



---

## **Kable i przewody (nn, SN, WN)**

Ochrona przeciwporażeniowa urządzeń elektrycznych,  
których funkcjonowanie jest niezbędne w czasie pożaru  
(zagadnienia wybrane)

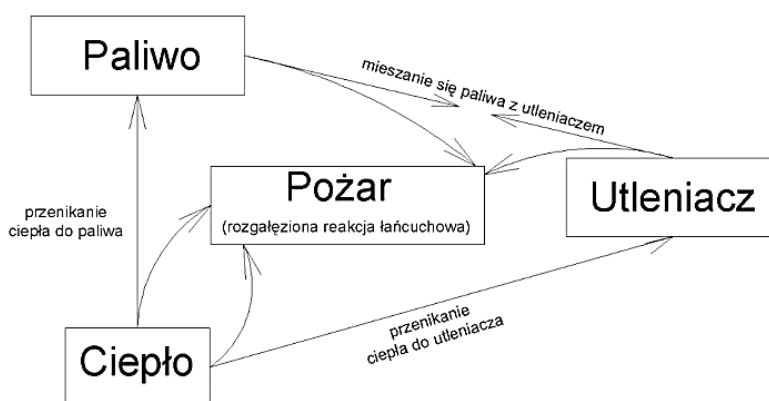
mgr inż. Julian Wiatr

## Wstęp

W referacie przedstawiono wpływ temperatury pożaru na rezystancje przewodów elektrycznych, zasilających urządzenia funkcjonujące w czasie pożaru. Wykazano nieprzydatność wyłączników różnicowoprądowych do zabezpieczania obwodów zasilających urządzenia elektryczne, których funkcjonowanie jest niezbędne w czasie pożaru. Omówiono możliwe do wykorzystania w tych obwodach sposoby ochrony przeciwporażeniowej, zgodnie z wymaganiami normy PN-HD 60364-4-41: 2009 Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Część 4-41-instalacje dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przed porażeniem elektrycznym

## Opis środowiska pożarowego i jego wpływ na rezystancję przewodów zasilających urządzenia przeciwpożarowe, których funkcjonowanie jest niezbędne w czasie pożaru

Do powstania pożaru potrzebne są trzy czynniki: materiał palny, tlen oraz źródło ciepła o dostatecznie dużej energii umożliwiającej zapłon materiału palnego. Na rysunku 1 został przedstawiony tzw. trójkąt pożarowy, obrazujący zależność czynników decydujących o powstaniu pożaru.



Rys.1. Warunki niezbędne do powstania pożaru, tzw. trójkąt pożarowy [4].

Rozwój pożaru w budynku jest uzależniony od źródła inicjacji pożaru, składu i ilości materiałów palnych, powierzchni, orientacji i geometrii pomieszczenia oraz lokalizacji i wielkości otworów wentylacyjnych.

Dla oceny skutków pożaru oraz możliwości prowadzenia badań laboratoryjnych opracowane zostały modele matematyczne opisujące przebiegi różnych pożarów określane jako krzywe pożarowe „temperatura-czas”,  $T = f(t)$ .

Zostały one zdefiniowane w normie PN - EN 1363-2:2001 [5], gdzie nadano im następujące nazwy:

- krzywa normowa,
- krzywa węglowodorowa,
- krzywa zewnętrzna,
- krzywe parametryczne,
- krzywe tunelowe.

Najbardziej znana jest krzywa normowa „temperatura – czas”,  $T=f(t)$ , obrazująca pożary celulozowe, która jest powszechnie stosowana w badaniach ogniowych budynków.

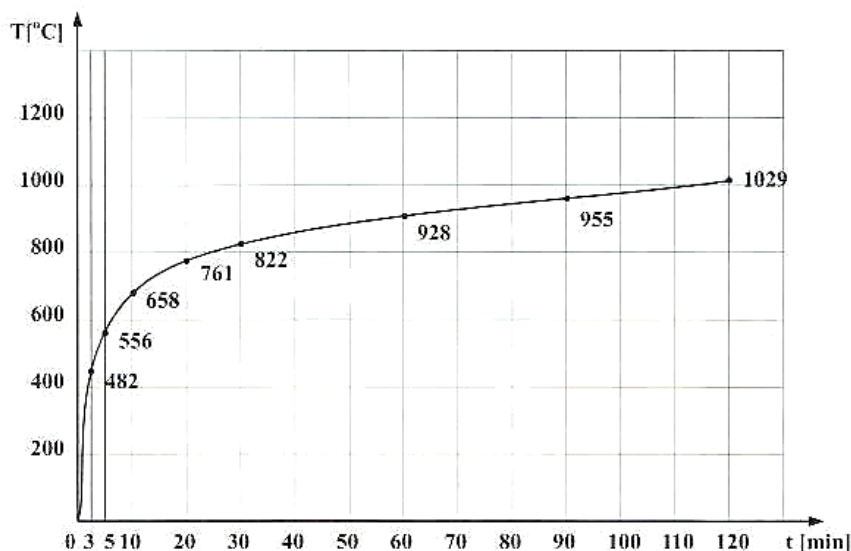
Krzywą tę opisuje następujące równanie [5]:

$$T = 345 \cdot \lg(8t + 1) + 20 \quad (1)$$

gdzie:

$T$  – temperatura, w [ $^{\circ}$ C],  
 $t$  – czas, w [min].

Graficzny przebieg krzywej normowej  $T=f(t)$ , przedstawia rysunku 2.



Rys.2. Krzywa normowa „temperatura – czas”,  $T=f(t)$ , obrazująca pożary celulozowe [5].

Podczas pożaru w budynku temperatura po około 30 minutach od chwili jego zainicjowania osiąga średnio wartość około  $800^{\circ}\text{C}$  i wykazuje nieznaczne tendencje wzrostowe wraz z upływem czasu jego trwania.

Wraz ze wzrostem temperatury otoczenia, maleje rezystancja przewodów elektrycznych. Zgodnie z prawem Wiedemanna – Franza – Lorentza „stosunek przewodnictwa cieplnego i przewodnictwa elektrycznego w dowolnym metalu jest wprost proporcjonalny do temperatury”:

$$\frac{\lambda}{\gamma} = L \cdot T \quad (2)$$

gdzie:

- $\gamma$  – konduktywność przewodnika, w  $[\text{m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2)]$ ,
- $\lambda$  – współczynnik przewodności cieplnej przewodnika, w  $[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$ ,
- $L$  – stała Lorentza  $2,44 \cdot 10^{-8} [(\text{W} \cdot \Omega)/\text{K}^2]$ ,
- $T$  – temperatura przewodnika, w  $[\text{K}]$ .

Wraz ze wzrostem temperatury wzrastają amplitudy drgań atomów w węzłach sieci, co skutkuje wzrostem prawdopodobieństwa zderzeń elektronów prowadzącym w konsekwencji do zmniejszenia ich ruchliwości. Zmniejszenie ruchliwości elektronów jest jednoznaczne ze zmniejszeniem konduktywności przewodu a tym samym ze wzrostem jego rezystancji.

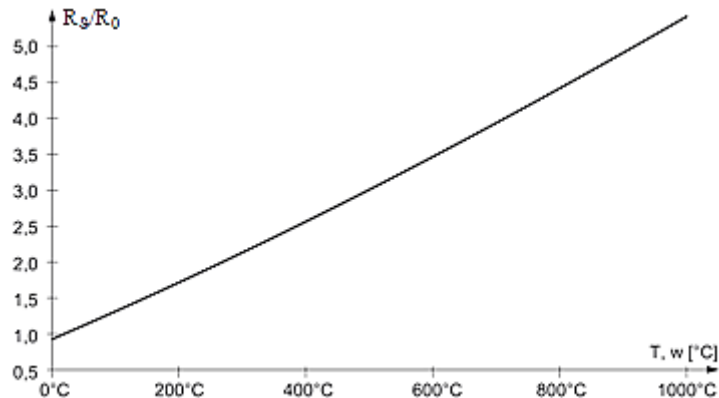
Spodziewaną wartość rezystancji przewodu narażonego na działanie temperatury pożaru można wyznaczyć ze wzoru (3) [4]:

$$R_g = R_0 \cdot \left(\frac{T_g}{293}\right)^{1,16} \quad (3)$$

gdzie:

- $R_g$  – rezystancja przewodu w temperaturze  $T_g$ , w  $[\Omega]$ ,
- $T_g$  – temperatura końcowa, w której oblicza się rezystancje przewodu  $R_g$ , w  $[\text{K}]$ ,
- $R_0$  – rezystancja przewodu w temperaturze  $20^{\circ}\text{C}$ , w  $[\Omega]$ .

Na rysunku 3 przedstawiono zmienność rezystancji przewodu funkcji temperatury, odniesioną do rezystancji przewodu w temperaturze  $20^{\circ}\text{C}$ ,  $R_g/R_0 = f(T)$ .



Rys.3. Zmienność rezystancji przewodów funkcji temperatury, odniesiona do rezystancji przewodu w temperaturze 20<sup>o</sup> C,  $R_g/R_0 = f(T)$  [7].

Uwaga!

Prawo Wiedemana-Franza-Lorentza nie jest spełnione dla wszystkich metali, jednak w odniesieniu do metali stosowanych do produkcji kabli i przewodów elektrycznych znajduje pełne zastosowanie.

Wymagany przekrój przewodów zasilających urządzenia przeciwpożarowe, które muszą funkcjonować w czasie pożaru ze względu na dopuszczalny spadek napięcia należy wyznaczyć z uwzględnieniem wzrostu rezystancji wynikającego z prawa Wiedemanna-Franza-Lorentza. Zgodnie z wymaganiami normy [4], wymagany przekrój należy obliczyć ze wzorów:

- dla obwodów trójfazowych

$$S \geq \frac{l \cdot k_p}{\gamma \cdot \left( \frac{\Delta U_{dop\%} \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot I_B \cdot \cos \varphi_n} - X \cdot \operatorname{tg} \varphi_n \right)} \quad (4)$$

- dla obwodów jednofazowych

$$S \geq \frac{l \cdot k_p}{\gamma \cdot \left( \frac{\Delta U_{dop\%} \cdot U_{nf}}{200 \cdot I_B \cdot \cos \varphi_n} - X \cdot \operatorname{tg} \varphi_n \right)} \quad (5)$$

gdzie:

$\Delta U_{dop\%}$  – dopuszczalny spadek napięcia określony w normie N SEP-E 002 *Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Instalacje elektryczne w obiektach mieszkalnych. Podstawy planowania*, w [%],

$l$  – długość trasy przewodowej, w [m],

$U_n$  – napięcie nominalne, w [V],

$I_B$  – spodziewany prąd obciążenia, w [A],

$\gamma$  – konduktywność przewodu zasilającego, w [m/( $\Omega \cdot \text{mm}^2$ )],

$$\operatorname{tg} \varphi_n = \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \varphi_n} - 1} \quad (6)$$

$\cos \varphi_n$  – współczynnik mocy zasilanego urządzenia, w [-],

$X$  – reaktancja przewodu (linii) zasilającej, gdzie  $X = x' \cdot l$ , w [ $\Omega$ ],

$x'$  – jednostkowa reaktancja przewodów, przyjmowana jako:

a) dla linii kablowych [7]:

- $U < 1$  kV:  $x' = 0,08$  [ $\Omega/\text{km}$ ],
- $U \geq 1$  kV:  $x' = 0,1$  [ $\Omega/\text{km}$ ].

b) dla instalacji nn [7]:

- układanych w rurze stalowej:  $x' = 0,15$  [ $\Omega/\text{km}$ ],
- układanych bez rury :  $x' = 0,15$  [ $\Omega/\text{km}$ ].

$k_p$  – współczynnik poprawkowy uwzględniający wzrost rezystancji przewodu wskutek działania temperatury pożaru określony wzorem (7):

$$k_p = \frac{R_g}{R_0} \quad (7)$$

$R_g$  – spodziewana rezystancja przewodu podczas pożaru, w [ $\Omega$ ],

$R_0$  – rezystancja przewodu w warunkach normalnej eksploatacji, w [ $\Omega$ ],

$U_{nf}$  – napięcie pomiędzy przewodem fazowym a przewodem neutralnym, w [V].

W związku ze wzrostem rezystancji przewodu zasilającego powodowanej działaniem temperatury pożaru, należy liczyć się ze zmniejszeniem spodziewanych prądów zwarciovych. Zatem dla uzyskania skutecznej ochrony przeciwporażeniowej realizowanej przez samoczynne wyłączenie konieczne będzie zwiększenie przekroju przewodów zasilających urządzenia elektryczne, których funkcjonowanie jest niezbędne w czasie pożaru do wartości gwarantujących spełnienie warunku samoczynnego wyłączenia określonego w normach [3] oraz [5].

## Ochrona przeciwporażeniowa odbiorników energii elektrycznej, których funkcjonowanie jest niezbędne w czasie pożaru.

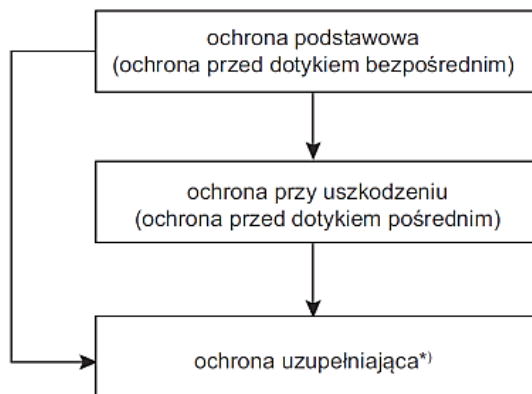
### Ochrona podstawowa

Wyróżniamy następujące rodzaje ochrony przeciwporażeniowej w obwodach, których funkcjonowanie jest niezbędne w czasie pożaru:

- ochrona podstawowa,
- ochrona przy uszkodzeniu,
- ochrona uzupełniająca realizowana z wykorzystaniem dodatkowych połączeń wyrównawczych<sup>1</sup>.

Celem ochrony uzupełniającej jest zwiększenie skuteczności ochrony podstawowej w przypadku nieskutecznego działania środków ochrony podstawowej oraz ochrony przy uszkodzeniu.

Wzajemne powiązanie poszczególnych rodzajów ochrony przeciwporażeniowej przedstawia rysunek 4.



Rys.4. Wzajemne zależności pomiędzy poszczególnymi rodzajami ochrony przeciwporażeniowej [6].

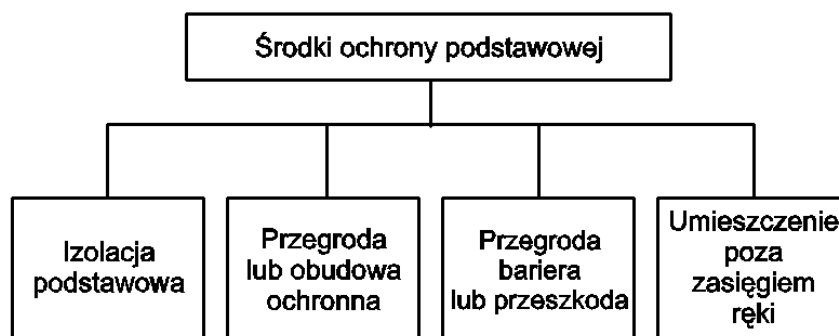
<sup>1</sup> Kategorycznie zabrania się stosowania do ochrony uzupełniającej wyłączników różnicowoprądowych, które są wyszczególnione w normie [3].

Zgodnie z normą [3], każdy środek ochrony powinien składać się z:

- odpowiedniej kombinacji niezależnych środków zapewniających ochronę podstawową i ochronę przy uszkodzeniu
- środka ochrony wzmocnionej zapewniającej ochronę podstawową i ochronę przy uszkodzeniu.

Zgodnie z wymaganiami normy [4], jako środek ochrony przy uszkodzeniu w instalacjach elektrycznych zasilających urządzenia, których funkcjonowanie jest niezbędne w czasie pożaru, dopuszcza się samoczynne wyłączenie w układzie zasilania TN.

Spośród środków ochrony podstawowej przedstawionych na rysunku 5, w instalacjach elektrycznych które muszą funkcjonować w czasie pożaru, dopuszcza się jedynie izolacje podstawową pod warunkiem spełnienia cechy ognioodporności przez wymagany czas np. 90 minut.



Rys.5. Środki podstawowej ochrony przeciwporażeniowej [7].

## Ochrona przy uszkodzeniu

Zadaniem ochrony przy uszkodzeniu jest niedopuszczenie do porażenia prądem elektrycznym w przypadku uszkodzenia izolacji lub jej zniszczenia.

Do środków ochrony przy uszkodzeniu, dopuszczonych do stosowania w instalacjach przewidzianych do funkcjonowania w czasie pożaru należy zaliczyć:

- samoczynne wyłączenie zasilania w układzie TN (TN-S; TN-C-S; TN-C),
- samoczynne wyłączenie zasilania w układzie IT<sup>2</sup>,
- nieziemione połączenia wyrównawcze miejscowe,
- obniżenie napięcia dotykowego do wartości dopuszczalnej długotrwale.

## Ocena skuteczności samoczynnego wyłączenia w układach TN

Ochronę przez samoczynne wyłączenie w liniach nn pracujących w układzie TN uznaje się za skuteczną, jeżeli spełniony jest poniższy warunek:

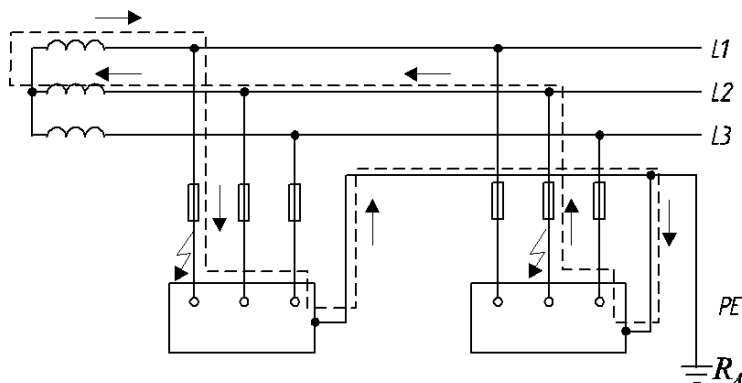
$$I_{k1} = \frac{U_o}{Z_{k1}} \geq I_a \quad (8)$$

gdzie:

- $Z_{k1}$  – impedancja pętli zwarciowej obejmująca źródło zasilania zwarcia, przewód czynny od źródła do miejsca zwarcia i przewód ochronny między punktem zwarcia a źródłem zasilania, w  $[\Omega]$ ,
- $I_a$  – prąd wyłączający zabezpieczenie w czasie nie dłuższym od podanego w tabeli 1, w  $[A]$ ,
- $U_o$  – napięcie pomiędzy przewodem fazowym a uziemionym przewodem PE (PEN), w  $[V]$ ,
- $I_{k1}$  – spodziewany prąd zwarcia jednofazowego, w  $[A]$ .

<sup>2</sup> Układ zasilania IT może być stosowany jedynie wtedy gdy przy drugim zwarciu przejdzie w układ zasilania TN, a samoczynne wyłączenie zasilania nastąpi w czasie nie dłuższym od określonego w normie [3].

Graficznie obwód zwarcia przy uszkodzeniu w odbiorniku zasilanym w układzie TN-C-S, został przestawiony na rysunku 6.



Rys.6. Schemat obwodu zwarcia w układzie sieci TN-C-S [7].

Dopuszczalne czasy samoczynnego wyłączenia zasilania w instalacjach wykonanych w układzie TN oraz układzie TT<sup>3</sup> podczas zwarc, zgodne z wymaganiami normy [3] przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Dopuszczalny czas wyłączenia w układzie TN [3].

Układ sieci	50 V < U <sub>o</sub> ≤ 120 V [s]		120 V < U <sub>o</sub> ≤ 230 V [s]		230 V < U <sub>o</sub> ≤ 400 V [s]		U <sub>o</sub> > 400 V [s]	
	a.c.	d.c.	a.c.	d.c.	a.c.	d.c.	a.c.	d.c.
TN	0,8	Wyłączenie może być wymagane z innych przyczyn niż ochrona przeciwporażeniowa	0,4	5	0,2	0,4	0,1	0,1
TT	0,3		0,2	0,4	0,07	0,2	0,04	0,1

Wyznaczenie impedancji obwodu zwarcia jednofazowego jest uzależnione od źródła zasilającego:

- System Elektroenergetyczny,
- zespół prądotwórczy.

Przy zasilaniu z Systemu Elektroenergetycznego, impedancję obwodu zwarcia jednofazowego należy wyznaczyć ze wzoru (9) [4]:

$$Z_{k1} = \sqrt{(R_T + R_p + R_g)^2 + (X_T + X_p + X_g)^2} \quad (9)$$

Natomiast przy zasilaniu z generatora zespołu prądotwórczego, impedancję obwodu zwarcia jednofazowego należy wyznaczyć ze wzoru (10) [4]:

$$Z_{k1} = \sqrt{(R_G + R_p + R_g)^2 + (X_{k1G} + X_p + X_g)^2} \quad (10)$$

gdzie:

$R_T$  – rezystancja uzwojeń transformatora zasilającego, w [Ω],

$R_p$  – rezystancja przewodów zasilających budynek, w [Ω],

$R_g$  – rezystancja przewodów obwodu zasilającego urządzenia ppoż., których funkcjonowanie jest niezbędne podczas pożaru, określona z wykorzystaniem wzoru (3), w [Ω],

$R_G$  – rezystancja generatora zespołu prądotwórczego, określona wzorem (11) [4]:

<sup>3</sup> Układ zasilania TT, zgodnie z normą [4], nie jest dopuszczony do zabezpieczania obwodów zasilania urządzeń elektrycznych, których funkcjonowanie jest niezbędne w czasie pożaru z uwagi na konieczność stosowania w nim wyłączników różnicowoprądowych, których stosowanie w obwodach zasilających urządzenia ppoż. jest zabronione.

$$R_G = 0,03 \cdot \frac{U_{nG}^2}{S_{nG}} \quad (11)$$

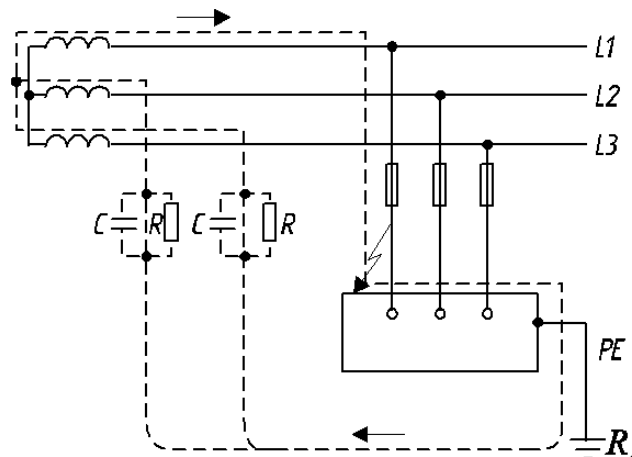
- $U_{nG}$  – napięcie znamionowe generatora, w [kV],  
 $S_{nG}$  – znamionowa moc pozorna generatora, w [MVA],  
 $X_T$  – reaktancja uzwojeń transformatora zasilającego, w [ $\Omega$ ],  
 $X_p$  – reaktancja przewodów zasilających budynek, w [ $\Omega$ ],  
 $X_\theta$  – reaktancja przewodów obwodu zasilającego urządzenia ppoż., których funkcjonowanie jest niezbędne podczas pożaru, w [ $\Omega$ ],  
 $X_{k1G}$  – reaktancja generatora zespołu prądotwórczego, określona wzorem (12) [4]:

$$X_{k1G} = \frac{1}{n} \cdot \frac{U_{nG}^2}{S_{nG}} \quad (12)$$

- $n$  – krotność prądu znamionowego generatora  $I_{nG}$ , podczas zwarcia na jego zaciskach ( $I_k = n \cdot I_{nG}$ ), przyjmowana zgodnie z DTR producenta zespołu prądotwórczego, w [-]

## Ocena skuteczności samoczynnego wyłączenia w układach IT

Graficznie obwód zwarcia w instalacji o układzie zasilania IT bez przewodu neutralnego został przedstawiony na rysunku 7.

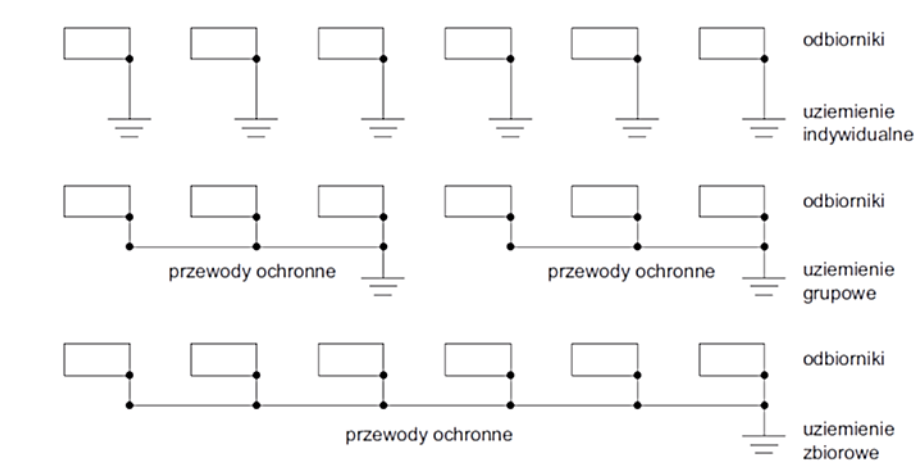


Rys.7. Obwód zwarcia jednofazowego w układzie sieci IT bez przewodu neutralnego [7].

Instalacja wykonana w układzie zasilania IT, przy zwarcu jednej fazy z ziemią nie stwarza zagrożenia porażeniowego, pod warunkiem że prąd zwarciový spowoduje powstanie napięcia dotykowego na częściach przewodzących dostępnych chronionego urządzenia o wartości  $U_{ST} \leq U_L$ .

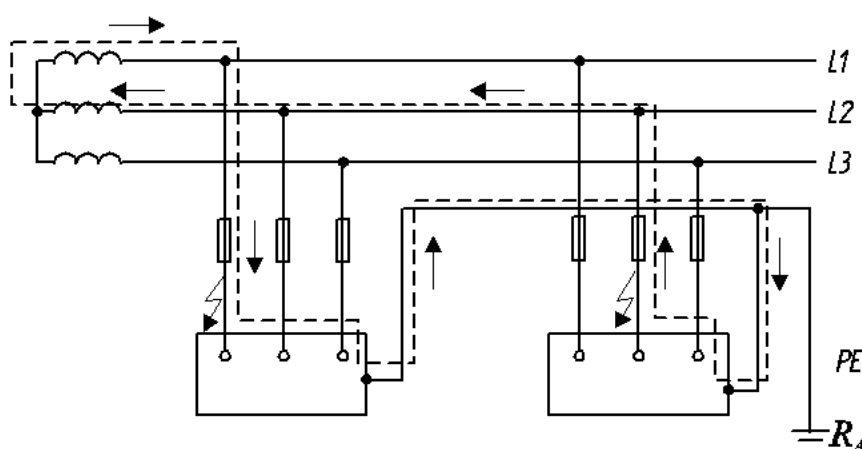
Dla zachowania bezpieczeństwa w instalacjach o układzie zasilania IT należy instalować Układ Kontroli Stanu Izolacji (UKSI), w celu zasygnalizowania powstałego pojedynczego zwarcia, tak by możliwa była szybka reakcja polegająca na usunięciu uszkodzenia w celu niedopuszczenia do powstania drugiego zwarcia. Układ ten w warunkach pożaru staje się nieprzydatny, a drugie zwarcie w zależności od sposobu uziemienia zasilanych odbiorników (rysunek 8) przekształca układ zasilania IT w układ TT lub TN. Ponieważ zgodnie z wymaganiami normy [4], do zasilania urządzeń elektrycznych, których funkcjonowanie jest niezbędne w czasie pożaru należy stosować układ zasilania TN, należy dla wszystkich odbiorników zasilanych w układzie IT z jednego źródła przyjąć uziemienie grupowe. Takie rozwiązanie gwarantuje przy podwójnym zwarcu przekształcenie układu IT w układ TN, dla którego należy zagwarantować samoczynne wyłączenie zasilania w czasie nie dłuższym od określonego w tabeli 1.





Rys.8: Sposoby uziemień części przewodzących dostępnych [8].

Graficznie obwód prądu zwarciovego dla zwarcia podwójnego, w którym występuje uziemienie zbiorowe, został przedstawiony na rysunku 9.



Rys.9: Obwód zwarcia podwójnego w układzie sieci IT bez przewodu neutralnego[5].

Natomiast warunek samoczynnego wyłączenia należy określić ze wzoru (13) lub (14) w zależności od tego czy układ zasilania posiada przewód neutralny lub nie:

a) dla układu nieposiadającego przewodu neutralnego:

$$I_k = \frac{U_n}{2 \cdot Z_S} \geq I_a \quad (13)$$

b) dla układu posiadającego przewód neutralny:

$$I_k = \frac{U_0}{2 \cdot Z'_S} \geq I_a \quad (14)$$

gdzie:

$Z_S$  – impedancja części pętli zwarciovowej obejmującej przewód fazowy i przewód ochronny obwodu jednego z odbiorników, w  $[\Omega]$ ,

$Z'_S$  – impedancja części pętli zwarciovowej obejmująca przewód neutralny i przewód ochronny obwodu jednego z odbiorników, w  $[\Omega]$ ,

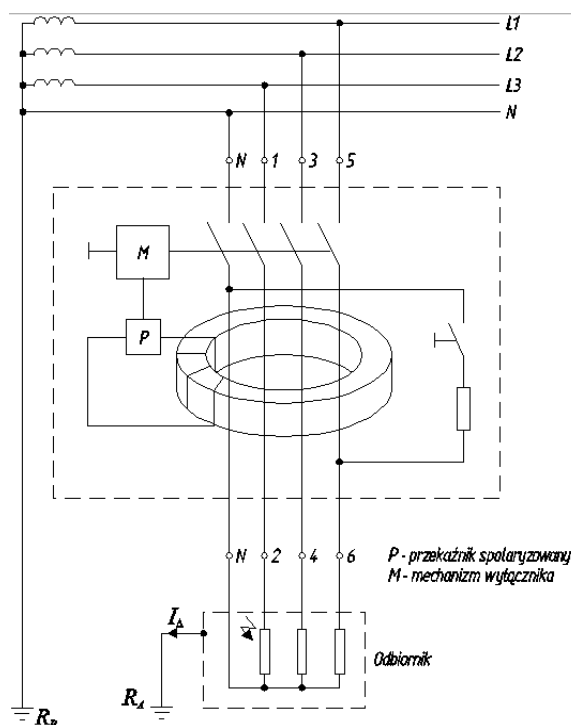
$I_a$  – prąd wyłączający zasilanie w czasie określonym w tabeli 1, dla układu zasilania TN w [A],

$U_0$  – napięcie pomiędzy przewodem fazowym a uziemionym przewodem ochronnym, w [V],

$U_n$  – napięcie międzyfazowe, w [V].

# Wyłącznik różnicowoprądowy – urządzenie nieprzydatne w instalacjach zasilających urządzenia przeciwpożarowe

Uproszczony schemat wyłącznika różnicowoprądowego przedstawia rysunek 10.



Rys.10: Uproszczony schemat wyłącznika różnicowoprądowego [7].

Wyłącznik różnicowoprądowy reaguje na upływ prądu doziemnego. Jego działanie opiera się na pierwszym prawie Kirchoffa, co oznacza że suma prądów dopływających (fazowych) musi być równa prądowi odpływającemu w przewodzie neutralnym:

$$(I_{L1} + I_{L2} + I_{L3}) - I_N = 0 \quad (15)$$

Każdy wyłącznik różnicowoprądowy charakteryzowany jest przez podanie jego parametrów znamionowych, gdzie z punktu widzenia ochrony przeciwporażeniowej, najistotniejszy jest znamionowy prąd różnicowy. Poprawnie działający wyłącznik różnicowoprądowy powinien przerwać dopływ prądu po spełnieniu równania (16):

$$(I_{L1} + I_{L2} + I_{L3}) - I_N \geq (0,5 - 1)I_{\Delta n} \quad (16)$$

W każdej instalacji elektrycznej wskutek skończonej wartości rezystancji izolacji występuje prąd upływu doziemnego i dopóki równanie (16) nie zostanie spełnione, poprawnie działający wyłącznik nie przerwie dopływu prądu do odbiornika.

Pod działaniem temperatury pożaru jonizacji ulega izolacja przewodów skutkując zwiększonymi prądami upływu doziemnego, które mogą prowadzić do niekontrolowanego działania wyłączników różnicowoprądowych prowadząc do pozbawienia funkcji zasilanych urządzeń. Zjawisko to powoduje, że wyłącznik różnicowoprądowy nie nadaje się do stosowania w obwodach zasilających urządzenia przeciwpożarowe, których funkcjonowanie jest niezbędne w czasie pożaru.

## Ochrona przeciwporażeniowa przy uszkodzeniu przez obniżenie napięcia dotykowego

W przypadku gdy spełnienie warunku samoczynnego wyłączenia w instalacji zasilanej z generatora zespołu prądowórczego lub innego źródła zasilania będącego źródłem rezerwowym, zgodnie z wymaganiami normy [6], jest niemożliwe, należy przeprowadzić ocenę skuteczności ochrony przeciwporażeniowej przy uszkodzeniu (przed dotykem pośrednim) przez sprawdzenie, czy w czasie zwarcia doziemnego o prądzie zwarciovym równym  $I_a$  wystąpiłoby na częściach przewodzących dostępnych napięcie dotykowe o wartości nie przekraczającej napięcia dotykowego, dopuszczalnego długotrwale. Jako napięcie dotykowe dopuszczalne długotrwale, zgodnie z wymaganiami normy [4], należy przyjmować napięcia o wartości  $U_L=25$  V ac lub 60 V dc. Dla zachowania skutecznej ochrony przeciwporażeniowej przez obniżenie napięcia dotykowego do wartości dopuszczalnej długotrwale należy części przewodzące dostępne chronionego urządzenia połączyć z Główną Szyną Uziemiającą budynku (GSU).

Zgodnie z wymaganiami określonymi w normie [3], ochronę przeciwporażeniową należy uznać za skuteczną, jeżeli napięcie dotykowe  $U_{ST}$  nie przekracza wartości napięcia dopuszczalnego długotrwale w danych warunkach środowiskowych, czyli:

$$U_{ST} = I_a * Z_{PE} \leq U_L \quad (17)$$

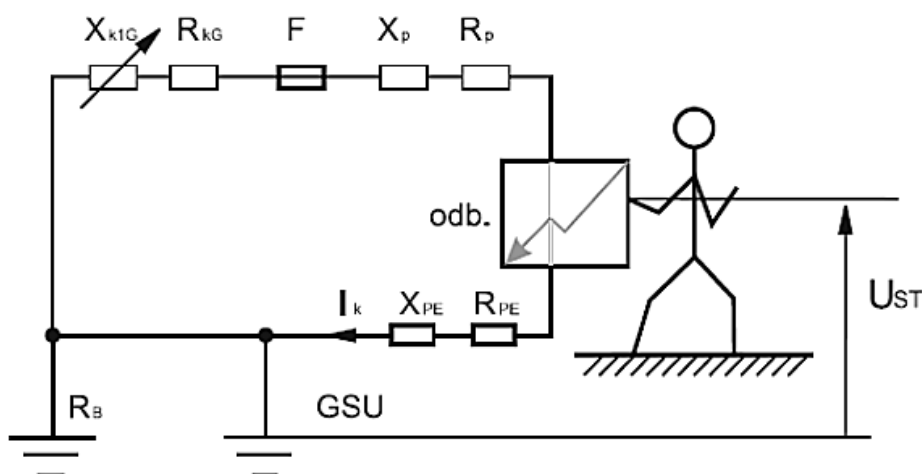
Wymagany przekrój przewodu ochronnego, łączącego chronione urządzenie z GSU, należy wyznaczyć ze wzoru (18), który uzyskuje się w wyniku przekształceń wzoru (16), przy założeniu, że  $U_{ST} = U_L$  oraz  $Z_{PE} = R_{PE}$ :

$$S_{PE} \geq \frac{k_p \cdot I_a \cdot l}{U_L \cdot \gamma} \quad (18)$$

gdzie:

- $I_a$  – prąd wyłączający zabezpieczane chronionego odbiornika w czasie określonym w tabeli 1, w [A],
- $Z_{PE}$  – wartość impedancji przewodu ochronnego PE między rozpatrywaną częścią przewodzącą dostępną a głównym połączeniem wyrównawczym, w [ $\Omega$ ],
- $U_L$  – napięcie dotykowe dopuszczalne długotrwale, w [V],
- $k_p$  – współczynnik wzrostu rezystancji przewodu, określony wzorem (6), w [-],
- $S_{PE}$  – wymagany przekrój żyły przewodu ochronnego, w [ $\text{mm}^2$ ].

Zależność określona wzorem (18) przy zasilaniu z generatora zespołu prądowórczego lub innego źródła rezerwowego określonego w normie [6] wynika bezpośrednio z rysunku 11.



Rys. 11. Napięcie dotykowe  $U_{ST}$  na obudowie uszkodzonego odbiornika przy zwarciu jednofazowym z ziemią [3].

Dokładna analiza wzoru (18) oraz rysunku 11, prowadzi do oceny dwóch przypadków:

- jeżeli  $I_k < I_a$  – czy spodziewane napięcie dotykowe  $U_{ST}$  jakie powstanie na częściach przewodzących dostępnych chronionego urządzenia, w warunkach zakłóconych nie przekroczy napięcia dotykowego dopuszczalnego długotrwale  $U_L$ ,
- jeżeli  $I_k \geq I_a$  – czy nastąpi samoczynne wyłączenie zasilania w czasie nie dłuższym od określonego w tabeli 1.

Przyjęcie takiego sposobu rozwiązania ochrony przeciwporażeniowej gwarantuje jej zachowanie przy dowolnej wartości spodziewanego prądu zwarciovego.

## Wnioski

Podczas pożaru występuje wysoka temperatura, pod działaniem której ulega zwiększeniu rezystancja przewodów zasilających. Zapewnienie ognioodporności przewodów zasilających przez wymagany czas pracy urządzeń oraz zachowania ciągłości dostawy energii, określone w Rozporządzeniu [1] jest wymaganiem koniecznym lecz nie dostatecznym. Wzrost rezystancji przewodów zasilających powoduje wzrost spadków napięć skutkując pogorszeniem pracy zasilanych urządzeń. Oprócz pogorszonej jakości dostarczanej energii, zmniejszeniu ulegają spodziewane prądy zwarciovowe, które mogą prowadzić do nieskutecznej ochrony przeciwporażeniowej.

Pod działaniem wysokiej temperatury, izolacja przewodów ulega degradacji czego skutkiem są zwiększone upływy prądów doziemnych, które mogą prowadzić do niekontrolowanych wyłączeń wyłączników różnicowoprądowych. Ponieważ w obwodach zasilających urządzenia przeciwpożarowe wymaga się wysokiej niezawodności działania, niedopuszczalnym jest stosowanie w tych obwodach wyłączników różnicowoprądowych.

Oprócz izolacji podstawowej przewodów zasilających o odporności ogniowej gwarantowanej przez wymagany czas ich pracy, jako środek ochrony przy uszkodzeniu należy stosować samoczynne wyłączenie w układzie zasilania TN. Układ zasilania IT może być stosowany jedynie wtedy gdy drugie zwarcie spowoduje przejście układu zasilania w układ TN, a czas trwania zwarcia w takim przypadku nie przekroczy wartości określonej w normie [2]. Układ zasilania TT nie może być stosowany do zasilania urządzeń przeciwpożarowych, których funkcjonowanie jest niezbędne w czasie pożaru ze względu na konieczność stosowania w nim wyłączników różnicowoprądowych w celu spełnienia wymagań normy [2].

Dobór przewodów do zasilania urządzeń przeciwpożarowych, których funkcjonowanie jest niezbędne w czasie pożaru należy wykonywać z uwzględnieniem wymagań normy [3].

Sprawdzenie skuteczności samoczynnego wyłączenia należy realizować z uwzględnieniem spodziewanego wzrostu rezystancji przewodów zasilających jaki wystąpi podczas pożaru w pełni rozwiniętego.

W przypadku, gdy samoczynne wyłączenie zasilania w czasie nie dłuższym od określonego w normie [3], nie jest możliwe, ochronę przeciwporażeniową należy realizować przez sterowanie wartością spodziewanego napięcia dotykowego przez dobranie przekroju przewodu ochronnego łączącego chronione urządzenie z Główną Szyną Uziemiającą. Dobierany przekrój przewodu ochronnego w tym przypadku musi gwarantować:

- spełnienie warunku  $U_{ST} \leq U_L$  w przypadku gdy  $I_k < I_a$  lub,
- samoczynne wyłączenie zasilania w czasie nie dłuższym od określonego w normie [3], jeżeli spełniony zostanie warunek  $I_k \geq I_a$ .

## Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2012 roku, w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [Dz. U. nr 75/2002 poz. 690 z późniejszymi zmianami].
- [2] Projekt nowelizacji Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 roku w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. – dokument przygotowywany przez Stowarzyszenie Nowoczesne Budynki w porozumieniu z Ministerstwem Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej
- [3] Norma PN-HD 60364-4-41:2009 Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Część 4-41. Instalacje dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przed porażeniem elektrycznym.
- [4] N SEP-E 005 Dobór przewodów elektrycznych do zasilania urządzeń, których funkcjonowanie jest niezbędne w czasie pożaru.
- [5] PN-EN 1363-2:2001 Badanie odporności ogniowej. Część 2. Procedury alternatywne i dodatkowe.
- [6] PN-EN 60364-5-56:2013 Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Część 5-56. Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego. Instalacje bezpieczeństwa.
- [7] J. Wiatr; M. Orzechowski – Poradnik Projektanta Elektryka – wydanie V DW MEDIUM; Warszawa 2012
- [8] J. Wiatr; A. Boczkowski; M. Orzechowski – Ochrona przeciwporażeniowa w instalacjach elektrycznych niskiego napięcia. Dobór przewodów. – DW MEDIUM; Warszawa 2010
- [9] T. Cholewicki – Elektrotechnika teoretyczna – tom 1, WNT 1971
- [10] Z. Celiński – Materiałoznawstwo elektrotechniczne – OWPW Warszawa 1998.
- [11] DIN 41021-12 Zachowanie się materiałów i elementów budowlanych pod wpływem ognia. Podtrzymanie funkcji urządzeń w czasie pożaru. Wymagania i badania.
- [12] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 roku w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów [Dz. U. Nr 109/2010 poz. 719].