

# ĆWICZENIE

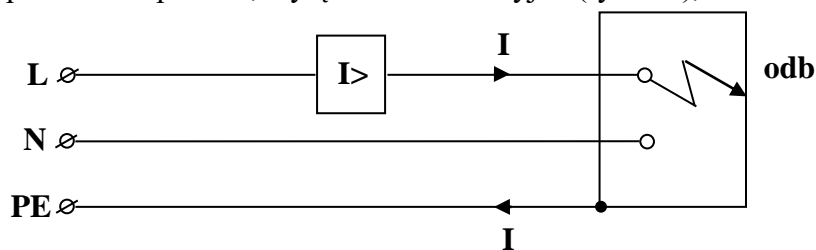
## BADANIE SKUTECZNOŚCI OCHRONY PRZECIWPORAŻENIOWEJ PRZEZ SZYBKIE WYŁĄCZANIE ZASILANIA

### 7.1. Wprowadzenie

Ochrona przez zastosowanie szybkiego wyłączenia zasilania należy do najbardziej rozpowszechnionych sposobów ochrony przeciwporażeniowej przed dotykiem pośrednim. Urządzenia ochronne powinny samoczynnie wyłączyć, w bardzo krótkim czasie, zasilanie obwodu lub urządzenia chronionego przed dotykiem pośrednim, aby w następstwie zwarcia między częścią czynną a dowolną częścią przewodzącą dostępną spodziewane napięcie dotykowe, nie spowodowało przepływu prądu rażeniowego wywołującego niebezpieczne skutki patofizjologiczne. Szybkie wyłączenie zasilania może być stosowane w układach sieciowych TN, TT, IT.

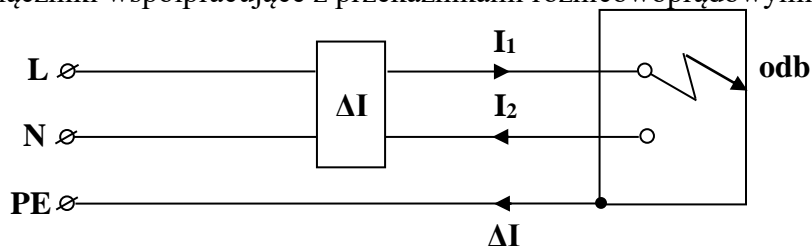
Ochronę przez zastosowanie szybkiego wyłączenia można realizować poprzez:

- a) urządzenia ochronne przetężeniowe (nadmiarowoprądowe) takie jak – bezpieczniki topikowe, wyłączniki instalacyjne (rys. 7.1),



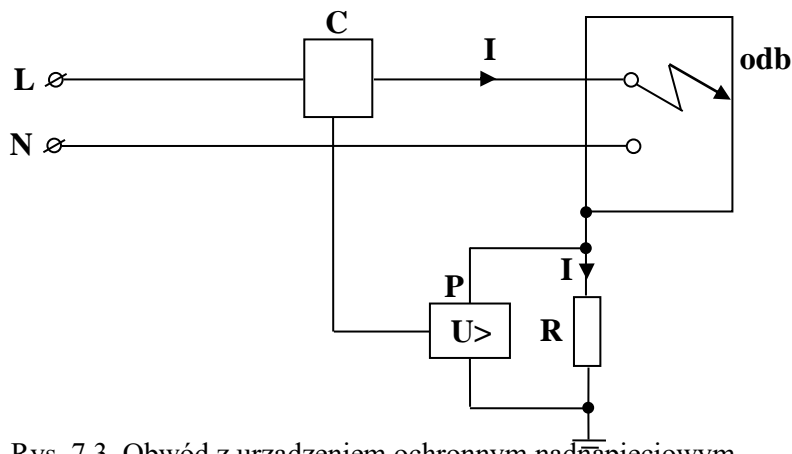
Rys. 7.1. Obwód z urządzeniem ochronnym przetężeniowym

- b) urządzenia ochronne różnicowoprądowe – wyłączniki różnicowoprądowe, wyłączniki współpracujące z przekąźnikami różnicowoprądowymi (rys.7.2);



Rys. 7.2. Obwód z urządzeniem różnicowoprądowym

- c) urządzenia ochronne nadnapięciowe – przekąźniki nadnapięciowe (rys. 7.3).



Rys. 7.3. Obwód z urządzeniem ochronnym nadnapięciowym

Opis do rys.7.3:

- C – wyłącznik współpracujący z przekaźnikiem P,
- P – przekaźnik nadnapięciowy,
- R – rezystancja uziemienia,
- I – prąd powodujący powstanie na rezystancji R napięcia o wartości większej niż dopuszczalna w danych warunkach środowiskowych

Aby dokładnie poznać warunki stosowania, możliwości realizacji i metody sprawdzenia skuteczności działania szybkiego wyłączania zasilania, należy zapoznać się z nowym podziałem napięć, klasyfikacją układów sieciowych oraz z wartościami najdłuższych dopuszczalnych czasów wyłączenia.

## 7.2. Podział napięć roboczych i klasyfikacja środowiska pracy

Nowe przepisy wprowadziły następujący podział napięć przedstawiony w tabelach 7.1 i 7.2.

Tabela 7.1. Podział napięć prądu przemiennego do 1 kV, wg [1]

Zakres napięć	Napięcia prądu przemiennego		
	Układy z uziemieniami		Układy izolowane lub z uziemieniami pośrednimi
	Faza-ziemia	Faza-faza	Faza-faza
I	$U \leq 50V$	$U \leq 50V$	$U \leq 50V$
II	$50 < U \leq 600V$	$50 < U \leq 1000V$	$50 < U \leq 1000V$

Tabela 7.2. Podział napięć prądu stałego do 1 kV, wg [1]

Zakres napięć	Napięcia prądu stałego		
	Układy z uziemieniami		Układy izolowane lub z uziemieniami pośrednimi
	Biegun-ziemia	Biegun-biegun	Biegun-biegun
I	$U \leq 120V$	$U \leq 120V$	$U \leq 120V$
II	$120 < U \leq 900V$	$120 < U \leq 1500V$	$120 < U \leq 1500V$

Zakres I obejmuje napięcia:

- w instalacjach, w których ochrona przed porażeniem elektrycznym zapewniona jest, pod pewnymi warunkami, przez określoną wartość napięcia,
- w instalacjach, w których napięcie jest ograniczone ze względów funkcjonalnych (np: instalacje telekomunikacyjne, sygnalizacyjne, dzwonek, sterowania i alarmowe).

Zakres II dotyczy napięć w instalacjach elektrycznych obiektów budowlanych budownictwa mieszkaniowego, handlowego i przemysłowego. Obejmuje wszystkie napięcia systemów powszechnego zasilania stosowanych w różnych krajach.

Napięciem dotykowym dopuszczalnym długotrwale  $U_L$  nazywamy napięcie robocze lub dotykowe, którego wartość w danych warunkach środowiskowych nie przekracza zakresu I (tabela 7.1 i 7.2).

Dobierając odpowiednią wartość napięcia  $U_L$  przy projektowaniu instalacji elektrycznej należy zwrócić szczególną uwagę na środowisko, w którym instalacja ma zostać wykonana. Jest to ważne ze względu na niezawodność pracy a przede wszystkim na prawidłowy dobór zabezpieczeń. Aby ułatwić ocenę środowiska pracy instalacji, została wprowadzona nowa

klasyfikacja i kodyfikacja przedstawiona w normie PN-IEC 60364.

Poszczególne oddziaływania środowiska oraz ich intensywność są oznaczone dwiema dużymi literami i cyfrą. Pierwsza litera dotyczy ogólnej kategorii wpływu :

- A – środowisko,
- B – użytkownik i sposób użytkowania,
- C – konstrukcja obiektu budowlanego.

Druga litera odnosi się do charakteru wpływu zewnętrznego. Wszystkie kody środowisk zostały opisane w arkuszu PN-IEC 60364-3.

### 7.3. Układy sieciowe

Sposób połączenia sieci z ziemią przyjęto oznaczać za pomocą 2 ÷ 4 - literowego kodu (tabela 7.3), przy czym:

- pierwsza litera T lub I określa związek między układem sieci a ziemią,
- druga litera N lub T określa związek między częściami przewodzącymi, nie pozostającymi w warunkach normalnej pracy pod napięciem, a ziemią,
- trzecia i czwarta litera C lub/ oraz S określają układ przewodów neutralnych i ochronnych.

Tabela 7.3. Oznaczenie połączenia z ziemią punktu neutralnego sieci elektroenergetycznych niskiego napięcia, wg [2]

Pierwsza litera	Druga litera	Trzecia i czwarta litera	Oznaczenie układu sieci
<b>T</b> bezpośrednie połączenie jednego punktu (neutralnego) układu sieci z ziemią	<b>N</b> bezpośrednie połączenie dostępnych części przewodzących z uzziemionym punktem neutralnym układu sieci	<b>C</b> funkcje przewodów neutralnych i ochronnych pełni jeden przewód (PEN) w całym układzie sieci	<b>TN-C</b>
		<b>S</b> funkcje przewodów neutralnych i ochronnych pełnią oddzielne przewody (N oraz PE) w całym układzie sieci	<b>TN-S</b>
		<b>C-S</b> funkcje przewodów neutralnych i ochronnych w części układu pełni jeden przewód (PEN), a w pozostałej części: oddzielne przewody (N oraz PE)	<b>TN-C-S</b>
<b>I</b> wszystkie części będące pod napięciem są izolowane od ziemi lub punkt neutralny układu sieci jest połączony z ziemią przez impedancję o dużej wartości	<b>T</b> bezpośrednie połączenie z ziemią podległych ochronie dostępnych części przewodzących niezależnie od uzziemienia punktu neutralnego układu sieci	nie występują	<b>TT</b>
		nie występują	<b>IT</b>

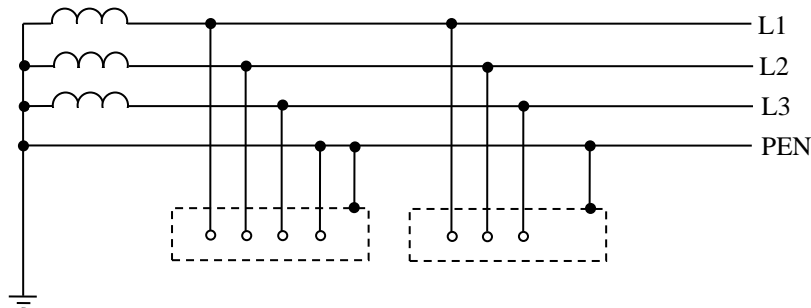
Poszczególne litery są skrótami od :

- T – *terre* (fran.) – ziemia,
- N – *neutralis* (łac.) – neutralny,
- I – *isolate* (ang.) – izolować,
- C – *combine* (ang.) – łączyć,
- S – *separate* (ang.) – rozdzielać.

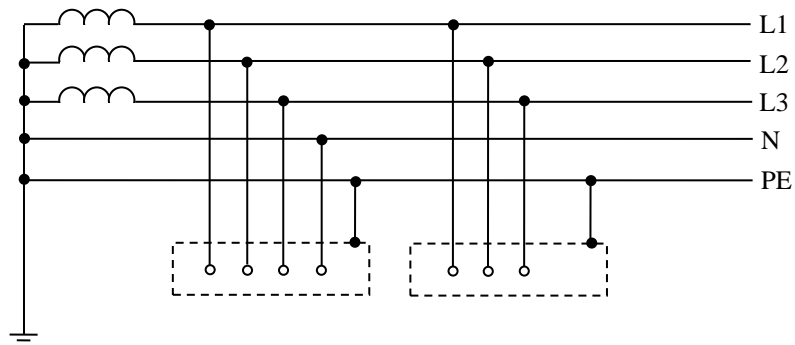
### 7.3.1. Układ TN

Jest to układ sieci elektrycznej rozdzielczej lub instalacji elektrycznej, w którym punkt neutralny jest bezpośrednio uziemiony, a części przewodzące dostępne są z nim połączone przewodami ochronnymi PE i/lub przewodami ochrono-neutralnymi PEN. W zależności od układu przewodów neutralnych i ochronnych wyróżnia się trzy rodzaje układu TN:

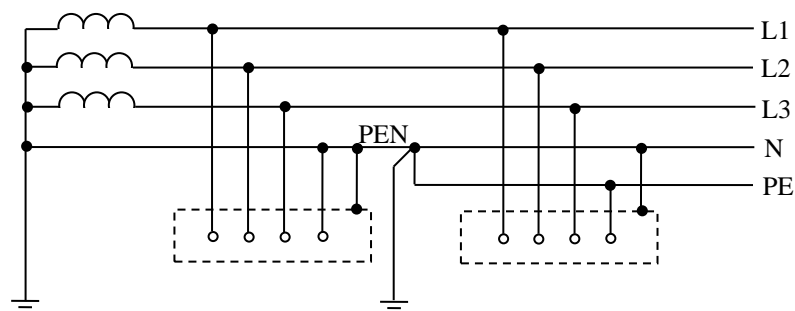
- o układ TN-C, w którym funkcję przewodu neutralnego i ochronnego pełni jeden przewód PEN w całym układzie sieci (rys. 7.4),
- o układ TN-S, ma oddzielne przewody neutralny N i ochronny PE w całym układzie sieci (rys. 7.5),
- o układ TN-C-S, w części tego układu funkcję przewodu neutralnego i ochronnego pełni jeden przewód PEN (rys. 7.6).



Rys. 7.4. Układ TN-C



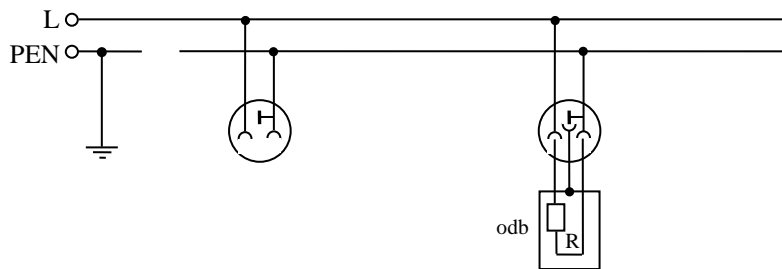
Rys. 7.5. Układ TN-S



Rys. 7.6. Układ TN-C-S

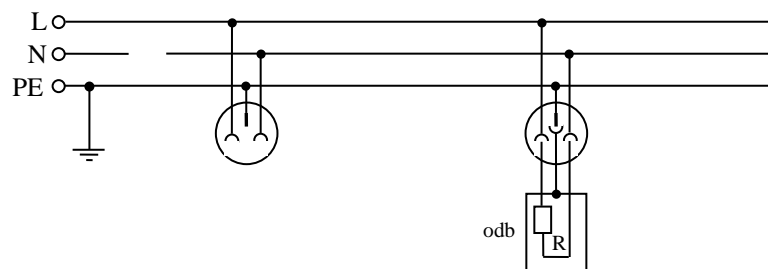
W Polsce najpowszechniej do tej pory stosowanym układem jest TN-C. Ma on jednak sporo wad i nowa norma zaleca zastępowanie go innymi, mniej zawodnymi układami. Do najistotniejszych wad układu TN-C należą:

- o przy asymetrii obciążenia występuje niebezpieczne napięcie względem ziemi na przewodzie ochronno-neutralnym w miejscu zainstalowania odbiorników;
- o niemożliwość zastosowania zabezpieczeń różnicowoprądowych;
- o niebezpieczeństwo pojawienia się pełnego napięcia na stykach ochronnych gniazd wtyczkowych w momencie przerwy w przewodzie ochronno-neutralnym (rys. 7.7).



Rys. 7.7. Przerwa w przewodzie ochronno-neutralnym w układzie TN-C

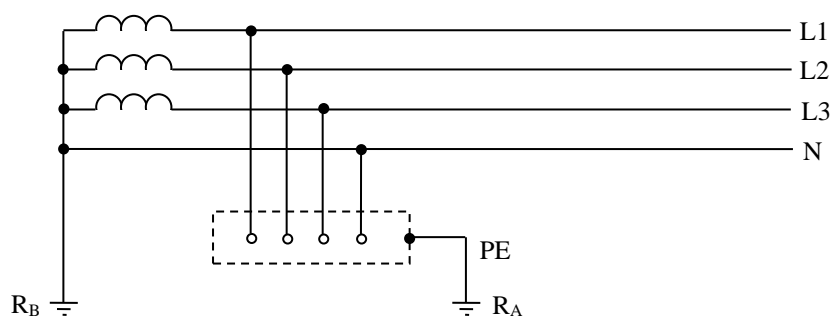
Zastosowanie w takim przypadku układu TN-S likwiduje niebezpieczeństwo pojawienia się napięcia na stykach ochronnych gniazd wtyczkowych (rys. 7.8).



Rys. 7.8. Przerwa w przewodzie neutralnym w układzie TN-S

### 7.3.2. Układ TT

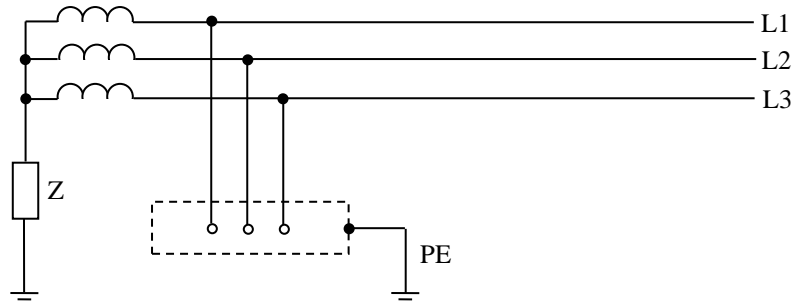
Jest to układ sieci elektrycznej rozdzielczej lub instalacji elektrycznej, w którym punkt neutralny jest bezpośrednio połączony z uziemieniem roboczym  $R_B$ , a części przewodzące dostępne są połączone z uziomami ochronnymi  $R_A$ . Uziomy ochronne i robocze nie są ze sobą połączone (rys. 7.9).



Rys. 7.9. Układ TT

### 7.3.3. Układ IT

Jest to układ sieci elektrycznej rozdzielczej lub instalacji elektrycznej, w którym wszystkie części czynne są izolowane od ziemi albo jedna z nich jest uziemiona przez bezpiecznik iskiernikowy i/lub przez dużą impedancję, a części przewodzące dostępne są uziemione (rys. 7.10).

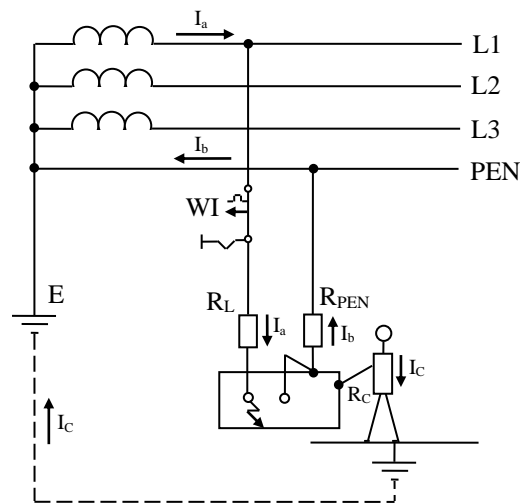


Rys. 7.10. Układ IT

### 7.4. Ochrona przeciwporażeniowa przez szybkie wyłączenie zasilania

#### a) w układzie TN

Przykładowe stany zagrożenia człowieka porażeniem elektrycznym podczas awarii w układach TN-S i TN-C przedstawiono na rys. 7.11 i 7.12.



Rys. 7.11. Zagrożenie porażeniem elektrycznym w układzie TN-C

*W układzie TN-C stosowanie wyłączników różnicowoprądowych nie jest skuteczne.*

Przy zwarcie części czynnej z częścią przewodzącą dostępną na obudowie pojawia się napięcie dotykowe  $U_d$ :

$$U_d = I_b \cdot R_{PEN} \quad (7.1)$$

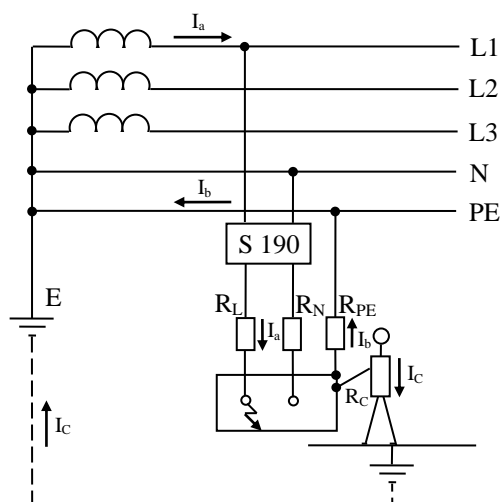
$$U_d = I_b \cdot R_{PE} \quad (7.2)$$

które powoduje przepływ prądu  $I_c$  przez rezystancję ciała człowieka  $R_c$ :

$$U_d = I_c \cdot R_c \quad (7.3)$$

Jeżeli napięcie  $U_d$  przekroczy wartość napięcia dotykowego dopuszczalnego długotrwale  $U_L$  w danych warunkach środowiskowych, to prąd  $I_a$  powinien spowodować zadziałanie

zabezpieczenia w odpowiednim czasie, a tym samym wyłączenie zasilania.



Rys. 7.12. Zagrożenie porażeniem elektrycznym w układzie TN-S

Ochrona przeciwporażeniowa jest skuteczna, jeśli spełniony jest następujący warunek:

$$Z_a \cdot I_a \leq U_0 \quad (7.4)$$

gdzie:  $Z_a$  – impedancja pętli zwarcia,

$I_a$  – prąd zapewniający zadziałanie urządzenia ochronnego,

$U_0$  – napięcie pomiędzy przewodem fazowym a ziemią.

Maksymalne dopuszczalne czasy szybkiego wyłączenia w zależności od napięcia fazowego prądu przemiennego lub napięcia względem ziemi nietętniącego prądu stałego podano w tabeli 7.4.

Tabela 7.4. Maksymalne dopuszczalne czasy szybkiego wyłączenia w układzie TN, wg [3, 4]

Napięcie znamionowe względem ziemi $U_0$ [V]	Dla napięcia dotykowego dopuszczalnego długotrwale	
	$U_L \leq 50V\sim, U_L \leq 120V-$	$U_L \leq 25V\sim, U_L \leq 60V-$
	t [s]	t [s]
120	0.80	0.35
230	0.40	0.20
277	0.40	0.20
400	0.20	0.05
480	0.10	0.05
580	0.10	0.02

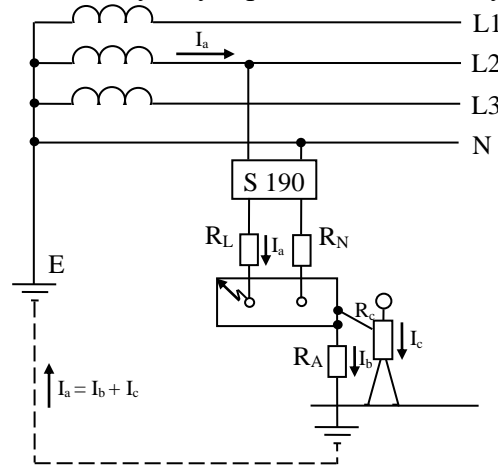
Czasy wyłączeń podane w tabeli 7.4 dotyczą obwodów odbiorczych, w których bezpośrednio lub poprzez gniazda wtyczkowe są zasilane urządzenia I klasy ochronności ręczne lub/i przenośne przeznaczone do ręcznego przemieszczania w czasie użytkowania.

Czas wyłączenia dłuższy od podanego w tabeli 7.4, ale nie przekraczający 5 s, dopuszcza się:

- o w obwodach rozdzielczych,
- o w obwodach odbiorczych zasilających jedynie urządzenia stacjonarne.

### b) w układzie TT

Stan zagrożenia porażeniem elektrycznym przedstawiono na rys. 7.13.



Rys. 7.13. Zagrożenie porażeniem elektrycznym w układzie TT

Przy zwarceniu części czynnej z częścią przewodzącą dostępną na obudowie pojawia się napięcie dotykowe  $U_d$ :

$$U_d = I_b \cdot R_A \quad (7.5)$$

które powoduje przepływ prądu  $I_c$  przez rezystancję ciała człowieka  $R_c$  (wzór 7.3). Jeżeli napięcie  $U_d$  przekroczy wartość napięcia dotykowego dopuszczalnego długotrwale  $U_L$  w danych warunkach środowiskowych, to prąd  $I_a$  powinien spowodować zadziałanie zabezpieczenia w odpowiednim czasie, a tym samym wyłączenie zasilania.

Ochrona przeciwporażeniowa jest skuteczna, jeśli spełniony jest następujący warunek:

$$R_A \cdot I_a \leq U_L \quad (7.6)$$

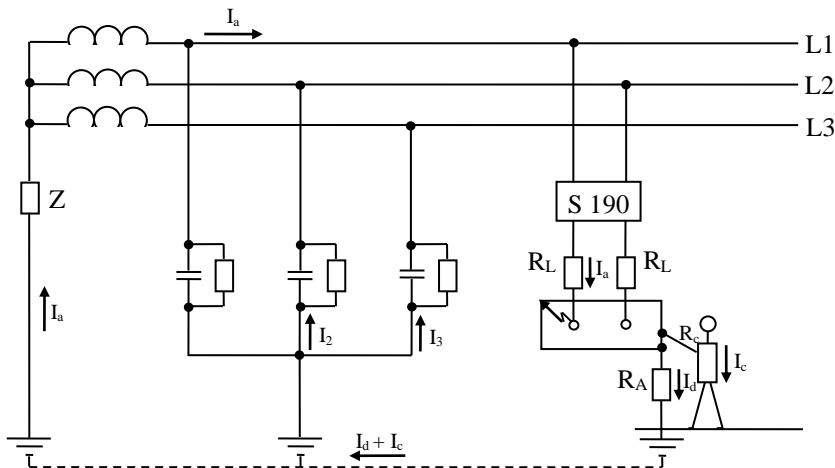
gdzie:  $I_a$  – prąd zapewniający zadziałanie urządzenia ochronnego,

$R_A$  – całkowita rezystancja uziomu i przewodu ochronnego łączącego części przewodzące z ziemią.

Jako zabezpieczenia powinno się stosować urządzenia ochronne zapewniające natychmiastowe wyłączenie lub wyłączające w czasie nie dłuższym niż 5 s.

### c) w układzie IT

Przykładowy przypadek zagrożenia porażeniem elektrycznym przedstawiono na rys. 7.14.



Rys. 7.14. Przykładowe zwarcie pojedyncze w układzie IT



Przy zwarciu części czynnej z częścią przewodzącą dostępną, na obudowie pojawia się napięcie dotykowe  $U_d$ :

$$U_d = I_d \cdot R_A \quad (7.7)$$

które wywoła przepływ prądu  $I_c$  przez rezystancję ciała człowieka  $R_c$  (wzór 7.3). Wartość prądu  $I_d$  jest ograniczona pojemnościami przewodów fazowych L2 i L3 układu sieciowego względem ziemi. Jeżeli napięcie  $U_d$  przekroczy wartość napięcia dotykowego dopuszczalnego długotrwale  $U_L$  w danych warunkach środowiskowych, to prąd  $I_a$  powinien spowodować zadziałanie zabezpieczenia w odpowiednim czasie, a tym samym wyłączenie zasilania.

Ochrona przeciwporażeniowa jest skuteczna, jeśli spełniony jest następujący warunek:

$$R_A \cdot I_d \leq U_L \quad (7.8)$$

gdzie:  $I_d$  – prąd jednofazowego zwarcia z ziemią przy pomijalnej impedancji pomiędzy przewodem fazowym a częścią przewodzącą dostępną,  
 $R_A$  – całkowita rezystancja uziomu i przewodu ochronnego łączącego części przewodzące dostępne z uziomem.

Podczas wyznaczania wartości prądu  $I_d$  należy uwzględnić:

- prądy upływowe;
- całkowitą impedancję uziemień w układzie (reaktancję pojemnościową i rezystancję pomiędzy przewodami fazowymi a ziemią oraz impedancję pomiędzy punktem neutralnym a ziemią).

Należy podkreślić, że w tym układzie ważna jest szybkość usunięcia pojedynczego zwarcia z ziemią. Powoduje ono wzrost wartości pozostałych napięć fazowych o  $\sqrt{3}$  i stwarza zagrożenie porażeniem w przypadku zwarcia z ziemią drugiej fazy.

Tabela 7.5. Maksymalne dopuszczalne czasy szybkiego wyłączenia w układzie IT, wg [3, 4]

Napięcie znamionowe instalacji	Dla napięcia dotykowego dopuszczalnego długotrwale			
	$U_L \leq 50V\sim, U_L \leq 120V-$		$U_L \leq 25V\sim, U_L \leq 60V-$	
	t		t	
$U_o/U_n$	[s]		[s]	
	bez przewodu N	z przewodem N	bez przewodu N	z przewodem N
120/230	0.80	5.0	0.40	1.0
230/400	0.40	0.8	0.20	0.5
277/480	0.20	0.4	0.20	0.5
400/690	0.20	0.4	0.06	0.2
580/1000	0.10	0.2	0.02	0.08

## 7.5. Napięcie dotykowe

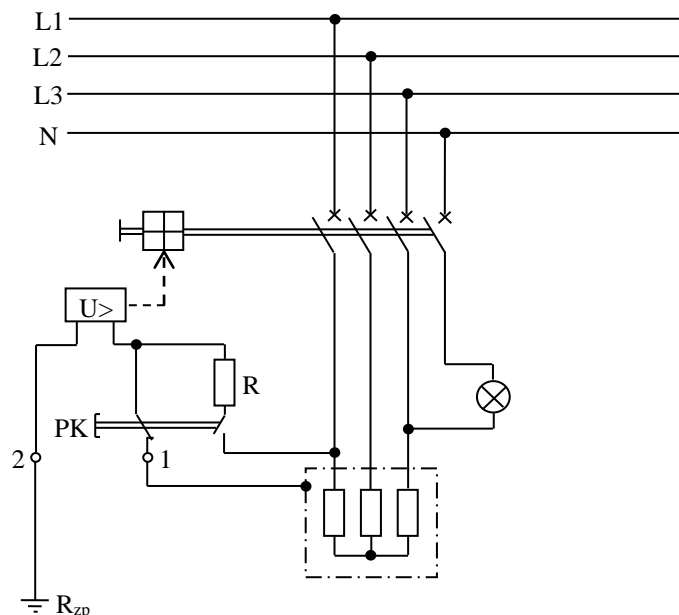
Napięcie dotykowe  $U_d$  jest to napięcie występujące w warunkach normalnych lub mogące pojawić się w warunkach zakłóceń pomiędzy dwiema częściami przewodzącymi jednocześnie dostępnymi lub między częścią przewodzącą dostępną i częścią przewodzącą obcą. W warunkach normalnych nie powinno przekraczać napięcia dotykowego dopuszczalnego długotrwale  $U_L$ .

## 7.6. Wyłącznik ochronny nadnapięciowy

Wyłączniki ochronne nadnapięciowe są to aparaty wyposażone w cewkę napięciową przeznaczone do stosowania jako urządzenia ochrony przeciwporażeniowej przed dotykiem pośrednim [2]. Cewkę napięciową łączy się z jednej strony z obudową chronionego urządzenia (zacisk 1), z drugiej zaś z uziomem pomocniczym (zacisk 2) tak jak to pokazano na rys. 7.15. Uziom pomocniczy powinien być wykonany w miejscu pozostającym poza strefą oddziaływania (rozplątów prądów) innych uziomów.

Wyłączniki ochronne nadnapięciowe powinny zadziałać (wyłączyć obwód), gdy napięcie względem ziemi na chronionych urządzeniach przekroczy wartość, na którą przełącznik nadnapięciowy jest nastawiony. Czas działania nie może być dłuższy niż 0,2 s.

Działanie wyłącznika jest uzależnione od rezystancji uziemienia uziomu pomocniczego  $R_{zp}$ . Dopuszcza się znaczne wartości rezystancji uziemienia, ok.  $200 \div 500 \Omega$ , ponieważ moc potrzebna do zadziałania przełącznika jest bardzo mała. Wyłączniki są wyposażone w przycisk kontrolny PK umożliwiający sprawdzenie sprawności działania samego wyłącznika oraz istnienie połączenia z uziomem pomocniczym. W ten sposób nie sprawdza się jednak poprawności połączeń między obudową chronionego urządzenia a wyłącznikiem.



Rys. 7.15. Wyłącznik ochronny nadnapięciowy: PK – przycisk kontrolny,  
1 – zacisk do połączenia z obudową chronionego urządzenia,  
2 – zacisk do połączenia z uziomem pomocniczym

W sieciach TN stosowanie wyłączników ochronnych nadnapięciowych jako jedynego środka ochrony przeciwporażeniowej nie jest dopuszczalne. Wyłączniki powinny działać niezawodnie przy napięciu  $48 \div 52 \text{ V}$ , a działanie to powinno być niezależne od działania urządzeń ochronnych przetężeniowych lub wyłączników różnicowoprądowych. Same wyłączniki nadnapięciowe nie powinny ograniczać w żaden sposób działania innych urządzeń ochronnych.

W sieciach TT oraz IT wyłączniki ochronne nadnapięciowe mogą być jedynymi urządzeniami ochrony przeciwporażeniowej.

Wyłączniki ochronne nadnapięciowe nie są rozpowszechnione głównie ze względu na:

- trudności w zapewnieniu selektywnego działania przy większej liczbie chronionych urządzeń, których obudowy są ze sobą metalicznie połączone przewodem ochronnym PE lub łączą się w sposób naturalny przez konstrukcje i zbrojenia,

- konieczność wykonywania dodatkowych uziomów pomocniczych,
- wymaganą szczególnie staranną eksploatację.

Znajdują zastosowanie tam, gdzie inne urządzenia i środki ochrony przeciwporażeniowej z różnych przyczyn nie mogą być używane lub nie zapewniają wymaganej skuteczności działania.

Wyłączników ochronnych nadnapięciowych w nowych instalacjach w zasadzie się nie stosuje.

### **Literatura:**

1. PN-91/E-05010 Zakresy napięciowe instalacji elektrycznych w obiektach budowlanych.
2. Markiewicz H.: Bezpieczeństwo w elektroenergetyce. WNT, Warszawa 1999 r.
3. PN-IEC 60364-4-41 Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przeciwporażeniowa.
4. PN-IEC 364-4-481 Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Dobór środków ochrony przeciwporażeniowej w zależności od wpływów zewnętrznych.