voltage* - w obwodach uziemionych),

- napięcie jest ograniczone ze względów funkcjonalnych, lecz obwód nie jest dostatecznie izolowany w stosunku do obwodu wyższego napięcia, np. uzwojenia pierwotnego transformatora (bardzo niskie napięcie funkcjonalne FELV, z ang. *Functional Extra-Low Voltage*, którego wartości muszą być odpowiednie do zasilania np. instalacji telekomunikacyjnej, sygnalizacyjnej, dzwonekowej, sterowniczej czy alarmowej).

Podane wyżej graniczne wartości napięcia podzakresów zakresu I, określają napięcia dotykowe bezpieczne U_L , tj. najwyższe dopuszczalne wartości napięcia dotykowego, które może się długotrwale utrzymywać w określonych warunkach otoczenia.

Napięcie dotykowe bezpieczne U_L ma więc następujące wartości:

- 1) 50 V prądu przemiennego i 120 V prądu stałego - w normalnych warunkach środowiskowych;
- 2) 25 V prądu przemiennego i 60 V prądu stałego - w warunkach o zwiększonym niebezpieczeństwie porażenia prądem elektrycznym;
- 3) 12 V prądu przemiennego i 30 V prądu stałego - w warunkach skrajnie niebezpiecznych ze względu na możliwość porażenia prądem elektrycznym.

Zakres II (napięć powszechnie stosowanych) obejmuje napięcia od 50 do 1000 V - przy prądzie przemiennym, oraz od 120 do 1500 V - przy prądzie stałym. W obwodach uziemionych obowiązuje dodatkowo ograniczenie napięć przemiennych między fazami i ziemią - do 600 V, oraz napięć stałych między biegunami i ziemią - do 900 V. Napięcia zakresu II stosuje się w instalacjach systemów powszechnego zasilania, do których zalicza się trójfazowe układy sieciowe TN, TT, IT i obwody separowane.

Używając tradycyjnych, obecnie nie zalecanych nazw: „zerowanie”, „uziemienie ochronne” i „sieć ochronna”, można ww. trójfazowe układy sieciowe określić następująco:

TN - układ z zerowaniem,

TT - układ z uziemieniem ochronnym w sieci zasilającej o uziemionym punkcie neutralnym,

IT - układ z uziemieniem ochronnym lub z siecią ochronną, w sieci zasilającej o izolowanym punkcie neutralnym.

Litery występujące w symbolach układów tłumaczy się następująco:

T - uziemienie punktu neutralnego sieci zasilającej (na pierwszej pozycji) lub części podlegających ochronie (na drugiej pozycji),

I - izolowanie od ziemi wszystkich przewodów roboczych, co nie wyklucza istnienia iskiernika (tzw. uziemienie otwarte) lub dużej impedancji między punktem neutralnym i uziomem roboczym sieci zasilającej,

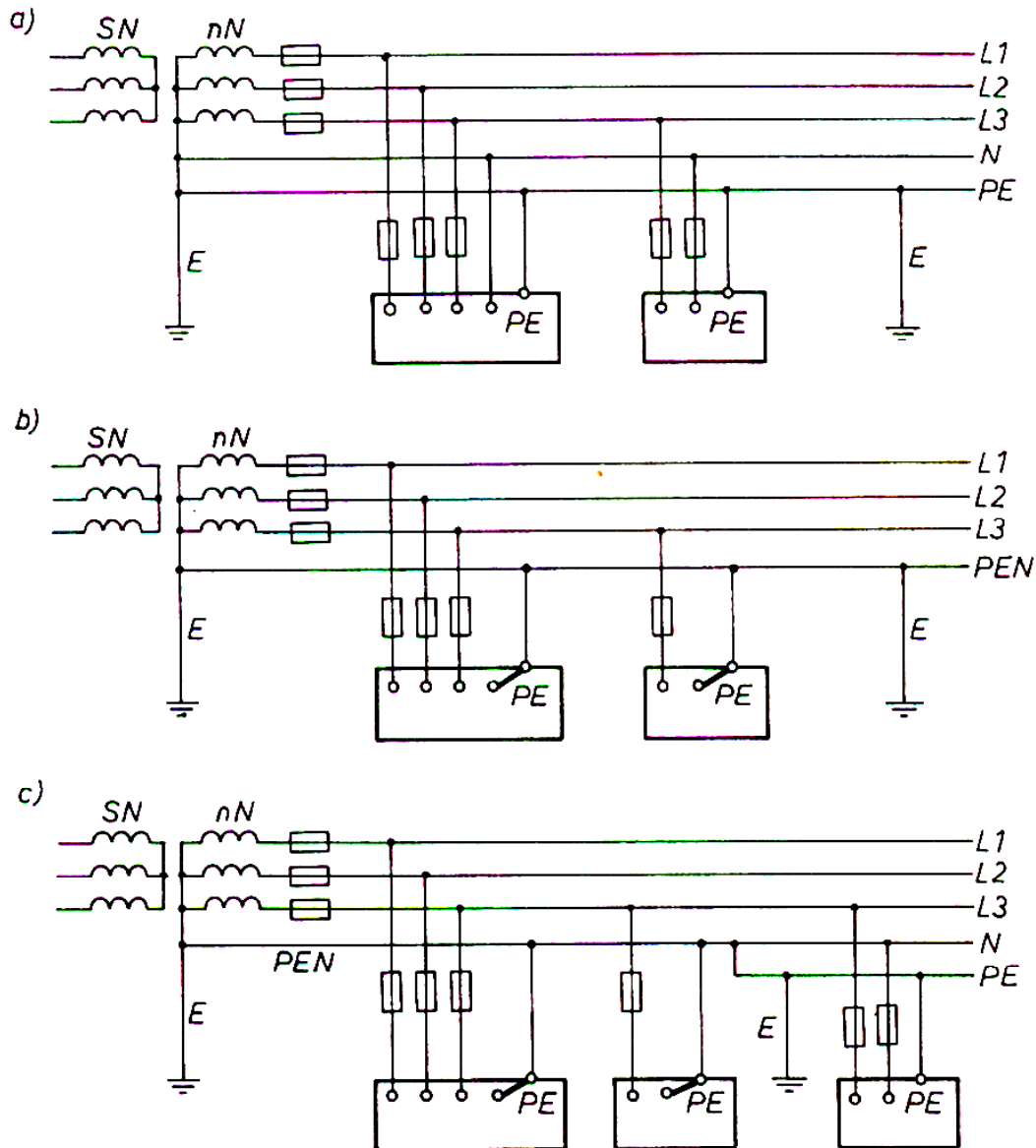
N - połączenie metaliczne części podlegających ochronie, z punktem neutralnym sieci zasilającej, za pomocą sieciowego przewodu ochronnego PE lub ochronno-neutralnego PEN.

Układ sieciowy TN („zerowanie”) charakteryzuje się tym, że przewodzące obudowy odbiorników elektrycznych mają połączenie metaliczne z uziomem roboczym i połączonymi z nim dodatkowymi uziemieniami przewodu ochronnego.

Układ TN występuje w trzech rozwiązaniach pokazanych na rys. 7.7:

- a) TN-S, w którym przewody PE i N są od siebie odseparowane,
- b) TN-C, w którym przewód PEN łączy funkcje PE i N,
- c) TN-C-S, w którym układ TN-C przechodzi częściowo w TN-S.

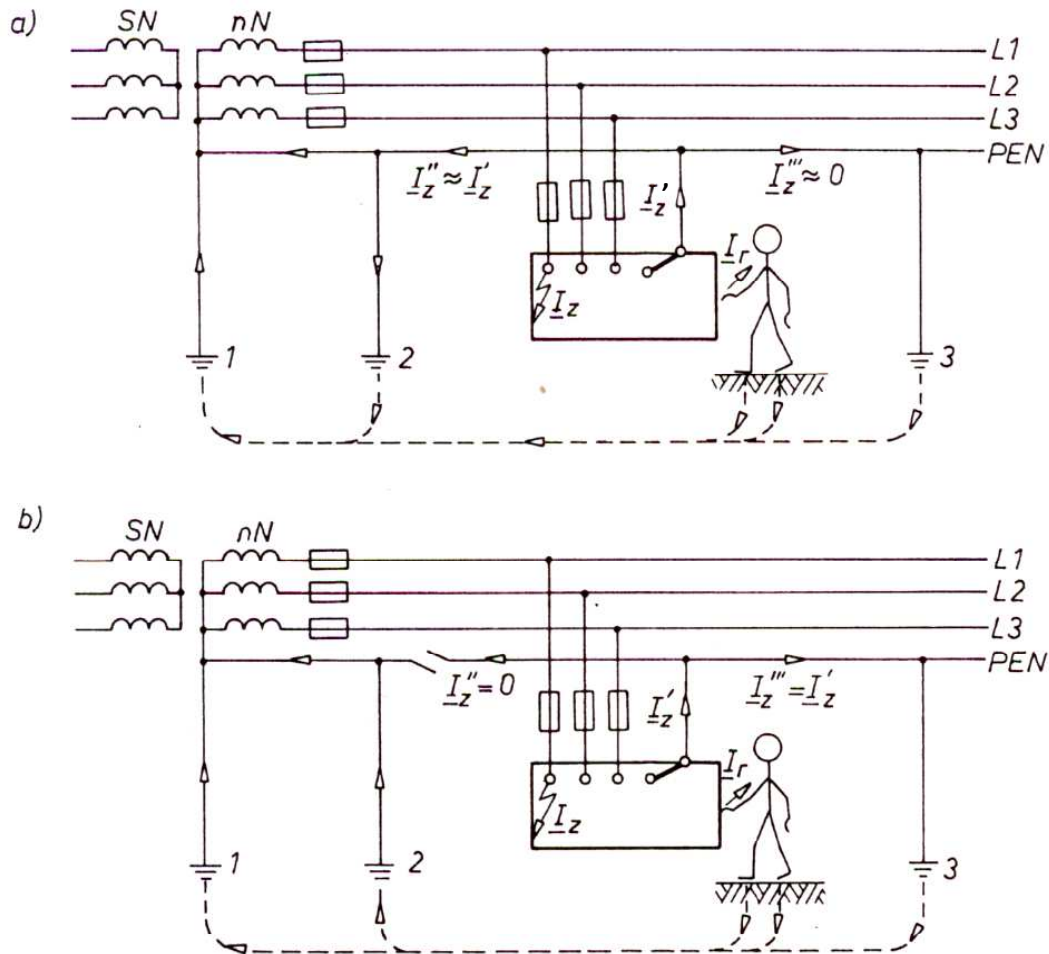
W Polsce spotyka się przede wszystkim układy: TN-C i TN-C-S.



Rys. 7.7. Schematy układów sieci nN z „zerowaniem”: a) TN-S, b) TN-C, c) TN-C-S.
 Oznaczenia elementów: L1, L2, L3 - przewody fazowe, N - przewód neutralny (zerowy),
 E - przewód uziemienia roboczego, PE - przewód ochronny uziemiony lub zacisk
 do przyłączenia przewodu ochronnego, PEN - przewód spełniający łącznie funkcje PE i N

Na rysunku 7.8 jest pokazany przepływ prądu rażeniowego i prądu zwarciovego - od „zerowanej” obudowy odbiornika do uziomów roboczych - w przypadkach przewodu PEN: a) ciągłego; b) przerwanego w jednym miejscu. Dodatkowe uziomy przewodu ochronnego umożliwiają przepływ prądu zwarciovego i zadziałanie zabezpieczeń w razie uszkodzenia przewodu PEN, lecz trzeba się wtedy liczyć z wystąpieniem podwyższonego napięcia dotykowego.

Przekrój przewodu PEN wpływa w zasadniczy sposób na wartość napięcia dotykowego. Wymaga się, by przekrój ten był odpowiednio duży - z uwagi na to napięcie, jak również dla zmniejszenia możliwości mechanicznego uszkodzenia (zerwania) przewodu. Najmniejszy dopuszczalny przekrój wykonanego z miedzi przewodu PEN, jeśli nie jest to żyła koncentryczna kabla wielożyłowego, wynosi 10 mm^2 .

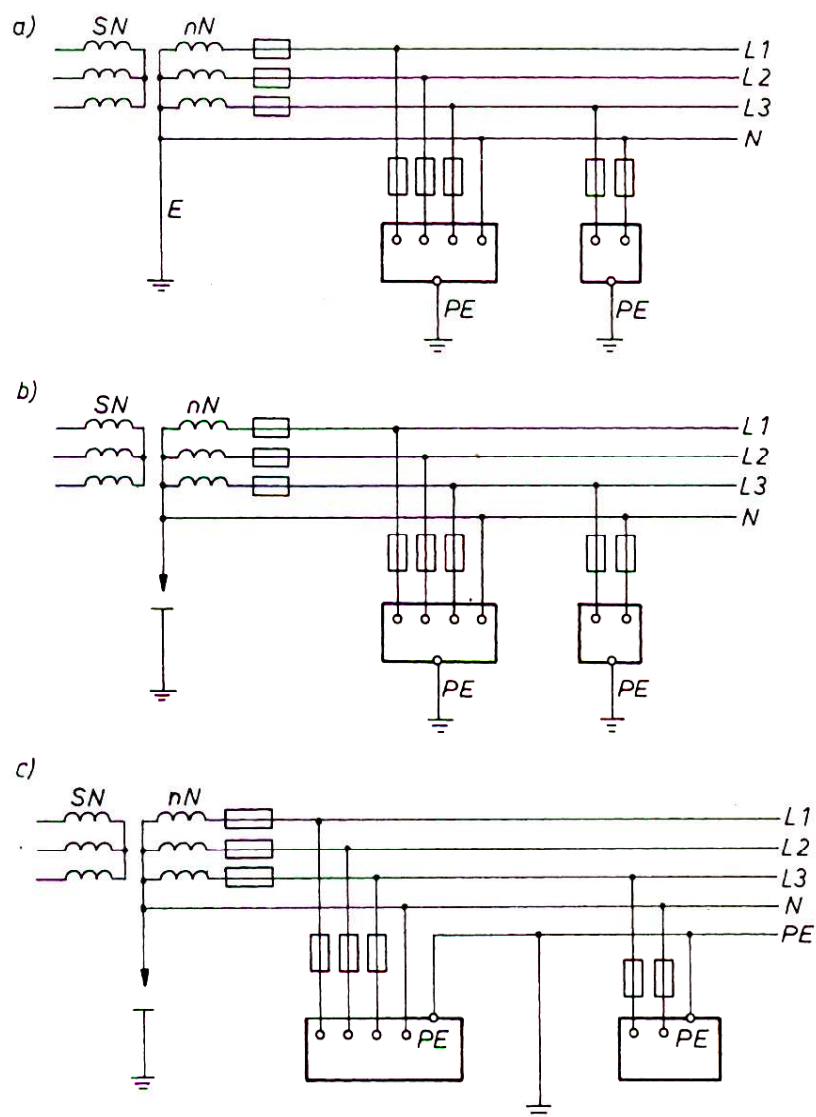


Rys. 7.8. Przepływ prądu zwarciovego i prądu raeniowego w przypadkach dotknięcia „zerowanej” osłony urządzenia - przy przewodzie PEN: a) nieuszkodzonym, b) uszkodzonym
(1 - uziom roboczy podstawowy, 2 i 3 - uziomy robocze dodatkowe)

Układ sieciowy TT („uziemienie ochronne” w układzie sieci zasilającej o uzziemionym punkcie neutralnym) charakteryzuje się tym, że przewodzące obudowy odbiorników elektrycznych są połączone metalicznie z różnymi uziemieniami ochronnymi, lecz nie mają takich połączeń z uziemem roboczym sieci zasilającej. Schemat układu pokazano na rys. 7.9a.

Układ sieciowy IT („uziemienie ochronne” lub „sieć ochronna” w układzie sieci zasilającej o izolowanym punkcie neutralnym) charakteryzuje się tym, że przewodzące obudowy odbiorników elektrycznych są połączone metalicznie z uziemieniami ochronnymi - pojedynczo, grupowo lub zbiorowo. Może przy tym istnieć, albo nie, metaliczne połączenie między grupowym lub zbiorowym uziemieniem ochronnym i uziemem roboczym sieci zasilającej. Schemat układu IT z pojedynczymi uziemieniami ochronnymi pokazano na rysunku 7.9b, zaś układu IT ze zbiorowym uziemieniem ochronnym, nie połączonym z uziemem roboczym sieci zasilającej - na rysunku 7.9c.

Pojedyncze (indywidualne), grupowe oraz zbiorowe uziemienia ochronne stosuje się nie tylko w omówionych, trójfazowych układach sieciowych, lecz także przy innych urządzeniach prądu przemiennego oraz przy urządzeniach prądu stałego, niezależnie od ich napięcia znamionowego. Przewody robocze sieci prądu stałego powinny być na ogół izolowane od ziemi, co dodatkowo przemawia za tym rozwiązaniem.



Rys. 7.9. Schematy układów sieciowych: a) TT, b) IT z uziemieniami indywidualnymi, c) IT ze zbiorowym uziemieniem ochronnym, nie połączonym z uziemieniem roboczym sieci zasilającej. Oznaczenia elementów - jak na rys. 7.7

7.3. SPOSOBY I ŚRODKI OCHRONY PRZECIWPORAŻENIOWEJ W OBIEKTACH BUDOWLANYCH

Dla zapewnienia ochrony przeciwporażeniowej w obiektach budowlanych zostały określone sposoby i środki tej ochrony.

Do realizacji ochrony przed dotykiem bezpośrednim (ochrony podstawowej) w obiektach budowlanych używa się następujących sposobów:

- uniemożliwienie przepływu prądu elektrycznego przez ciało człowieka lub zwierzęcia,
- ograniczenie prądu, który może przepływać przez ciało człowieka lub zwierzęcia, do wartości bezpiecznej.

Do realizacji ochrony przed dotykiem bezpośrednim (ochrony podstawowej) w obiektach budowlanych służą następujące środki:

- izolowanie części czynnych lub umieszczenie ich poza zasięgiem ręki,
- użycie ogrodzenia (przegrody), obudowy (osłony) lub bariery (przeszkody),

a jeśli to nie wystarcza, to dodatkowo:

- stosowanie urządzeń ochronnych różnicowo-prądowych (wyłączniki różnicowo-prądowe lub wyłączniki współpracujące z przekaźnikami różnicowo-prądowymi) o prądzie zadziałania nie większym niż 30 mA.

Do realizacji ochrony przed dotykiem pośrednim (ochrony dodatkowej) w obiektach budowlanych używa się następujących sposobów:

- uniemożliwienie przepływu przez ciało człowieka lub zwierzęcia prądu elektrycznego, mogącego pojawić się w wyniku uszkodzeń instalacji lub urządzeń,
- ograniczenie prądu, który może przepływać przez ciało człowieka lub zwierzęcia w wyniku uszkodzeń instalacji lub urządzeń, do wartości bezpiecznej,
- samoczynne odłączenie zasilania w określonym, krótkim czasie, w wypadku uszkodzeń instalacji lub urządzeń, powodujących możliwość przepływu prądu przez ciało człowieka lub zwierzęcia, gdy wartość tego prądu może być równa lub większa od wartości bezpiecznej,
- powszechne stosowanie ekwipotencjalizacji (wyrównywania potencjałów części przewodzących dostępnych i obcych) dla wzmocnienia skuteczności istniejącej ochrony (jako środka uzupełniającego), jak też jako jedyne go środka ochrony przed dotykiem pośrednim.

Do realizacji ochrony przed dotykiem pośrednim (ochrony dodatkowej) w obiektach budowlanych służą następujące środki:

- szybkie wyłączanie zwarć w układach sieciowych TN, TT i IT (w TT i IT - po przekroczeniu bezpiecznej wartości napięcia dotykowego), wraz z ograniczeniem wartości napięcia dotykowego za pomocą połączeń wyrównawczych miejscowych (w TT i IT - dodatkowo; w TN - jako jedyne go środka temu służącego, ponieważ nie ma tam warunków do kontroli napięcia dotykowego),
- stosowanie urządzeń II klasy ochronności lub o izolacji równoważnej,
- izolowanie stanowiska,
- separacja odbiorników,
- stosowanie nieziemionych połączeń wyrównawczych miejscowych.

Szybkie wyłączanie zwarć w układach sieciowych TN, TT i IT jest realizowane przez:

- urządzenia ochronne przetężeniowe (wyłączniki z wyzwalaczami nadprądowymi lub przekaźnikami nadprądowymi, bezpieczniki z wkładkami topikowymi),
- urządzenia ochronne różnicowo-prądowe (wyłączniki różnicowo-prądowe lub wyłączniki współpracujące z przekaźnikami różnicowo-prądowymi).

Równoczesna ochrona podstawowa i dodatkowa jest realizowana tylko w obwodach SELV oraz PELV przez stosowanie napięć zakresu I, ponieważ przy bardzo niskich napięciach zasilających, w określonych warunkach środowiskowych:

- albo w ogóle nie trzeba stosować żadnych środków ochronnych,
- albo wystarcza zapewnienie ochrony podstawowej przy użyciu ogrodzenia (przegrody), obudowy (osłony) lub izolacji.

W obwodach FELV trzeba zapewniać ochronę podstawową i dodatkową, podobnie jak w obwodzie pierwotnym. Ochronę dodatkową realizuje się przez połączenie części przewodzących dostępnych obwodu FELV z przewodami ochronnymi uziemionego obwodu pierwotnego bądź z przewodami połączeń wyrównawczych nieziemionego (separowanego) obwodu pierwotnego.

Zależnie od sposobu ochrony przeciwporażeniowej i w związku ze środkami zapewniającymi bezpieczeństwo (zastosowanymi w konstrukcji i wymaganymi w użytkowaniu), lecz bez określenia stopnia tego bezpieczeństwa, urządzenia elektryczne niskiego napięcia (I i II zakresu napięciowego) są zaliczane do jednej z czterech klas ochronności: 0, I, II lub III.

Urządzenia 0 klasy ochronności mają tylko izolację podstawową; nie mają zacisku ochronnego.

Urządzenia I klasy ochronności mają izolację podstawową, mają też zacisk ochronny do połączenia części przewodzących dostępnych (obudowy) z przewodem ochronnym układu sieciowego.

Urządzenia II klasy ochronności mają izolację podwójną (podstawową i dodatkową) albo wzmocnioną; nie mają zacisku ochronnego.

Urządzenia III klasy ochronności są zasilane bardzo niskim napięciem (SELV, PELV); nie powstają w nich wyższe napięcia (oczywiście, nie mają zacisku ochronnego).

7.4. SKUTECZNOŚĆ OCHRONY PRZECIWPORAŻENIOWEJ W OBIEKTACH BUDOWLANYCH

Najpowszechniej stosowane w Polsce środki dodatkowej ochrony przeciwporażeniowej przy urządzeniach II zakresu napięciowego to szybkie wyłączanie zwarć w układach sieciowych TN, TT i IT, wraz z ograniczeniem wartości napięcia dotykowego w układach sieciowych TT i IT.

Szybkie wyłączanie w układach sieciowych TN, TT i IT realizuje się - jw. powiedziano - za pomocą urządzeń ochronnych przetężeniowych (nadmiarowo-prądowych) i różnicowo-prądowych.

Różnym zabezpieczeniom nadmiarowo-prądowym o prądzie znamionowym (nastawczym) równym I_n przypisuje się pewne, charakterystyczne wartości współczynnika k określającego tzw. prąd wyłączający

$$I_w = k I_n . \quad (7.1)$$

Jeśli popłynie prąd większy od I_w , to samoczynne wyłączenie urządzenia spod napięcia (przerwanie prądu) nastąpi w czasie nie przekraczającym określonej wartości.

Wartość k , zależnie od typu oraz prądu (znamionowego lub nastawienia) zabezpieczenia nadmiarowo-prądowego, wynosi:

od 2,5 do 7,0 - w przypadku bezpieczników topikowych, przy wyłączaniu zasilania nie później niż po 5 s,

od 4,5 do 12,0 - w przypadku wyłączników instalacyjnych nadmiarowych (typów: L, U i K oraz B i C), przy wyłączaniu zasilania nie później niż po 0,1 s.

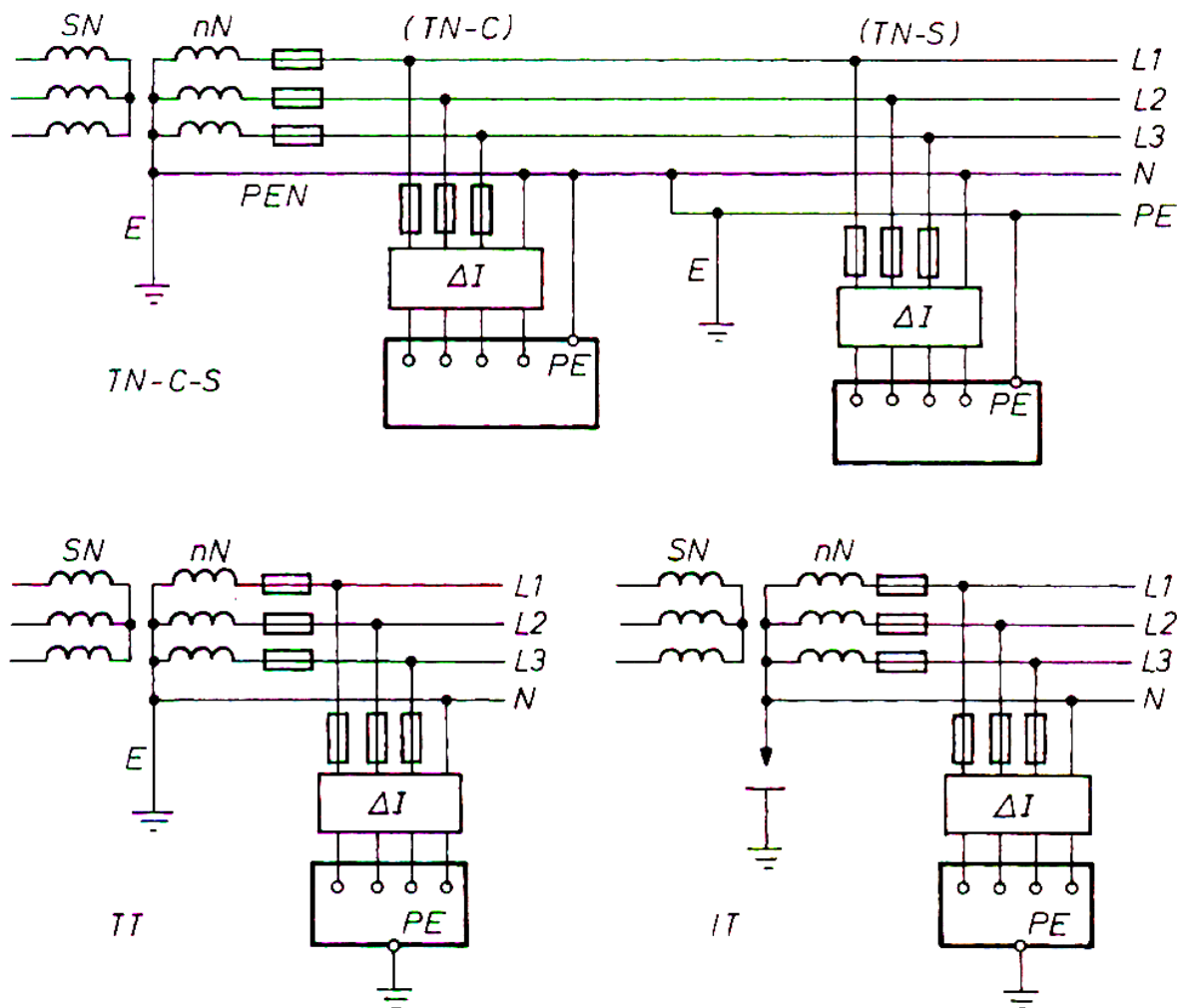
Wyłączanie prądu przez wyłączniki różnicowo-prądowe ΔI (symbol używany na schematach) następuje w czasie nie dłuższym niż 0,2 s od chwili pojawienia się prądu, nazywanego dalej prądem wyłączającym zabezpieczenia różnicowo-prądowego

$$I_w = (0,5 \div 1,0) I_{\Delta n} \quad (7.2)$$

gdzie $I_{\Delta n}$ znamionowy różnicowy prąd wyłącznika ΔI .

Wyłączniki różnicowo-prądowe ΔI można stosować przy urządzeniach niskiego napięcia na prąd przemienny i stały pulsujący, we wszystkich układach sieciowych (niezależnie od systemu ochrony innych urządzeń). Używa się ich również jako środków podstawowej ochrony przeciwporażeniowej, dzięki czemu można uniknąć ciężkich rażeń napięciem roboczym sieci (rys. 7.5a, przypadek „r-r”), Dodatkowym zadaniem wyłączników ΔI jest zapobieganie pożarom i wybuchom, powodowanym przez prądy doziemne.

Sposoby przyłączania wyłączników ΔI do obwodów prądu roboczego pokazano na rys. 7.10. W każdym z układów, prąd różnicowy płynący w przewodzie ochronnym PE jest równy sumie prądów płynących w przewodach roboczych, na którą reaguje układ pomiarowo-wyzwalający wyłącznika.



Rys. 7.10. Sposoby przyłączenia wyłączników różnicowo-prądowych ΔI do obwodów prądu roboczego w różnych układach sieciowych

Dodatkowa ochrona przeciwporażeniowa w układzie TN (rys. 7.7) jest skuteczna wtedy, gdy przy zwarceniu przewodu fazowego z dostępnymi częściami przewodzącymi urządzeń występuje dostatecznie szybkie zadziałanie zabezpieczenia nadprądowego lub różnicowo-prądowego. Wiąże się z tym warunek

$$0,8 I_z \geq I_w, \quad (7.3)$$

gdzie: I_z - obliczony prąd zwarciovowy,

I_w - prąd wyłączający zabezpieczenia nadprądowego lub różnicowo-prądowego w obwodzie zwarcia doziemnego jednofazowego,

0,8 - współczynnik uwzględniający wpływ, pominiętych przy obliczaniu I_z , impedancji: zestyków i cewek wyzwalaczy oraz wzrostu rezystancji przewodów wskutek nagrzania prądem zwarciovym.

Prąd zwarciovowy wyznacza się ze wzoru

$$I_z = \sqrt{\frac{U_f}{R_z^2 + X_z^2}}, \quad (7.4)$$

gdzie: U_f - znamionowe napięcie fazowe sieci,

R_z - rezystancja pętli zwarciovowej,

X_z - reaktancja pętli zwarciovowej (w sieciach wewnętrznych - zwykle pomijana).

Pętlę zwarciovą tworzy przewód fazowy i elementy drogi powrotnej prądu od obudowy urządzenia do punktu neutralnego źródła (przy „zerowaniu” obudowy i nieuszkodzonym przewodzie PEN - impedancja tego przewodu na wymienionej drodze).

Porównując wzór (7.4) z (6.22) i (6.23), przy $E_f = U_f$ i przeciętnie spotykanych relacjach między impedancjami obwodu: zgodną Z_1 , przeciwną Z_2 i zerową Z_0 , otrzymuje się następujące zależności:

$$R_z = R_1 + R_{pj}, \quad (7.5)$$

$$X_z = 2 X_1, \quad (7.6)$$

gdzie: R_1, X_1 - rezystancja i reaktancja zgodna,

R_{pj} - rezystancja drogi powrotnej prądu przy zwarciu jednofazowym.

Wartość prądu I_w musi zapewnić samoczynne odłączenie zasilania w czasie, który zależy albo od napięcia fazowego i warunków środowiskowych, albo od spełnienia szczególnych warunków dotyczących miejsca zainstalowania zabezpieczenia w układzie zasilającym. Ten czas, w pierwszym przypadku, zawiera się w przedziale wartości od 0,1 do 0,8 s (w sieci o napięciu fazowym 230 V: 0,4 s - w normalnych warunkach środowiskowych; 0,2 s - w warunkach o zwiększonym niebezpieczeństwie porażenia prądem elektrycznym), zaś w drugim przypadku - nie powinien przekraczać 5 s.

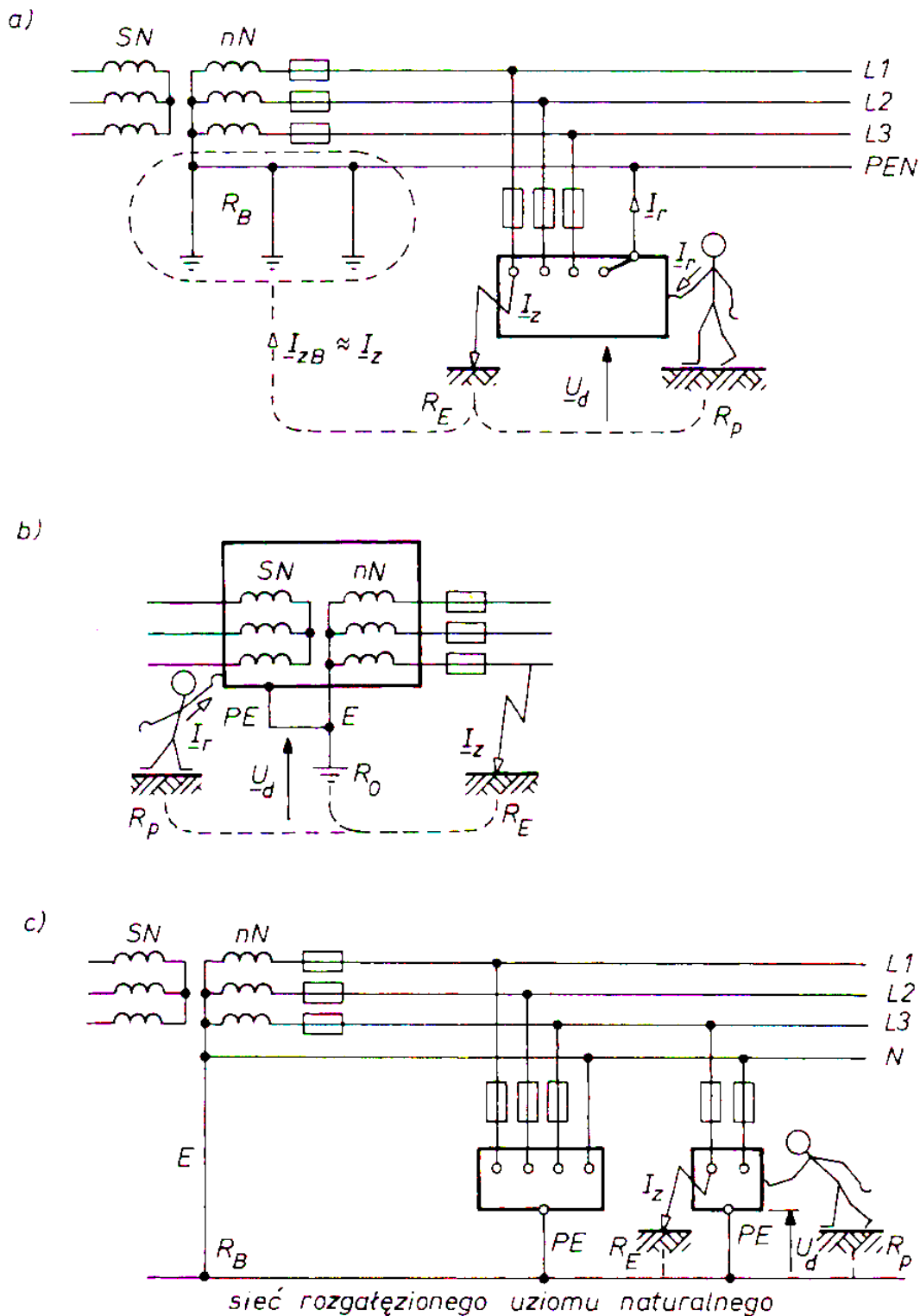
Szczególne warunki, o których mowa w drugim przypadku, to zainstalowanie zabezpieczenia:

a) w sieci rozdzielczej lub linii zasilającej,

b) w obwodzie odbiorczym, do którego są przyłączone jedynie odbiorniki stałe, przy czym są dwie możliwości:

- we wszystkich obwodach, zasilanych z tej samej co on rozdzielnicy, nie ma odbiorników wymagających odłączenia napięcia w czasie nie dłuższym niż $0,1 \pm 0,8$ s (wartość zależna, jak podano wyżej, od napięcia fazowego i warunków środowiskowych),

- w innych obwodach, zasilanych z tej samej co on rozdzielnicy, mogą być odbiorniki wymagające odłączenia napięcia w czasie nie dłuższym niż $0,1 \pm 0,8$ s, ale w całej instalacji zasilanej z tej rozdzielnicy są wykonane połączenia wyrównawcze miejscowe.



Rys. 7.11. Ilustracja możliwości pojawienia się napięcia dotykowego przy bezpośrednim zwarcie przewodu fazowego z ziemią: a) w układzie TN ($U_d = R_B I_z$), b) w pobliżu wspólnego uziomu w stacji transformatorowej ($U_d = R_o I_z$), c) w sieci rozgałęzionego uziomu naturalnego ($U_d = 0$)

W przypadkach, gdy może nastąpić bezpośrednie zwarcie przewodu fazowego z ziemią (rys. 7.11a), urządzenia elektroenergetyczne powinny być tak wykonane, aby przewód PE lub PEN i przyłączone do niego części przewodzące dostępne nie mogły osiągnąć napięcia względem ziemi przekraczającego wartość napięcia bezpiecznego. Wymaganie to zostanie spełnione, jeśli:

$$\frac{R_B}{R_E} = \frac{U_L}{U_f - U_L}, \quad (7.7)$$

gdzie: R_B - rezystancja wypadkowa wszystkich połączonych równolegle uziorów,
 R_E - minimalna wartość rezystancji styku z ziemią, zazwyczaj przyjmowana szacunkowo jako równa 10Ω ,
 U_f - napięcie fazowe,
 U_L - napięcie bezpieczne.

Na rysunku 7.11b przedstawiono zwarcie przewodu fazowego z ziemią w układzie, w którym obudowa transformatora jest przyłączona do uzioru roboczego. Jest to sytuacja analogiczna do pokazanej na rysunku 7.11a, zatem ze względu na bezpieczeństwo muszą być spełnione warunki: (7.3) i (7.7), przy $R_B = R_o$.

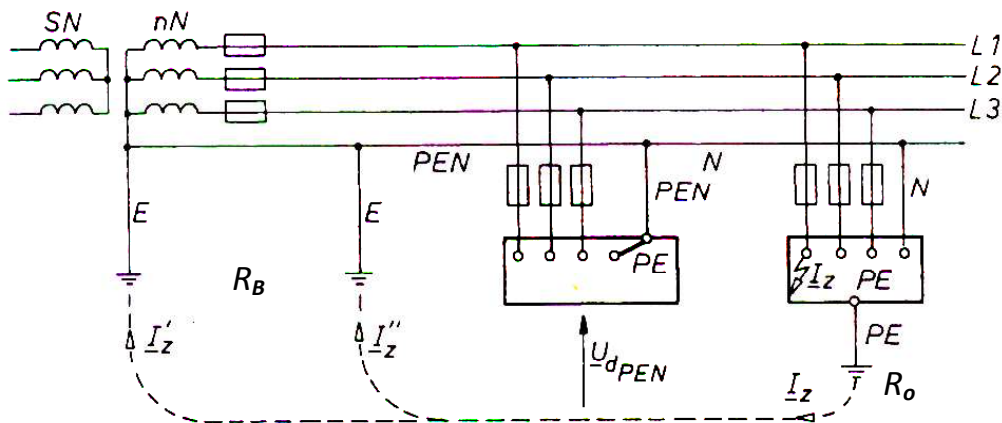
Na rysunku 7.11c przedstawiono zwarcie jw. w układzie, w którym rozgałęziony uzior naturalny pełni rolę przewodu ochronnego PE, połączonego metalicznie z punktem neutralnym transformatora. W sensie definicyjnym mamy do czynienia z układem TN. Jednak okazuje się, że w rozważanym przypadku napięcie między obudową urządzenia i podłożem jest bliskie 0, czyli osoba dotykająca obudowy urządzenia nie jest narażona na niebezpieczeństwo porażenia prądem. Z tego względu układ ten należałoby traktować raczej jako TT niż TN.

Maksymalny czas odłączenia napięcia przy zwarcu w układzie sieciowym TT (rys. 7.9a - działa zabezpieczenie nadprądowe lub różnicowo-prądowe) określa się w taki sam sposób, jak w układzie TN, oprócz sytuacji w których występuje ograniczenie napięcia dotykowego do bezpiecznej wartości (wtedy czas nie jest określony). Ograniczenie wartości napięcia dotykowego do bezpiecznej wartości zachodzi wówczas, gdy rezystancja uziemienia ochronnego R_o spełnia warunek

$$R_o \leq \frac{U_L}{I_w}, \quad (7.8)$$

gdzie: U_L - napięcie bezpieczne,
 I_w - prąd wyłączający zabezpieczenia nadprądowego lub różnicowo-prądowego w obwodzie zwarcia doziemnego jednofazowego.

Na rysunku 7.12 przedstawiona jest szczególna sytuacja: w sieci elektroenergetycznej o układzie TN obudowę jednego urządzenia połączono z uziorom ochronnym. Napięcie powstałe na uziorach roboczych - wskutek przepływu prądu zwarcia doziemnego w uziemieniu ochronnym - przenosi się (jak na rysunkach 7.11a i 7.11b) na połączone z przewodem PEN obudowy wszystkich urządzeń. Wartość napięcia dotykowego U_{dPEN} zależy od wartości prądu zwarcia i wypadkowej rezystancji uziorów roboczych. Jeśli spełnienie warunku (7.7) przy $R_B = R_o$ nie jest możliwe, to połączenie obudowy jednego urządzenia z uziorom ochronnym stwarza niebezpieczeństwo porażenia ludzi i zwierząt przebywających w pobliżu innych urządzeń. Podobna sytuacja powstaje również wtedy, gdy przewód PEN ulegnie uszkodzeniu i obwód zwarcia zamyka się przez dodatkowe uziorom robocze linii (rys. 7.8b).



Rys. 7.12. Powstawanie napięć dotykowych na osłonie „zerowanej” przy zwarciu doziemnym w urządzeniu z uziemieniem ochronnym

Przy zwarciach między częściami czynnymi a częściami przewodzącymi dostępnymi w układzie sieciowym IT - z uziemieniem ochronnym niepołączonym (rys. 7.9b i 7.9c) albo połączonym z uziomem roboczym sieci zasilającej - prądy zwarc doziemnych osiągają wartości większe od prądów wyłączających I_w zabezpieczeń nadprądowych tylko przy zwarcjach dwufazowych, dwumiejscowych. Natomiast przy zwarcjach jednofazowych prądy są małe, zaś wartości napięć dotykowych zależą od stanu izolacji części czynnych względem ziemi i rezystancji uziemienia ochronnego. Aby napięcie dotykowe było bezpieczne, rezystancja każdego z uziemień ochronnych musi spełniać warunek

$$R_o \leq \frac{U_L}{I_{z1}}, \quad (7.9)$$

gdzie: U_L - napięcie bezpieczne,

I_{z1} - prąd pierwszego zwarcia doziemnego.

Stosuje się szybkie wyłączanie zwarc pojedynczych za pomocą wyłączników różnicowo-prądowych, jeśli dla każdego z urządzeń odbiorczych spełniona jest nierówność

$$I_{z1} > I_w, \quad (7.10)$$

gdzie: I_{z1} - prąd pierwszego zwarcia doziemnego,

I_w - prąd wyłączający wyłącznika różnicowo-prądowego.

Jeśli prąd pierwszego zwarcia doziemnego nie pozwala na szybkie wyłączenie za pomocą wyłącznika różnicowo-prądowego, to urządzenia elektroenergetyczne pracujące w układzie sieciowym IT powinny być wyposażone w przyrządy do kontroli stanu ich izolacji, sygnalizujące nadmierne zmniejszanie się rezystancji izolacji części czynnych względem ziemi (uruchamiające sygnał akustyczny lub optyczny). W wypadku utrzymywania się w urządzeniu pierwszego zwarcia, drugie zwarcie powinno spowodować wyłączenie zasilania - z zachowaniem wymagań określonych dla układu sieciowego TT lub TN, zależnie od sposobu uziemienia części przewodzących dostępnych (TT - gdy uziemione pojedynczo lub w grupach; TN - gdy uziemione zbiorowo).

Uziemienie robocze po stronie niskiego napięcia transformatora zasilającego służy nie tylko do ochrony przeciwporażeniowej. Zabezpiecza ono również sieć niskiego napięcia od skutków przebicia izolacji transformatora między uzwojeniami wysokiego i niskiego napięcia oraz przed zbytnim wzrostem napięć przewodów fazowych względem ziemi, przy czym nie może na nim występować niebezpieczne napięcie dotykowe.

7.5. OCHRONA PRZECIWPORAŻENIOWA PRZY URZĄDZENIACH ELEKTRYCZNYCH O NAPIĘCIU WYŻSZYM OD 1 kV

Ochrona przeciwporażeniowa podstawowa przy urządzeniach elektroenergetycznych o napięciu znamionowym wyższym od 1 kV ma zapobiegać zetknięciu się człowieka z częściami czynnymi tego urządzenia, natomiast ochrona przeciwporażeniowa dodatkowa - wystąpieniu wyższych niż dopuszczalne napięć rażeniowych dotykowych, które mogą powstać na skutek pojawienia się napięcia na przewodzących częściach, nienależących do obwodu elektrycznego. Przy urządzeniach tych, w razie konieczności zapewnienia ochrony przeciwporażeniowej dodatkowej, wykonuje się uziemienia ochronne. W przypadkach technicznie uzasadnionych, dla zmniejszenia zagrożenia porażeniowego, można też stosować - łącznie z uziemieniem ochronnym - uzupełniające środki ochrony przeciwporażeniowej dodatkowej w postaci: 1) izolacji stanowisk, 2) powłok elektroizolacyjnych, 3) wstawek izolacyjnych w elementach przewodzących, 4) ogrodzeń.

Napięcia rażeniowe dotykowe, o których mowa, pojawiają się w sytuacjach awaryjnych na terenie stacji elektroenergetycznych i w bliskim ich otoczeniu.

Różnym miejscom występowania zagrożenia porażeniowego przy urządzeniach elektroenergetycznych o napięciu znamionowym wyższym od 1 kV przypisano wymagane stopnie ochrony przeciwporażeniowej dodatkowej (1. lub 2.), zaś każdemu z tych stopni - tablice wartości czasów rażenia i odpowiadających im dopuszczalnych wartości napięć rażeniowych dotykowych.

Dopuszczalne wartości napięć rażeniowych dotykowych, odpowiadające każdej z wartości czasu rażenia są przy 2. stopniu ochrony dwa razy większe niż przy 1. stopniu ochrony. Przykładowo, jeśli rażenie trwa nie krócej niż 5 s, to dopuszczalne wartości U_{rd} wynoszą: 65 V przy 1. stopniu ochrony i 130 V przy 2.; jeśli rażenie trwa 1 s, to odpowiednie wartości U_{rd} wynoszą: 125 i 250 V; jeśli 0,2 s, to 330 i 660 V; jeśli 0,1 s, to: 390 i 780 V. W przypadkach technicznie uzasadnionych dopuszcza się wartości U_{rd} trzykrotnie wyższe od określonych dla 1. stopnia ochrony, pod warunkiem używania przez personel elektroizolacyjnego sprzętu ochrony osobistej i umieszczenia przy wejściach na zagrożony teren odpowiednich tablic ostrzegawczych.

Wychodząc z warunku ograniczenia napięć rażeniowych do wartości dopuszczalnych, odrębne przepisy określają, w jakich układach sieci wysoko- i niskonapięciowych uziemienie robocze i uziemienia ochronne urządzeń elektroenergetycznych oraz uziemienia urządzeń ochrony odgromowej (zwodów, przewodów odgromowych, odgromników, iskierników) należy łączyć ze sobą, a w jakich wykonywać oddzielnie.

Do uziemień używa się dostępnych uziomów naturalnych, gdy znajdują się one w środowisku bezpiecznym pod względem wybuchowym oraz dodatkowo przy prądzie stałym - jeśli prądy doziemne są krótkotrwałe i nie ma niebezpieczeństwa nadmiernego przyspieszenia korozji urządzeń podziemnych.

Szyn kolejowych i tramwajowych nie można wykorzystać jako uziomy ani dołączać do uziemienia. Stwarzałoby to warunki do powstawania w ziemi dużych prądów, rozprzyskających się w trudny do przewidzenia sposób i nazywanych dlatego prądami błądzącymi. Na szkodliwe działanie prądów błądzących narażone są rurociągi wodne i gazowe, metalowe powłoki i płaszcze kabli, zbrojenia konstrukcji podziemnych, itp. Z ich powodu mogą też pojawiać się niebezpieczne napięcia w urządzeniach naziemnych.

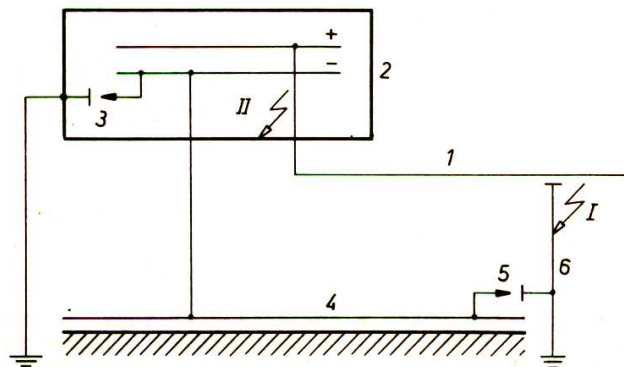
7.6. PROBLEMY OCHRONY PRZECIWPORAŻENIOWEJ W POBLIŻU ZELEKTRYFIKOWANYCH LINII KOLEJOWYCH

Szyny jezdne kolei elektrycznych stanowią tzw. sieć powrotną (dolną) dla prądów pobieranych przez pojazdy i prądów zwarć bezpośrednich (pełnych) w sieci trakcyjnej, tzn. zwarć między siecią górną i siecią dolną. Szyny ułożone są na warstwie tłucznia, która je częściowo izoluje od podtorza - w stopniu zależnym od warunków pogodowych (pory roku, opadów). Prądy płynące w sieci dolnej mogą więc spływać z szyn do ziemi, zaś prądy ziemne - do szyn jezdnych. Prądy powodują powstawanie różnic potencjałów w szynach jezdnych, ziemi, przewodach podziemnych (powłokach kabli, rurociągach) oraz uziomach pobliskich urządzeń elektroenergetycznych. Niejednakowe potencjały miejsc dostępnych dla człowieka, położonych w zasięgu jego ręki, mogą stwarzać zagrożenie porażeniowe. Podczas eksploatacji urządzeń elektrotrakcyjnych, elektroenergetycznych i telekomunikacyjnych występują przypadki pojawiania się napięć niebezpiecznych między podtorzem a szynami jezdnych lub połączoną z szynami konstrukcją, między powierzchnią ziemi a uziemioną obudową urządzenia, czy też między uziemioną konstrukcją a metalową powłoką wyprowadzonego z ziemi kabla. Z reguły wiąże się to ze zwarciami w sieci trakcyjnej, podstacjach trakcyjnych lub sieci elektroenergetycznej.

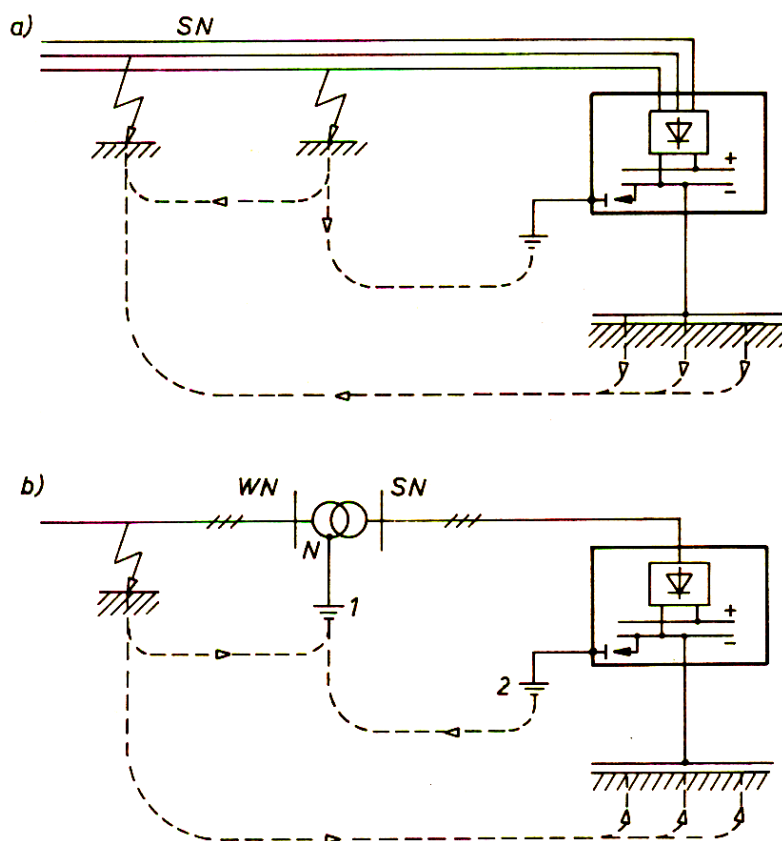
Na PKP stosowany jest system trakcji elektrycznej prądu stałego o napięciu znamionowym sieci równym 3 kV. Podstacje trakcyjne zasilane są ze stacji elektroenergetycznych 110/15 kV - liniami trójfazowymi 15 kV, pracującymi w układzie bez bezpośrednio uziemionego punktu neutralnego. Długości linii zasilających podstacje bywają bardzo różne: zdarzają się podstacje trakcyjne położone daleko, jak również w bezpośrednim sąsiedztwie stacji elektroenergetycznych 110/15 kV. Sieć jezdna (górną) zasilana jest z podstacji trakcyjnych z reguły dwustronnie. W liniach dwutorowych - mniej więcej pośrodku między podstacjami - są usytuowane kabiny sekcyjne, które „spinają” galwanicznie ze sobą sieci jezdne obu torów, a w razie jakiejś awarii - pozwalają odłączyć uszkodzony odcinek sieci od zasilania. Metalowe konstrukcje wsporcze i obudowy urządzeń, w podstacjach trakcyjnych i w kabinach sekcyjnych, są uziemiane oraz „połączone” poprzez iskiernik (czasem bezpośrednio) z szynami jezdnych. Wprowadzane są też do eksploatacji kontenerowe kabiny sekcyjne, które nie wymagają budowy własnego systemu uziemiającego. Ich obudowy są izolowane od wewnątrz, zaś obudowy urządzeń stanowiących wyposażenie wewnątrz mają bezpośrednie połączenie z szynami jezdnych („uszynienia”). W sieci trakcyjnej wykonuje się również „uszynienia” i uziemienia. Jeśli konstrukcje wspierające sieć jezdnią nie mają bezpośredniego połączenia z ziemią (np. mocuje się je na słupach betonowych), to są łączone bezpośrednio z szynami jezdnych, natomiast jeśli są z natury swej uziemione (np. zamocowane do słupów stalowych lub konstrukcji mostu), to między nimi a szynami jezdnych powinno się instalować iskierniki (połączenia bezpośrednie między szynami a ziemią lub zwarte iskierniki sprzyjają powstawaniu prądów błędnych). Izolację sieci trakcyjnej i urządzeń do niej przyłączonych chroni się od przepięć atmosferycznych za pomocą odgromników, włączanych między przewody jezdne a uziemienia.

Gdy przy zwarciach doziemnych w sieci trakcyjnej, podstacji trakcyjnej lub kabine sekcyjnej (rys. 7.14) na elektrodach iskiernika pojawia się napięcie rzędu 150÷200 V, to traci on własności izolacyjne, umożliwiając przepływ dużego prądu z ziemi do szyn jezdnych, a w następstwie - szybkie wyłączenie zwarcia. Wyniesienie potencjałów na iskiernik przy zwarciach doziemnych w liniach elektroenergetycznych SN i WN może również spowodować jego zadziałanie oraz przepływ prądu przez uziemienie i w obwodzie powrotnym (rys. 7.15).

Przy prawidłowym działaniu iskierników, potencjały uziemień podstacji trakcyjnych, kabin sekcyjnych i metalowych konstrukcji wsporczych sieci jezdnej - względem ziemi odległej - nie przekraczają wartości rzędu 600÷700 V i mają charakter krótkotrwały. W obwodzie zasilania trakcji zwarcia doziemne są przekształcane w zwarcia pełne, a prądy płynące przy zwarciach przez uziemienia zostają w bardzo dużym stopniu ograniczone.



Rys. 7.14. Zwarcie doziemne: I - w sieci trakcyjnej 1; II - w podstacji trakcyjnej lub kabinie sekcyjnej 2 (3 i 5 – iskierniki, 4- szyny jezdne, 6 - słup trakcyjny)



Rys. 7.15. Przepływ prądu w obwodzie powrotnym i przez uziom podstacji trakcyjnej po zadziałaniu iskiernika przy zwarciu doziemnym: a) dwufazowym, dwumiejscowym - w sieci SN, b) jednofazowym - w sieci WN z uziemieniem roboczym punktu neutralnego N transformatora (jeśli podstacja trakcyjna leży blisko stacji transformatorowej WN/SN, to systemy uziemień 1 i 2 mogą być ze sobą połączone)

W praktyce zdarza się, że iskierniki nie działają przy zwarciaach albo są zwarte na stałe, że przewody uziemiające lub „uszyniające” są zerwane, że w sieci powrotnej brakuje łączników szynowych (nawet do 30% pełnego stanu). Niedomagania te stwarzają określone trudności eksploatacyjne i zwiększone zagrożenie dla otoczenia (porażeniowe, korozyjne, pożarowe).

Jeśli prądy zwarciove nie osiągają wartości wystarczających do zadziałania wyłączników szybkich (umieszczonych w podstacjach trakcyjnych i kabinach sekcyjnych), to mówi się wówczas o tzw. zwarciaach niewyłacalnych. Z reguły są to zwarcia doziemne, które nie zostały przekształcone w zwarcia pełne (na skutek niezadziałania iskierników albo urwania przewodu „uszyniającego” w kabine sekcyjnej), ewentualnie zwarcia na taborze (poprzez impedancję). Zwarcia niewyłacalne stwarzają największe zagrożenie.

Przy zwarciaach niewyłacalnych w podstacjach trakcyjnych lub kabinach sekcyjnych - prąd zwarciovy płynie przez uziemienie. Różnica potencjałów przewodów uziemiających i ziemi odległej może osiągnąć wartość rzędu 2,4÷2,8 kV; strefa zagrożenia obejmuje kontur uziemienia i pomieszczenie podstacji lub kabiny sekcyjnej.

Przy zwarciaach niewyłacalnych w sieci trakcyjnej - zagrożenie porażeniowe jest mniejsze, lecz obejmuje większy obszar. Różnice potencjałów powierzchni ziemi i jej wewnętrznej, dobrze przewodzącej warstwy („ziemi bliskiej” i „ziemi odległej”) są związane z rozptyłem prądów błędzących i rozkładem potencjałów wzdłuż sieci powrotnej. Strefa przepływu prądów błędzących przy powierzchni ziemi sięga normalnie do 20 m od szyn jezdnych, lecz przy silnie zmarzniętym gruncie (kiedy ma on bardzo dużą rezystywność) może znacznie przekraczać tę odległość. Potencjały szyn mogą się wtedy pojawiać na konstrukcjach metalowych (rurociągach, ogrodzeniach z siatki metalowej) i uziemieniach urządzeń elektroenergetycznych, które znajdują się w pobliżu toru kolejowego. Jest to efekt stosunkowo niedużych prądów powierzchniowych, upływających z szyn i powracających do nich bliżej podstacji. Prądy i potencjały o większych wartościach pojawiają się w uziomach i konstrukcjach podziemnych, położonych wokół miejsca, w którym wystąpiło zwarcie doziemne (niewyłacalne). Przewody ochronne PE - w systemie uziemień ochronnych, a przewody ochronne PEN - w systemie zerowania, doprowadzają potencjał uziemienia (odpowiednio: ochronnego i roboczego linii elektroenergetycznej) do obudów urządzeń. Podłoże oraz inne konstrukcje zainstalowane w tych samych pomieszczeniach mają zwykle inne potencjały niż uziemienie. Jako przykład może służyć nastawnia kolejowa, do której doprowadzane są z zewnątrz następujące potencjały: ziemi „bliskiej” (konstrukcja budynku), ziemi „odległej” (powłoki i płaszcze kabli energetycznych i teletechnicznych), szyn jezdnych (ława nastawcza połączona z pędniami), przewodu ochronnego uziemienia lub zerowania (obudowy urządzeń elektroenergetycznych). Zapewnienie skutecznej ochrony przeciwporażeniowej w tych warunkach jest trudne, bowiem w zasięgu ręki znajdują się zwykle przedmioty o potencjałach, których różnice często przekraczają wartości bezpieczne.

Niektóre zagrożenia znikają wraz z wymianą starych urządzeń zabezpieczenia ruchu kolejowego na nowe, dostosowane do pracy na zelektryfikowanych liniach kolejowych. Dotyczy to przede wszystkim urządzeń instalowanych przy torze, które są zasilane z transformatorów separacyjnych. Na problemy ochrony przeciwporażeniowej w pobliżu zelektryfikowanych linii kolejowych trzeba patrzeć kompleksowo, uwzględniając lokalne warunki pracy urządzeń elektroenergetycznych, trakcyjnych oraz srk (sterowania ruchem kolejowym) i zrk (zabezpieczenia ruchu kolejowego).