ppłk. w st. spocz. mgr inż. Julian Wiatr – „elektro.info"
st. asp. inż. Michał Dwórznik – JRG Nr 2 Łódź

ELEKTROENERGETYCZNE SIECI ROZWIJANE W CZASIE AKCJI RATOWNICZO-GAŚNICZEJ BEZ WYMAGANEGO UZIEMIENIA ZESPOŁU PRĄDOTWÓRCZEGO

Wielokrotnie w czasie akcji ratowniczo-gaśniczej Straż Pożarna wykorzystuje ręczne urządzenia elektryczne stanowiące wyposażenie samochodów gaśniczych lub innych pojazdów znajdujących się na wyposażeniu jednostek ochrony przeciwpożarowej. W takim przypadku do ich zasilania wykorzystuje się zespoły prądotwórcze znajdujące się na wyposażeniu pojazdów pożarniczych. Spośród dostępnych układów zasilania TN, TT oraz IT każdy wymaga uziemienia, co komplikuje wykonanie tymczasowych obwodów zasilających podczas akcji ratowniczo-gaśniczej, gdzie dynamika rozwoju pożaru jest bardzo duża i wymaga jak najszybszego przystąpienia do działań ratowniczo-gaśniczych. Prądy zwarciowe w poszczególnych układach zasilania przedstawia rysunek 1.

Pogrążenie uziomu i uzyskanie wymaganej wartości w warunkach polowych: $R_U \leq 50\ \Omega$, może okazać się czasochłonne, a wręcz niemożliwe przy terenie zabetonowanym, zaasfaltowanym lub przy występującej kostce drogowej. Z uwagi na brak krajowych wymagań w tym zakresie, pomocne okazały się normy niemieckie:

- DIN 14686:2010-05 *Feuerwehrwesen-Schaltschränke für fest eingebaute Stromerze- uger (Generatorsätze) ≥ 12 kVA für den Einsatz in Feuerwehrfahrzugen*,
- DIN 14686:2007-02 *Feuerwehrwesen-Fest eingebaute Stromerzeugerkleiner 12 kVA für den Einsatz in Feurewehrfahrzugen*.

Z pomocą w rozwiązaniu tego ważnego problemu przychodzi układ zasilania IU, niezdefiniowany w normach krajowych, choć znany w technice ochrony przeciwporażeniowej jako sieć ochronna. Na uwagę zasługuje brak uziemienia w układzie IU, co odróżnia go od znanego powszechnie układu zasilania IT. Części czynne są izolowane od ziemi, a części przewodzące dostępne są połączone z nieuziemionym przewodem wyrównawczym PBU.

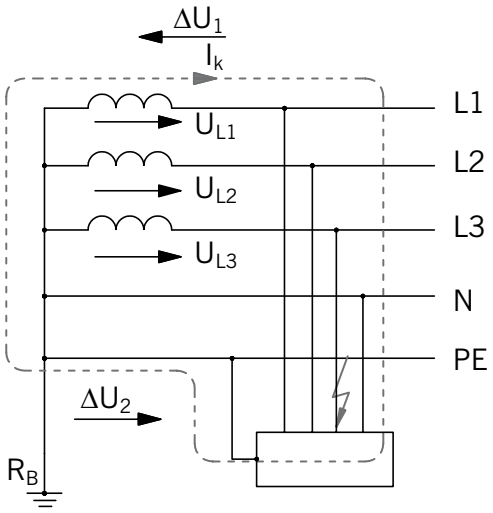
Pojedyncze zwarcie w tym układzie nie stwarza zagrożeń porażeniowych – jak w układzie zasilania IT. Dopiero drugie zwarcie powoduje przejście w układ TN, gdzie prądy zwarciowe zamykają się w obwodzie bez udziału ziemi (**rys. 2.**).

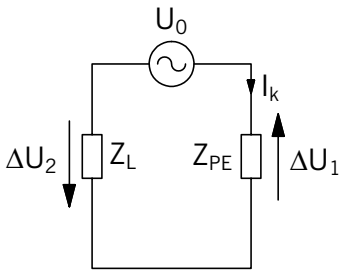
Części czynne są izolowane od ziemi, a części przewodzące dostępne są połączone z nieuziemionym przewodem wyrównawczym PBU.

W układzie tym, podobnie jak w układzie zasilania IT, występuje układ kontroli stanu izolacji (UKSI; ang. IMD – *insulation monitoring device*, czyli urządzenie do monitorowania stanu izolacji doziemnej). UKSI kontroluje stan izolacji całej instalacji tymczasowej i steruje aparatem wykonawczym uzbrojonym w cewkę podnapięciową, który powoduje rozłączenie zasilania w przypadku zmniejszenia się rezystancji izolacji poniżej zadanego progu. Musi on mieć dwustopniowe nastawienie:

- pierwszy próg uruchamiający sygnalizację optyczną i akustyczną w przypadku uzyskania przez sieć polową rezystancji izolacji o wartości 150 Ω/V, czyli pojawienia się prądów doziemnych o wartości około 6 mA; w przypadku zadziałania sygnalizacji akustycznej może ona zostać wyłączona, podczas gdy sygnalizacja optyczna pozostaje nadal aktywna,
- drugi próg powodujący odłączenie zasilania w przypadku uzyskania przez zasilaną sieć polową rezystancji izolacji o wartości 100 Ω/V, czyli pojawienia się prądów doziemnych o wartości 10 mA, które stanowią granicę samouwolnienia się w przypadku rażenia. W tym przypadku samoczynne wyłączenie zasilania powinno nastąpić w czasie nie dłuższym od 1 s.

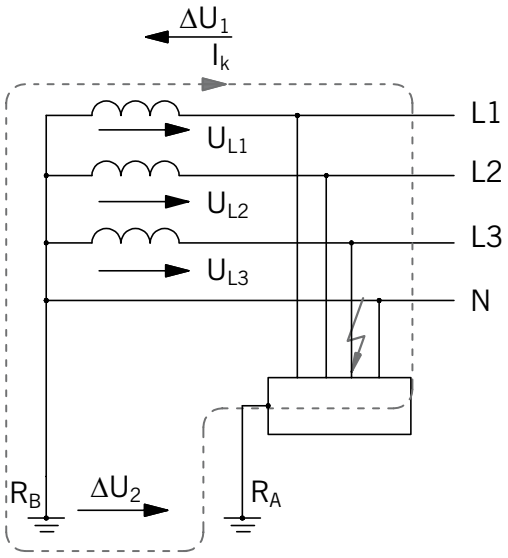
a)

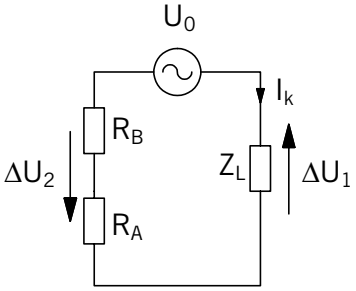




$\Delta U_1 \approx \Delta U_2 = 115$ V
$Z_L \approx Z_{PE}$
$\Delta U_1 = I_k \cdot Z_L$
$\Delta U_2 = I_k \cdot Z_{PE}$

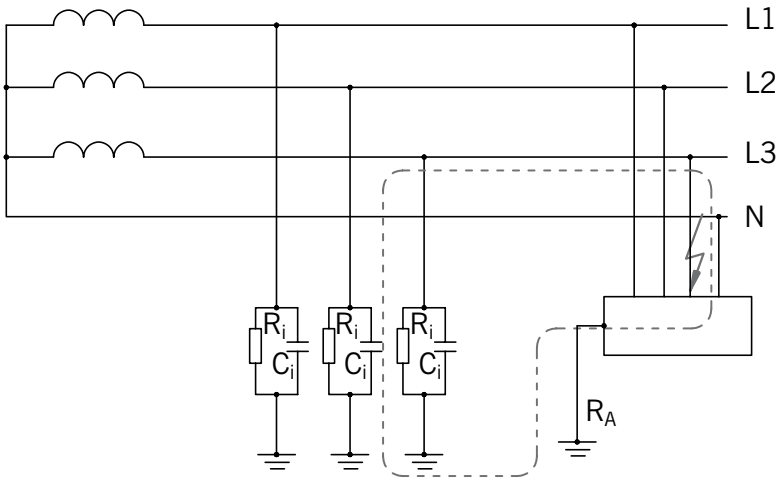
b)



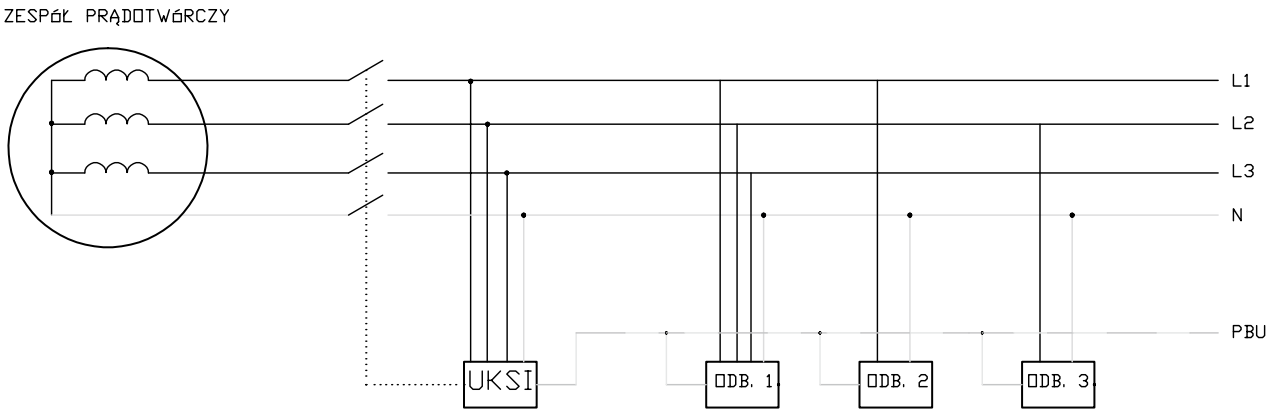


$R_A + R_B >> Z_L$
$\Delta U_2 >> \Delta U_1 \Rightarrow \Delta U_1 \approx 230$ V
$\Delta U_2 = I_k \cdot (R_A + R_B)$
$\Delta U_1 = I_k \cdot Z_L$

c)

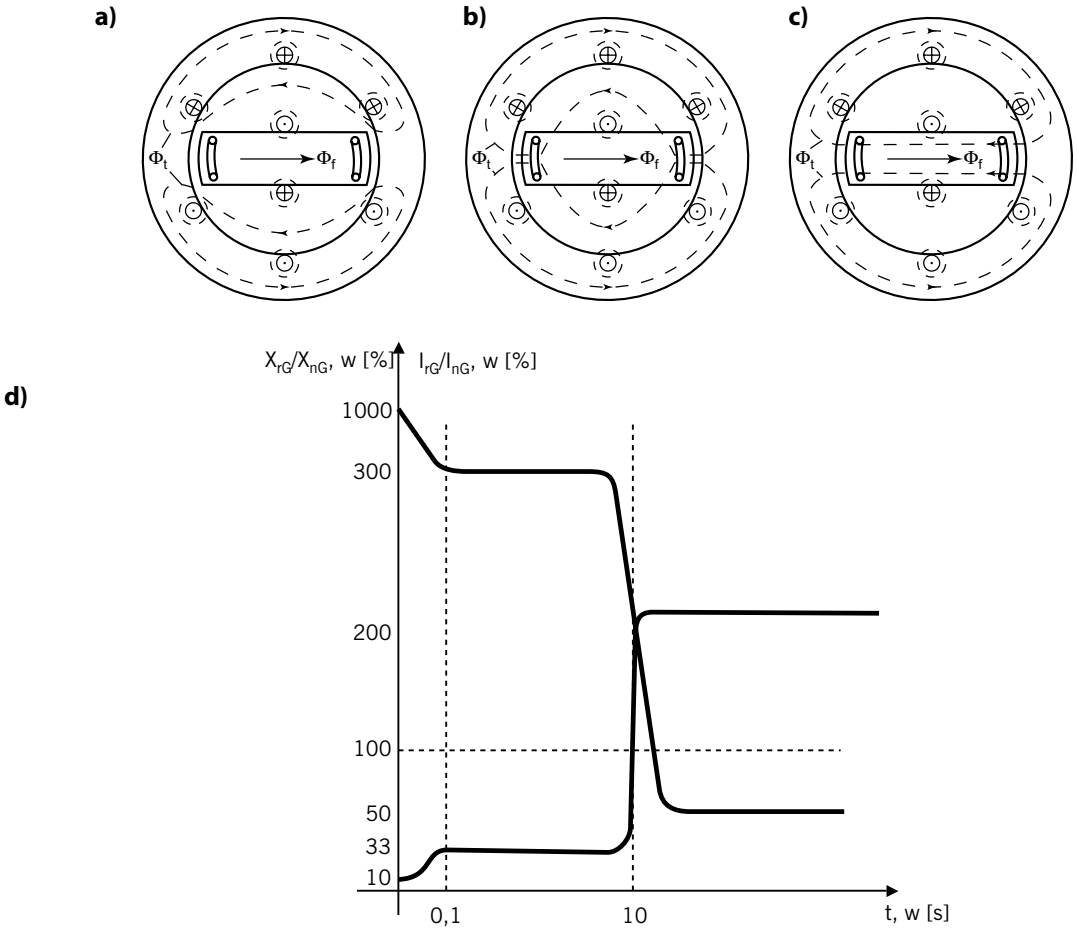


Rysunek 1. Układy zasilania oraz obwody prądów zwarciowych: **a)** TN-S, **b)** TT, **c)** IT, gdzie: R_i – rezystancja, C_i – pojemność występująca pomiędzy żyłą przewodzącą a ziemią

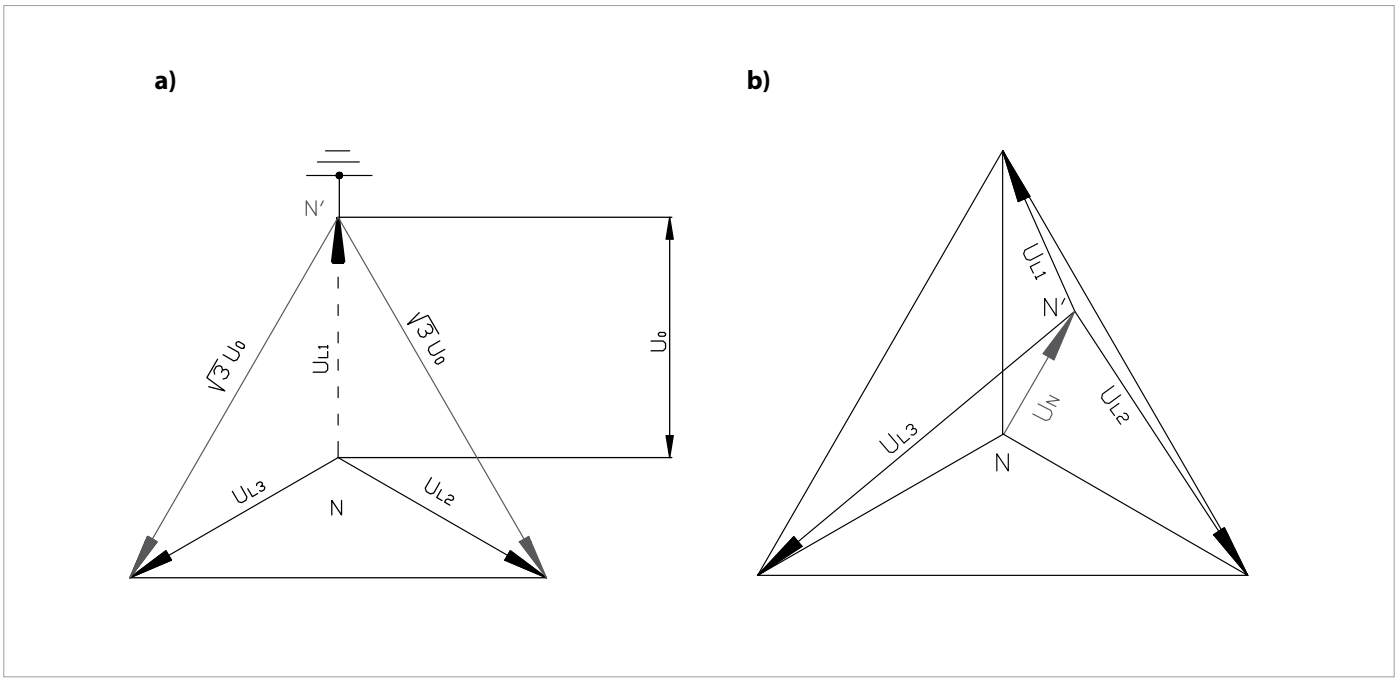


Rysunek 2. Schemat układu zasilania IU, bez uziemienia

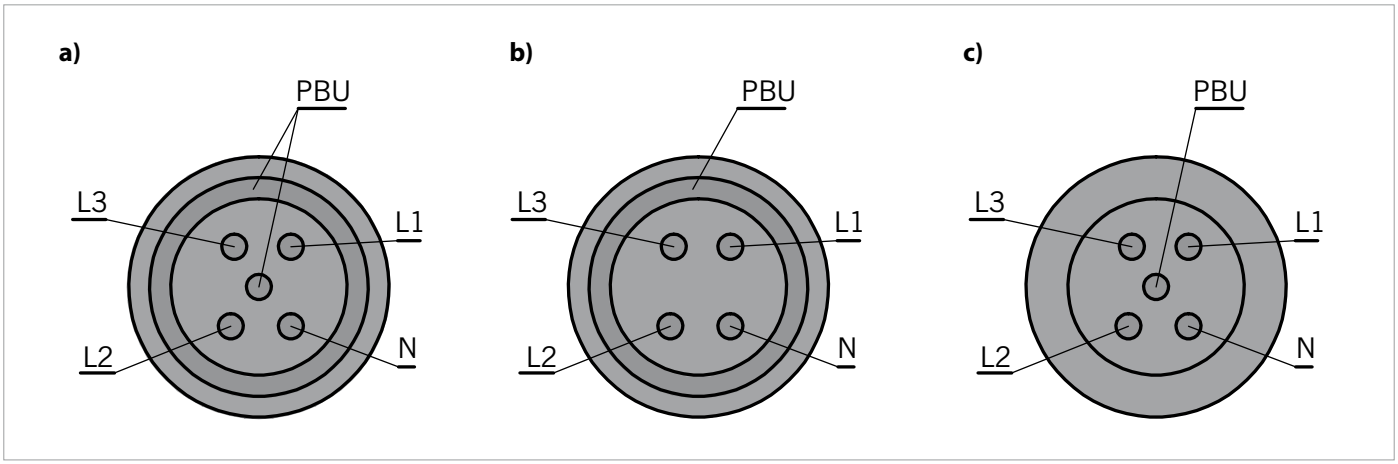
$$Z_{k1G} / Z_{kT} = \frac{1}{x_k \cdot n} = \begin{cases} 7{,}4 \Leftrightarrow S \leq 400\ \text{kVA} \\ 5{,}6 \Leftrightarrow S \geq 630\ \text{kVA} \end{cases}$$



Rysunek 3. Zmienność strumieni magnetycznych generatora: **a-c)** oraz **d)** zmienność impedancji generatora i prądów zwarciowych podczas zwarcia, gdzie: $\mathbf{I_{rG}}$ – prąd zwarciowy na zaciskach generatora ZP, $\mathbf{I_{nG}}$ – prąd znamionowy generatora ZP, **n** – krotność prądu znamionowego podczas zwarcia (we współczesnych rozwiązaniach n = 3)



Rysunek 4. Rozkład wektorów napięć: **a)** przy doziemieniu jednej z faz, **b)** przy asymetrycznym obciążeniu poszczególnych faz (stosowane elektronarzędzia przy odpowiednio dobranej izolacji nie będą wrażliwe na tego typu zakłócenia)

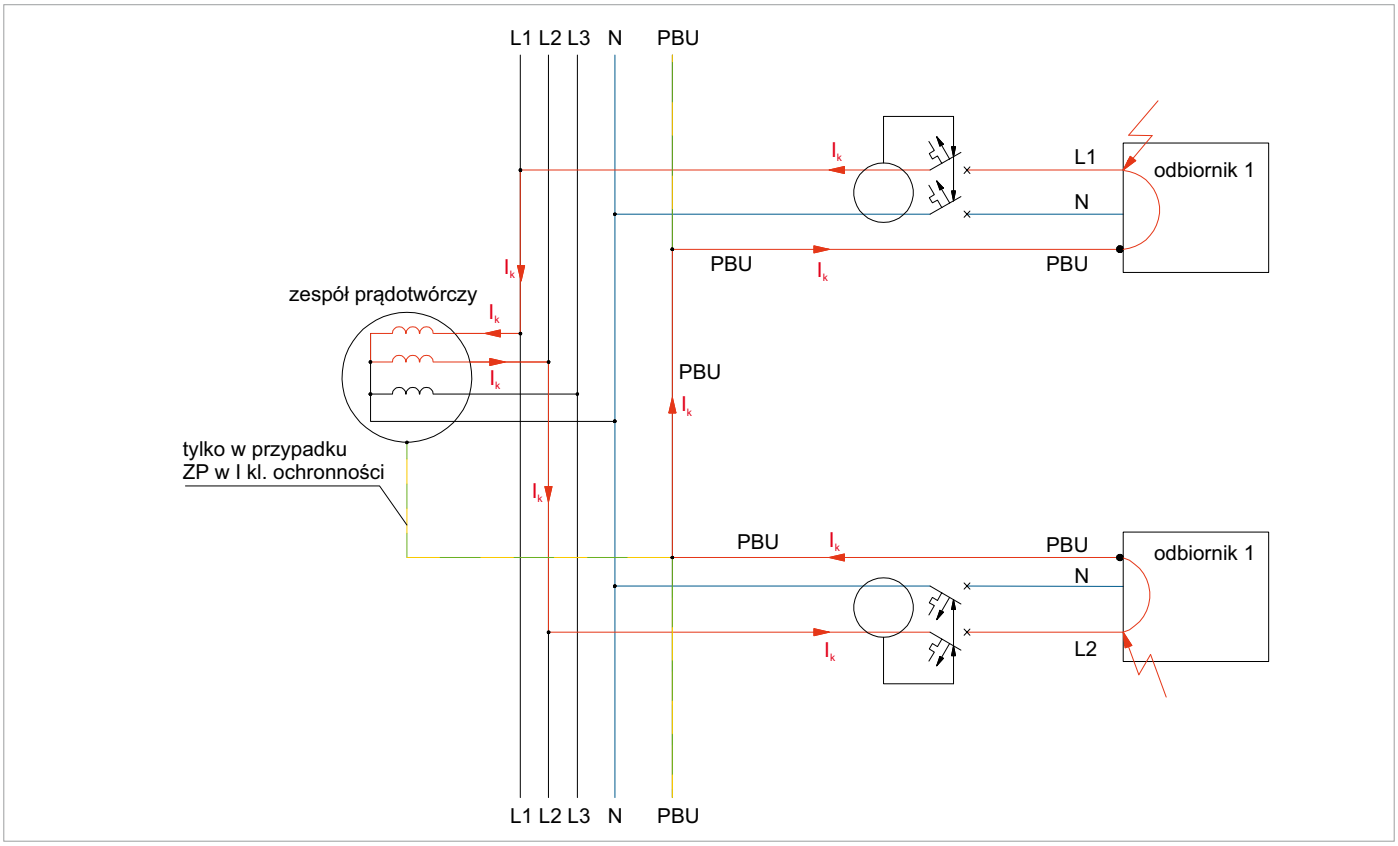


Rysunek 5. Wymagana budowa kabli polowych przeznaczonych do budowy tymczasowych linii elektroenergetycznych rozwijanych przez jednostki ochrony ppoż.



Długość będzie uzależniona od przekroju przewodu:
- przy S = 2,5 mm^2; l = 100 m,
- przy S = 4 mm^2; l = 160 m,
- przy S = 6 mm^2; l = 240 m.

Rysunek 6. Kabel na bębnie i dopuszczalne długości w zależności od przekroju żył przewodzących



Rysunek 7. Obwód zwarcia przy zwarciu dwufazowym w układzie zasilania IU

Poważny problem w uzyskaniu skutecznej ochrony przeciwporażeniowej stanowi zespół prądotwórczy, którego impedancja generatora ulega zmianom podczas trwania zwarcia. Po czasie 10 s od powstania zwarcia ustaje działanie układu forsowania wzbudzenia i prądy zwarciowe uzyskują wartości mniejsze od prądu znamionowego generatora **(rys. 3.)**. Zmienność impedancji generatora zespołu prądotwórczego w czasie zwarcia przedstawia **rysunek 3.** Na **rysunku 4.** przedstawiono zmienność wektorów napięć zasilających generatora przy doziemieniu jednej z faz lub przy asymetrycznym obciążeniu, przy zasilaniu z generatora bez uziemionego punktu neutralnego uzwojeń. Na **rysunku 5.** przedstawiono przekroje proponowanej budowy kabli zasilających, a na **rysunku 6.** dopuszczalne długości linii zasilających dla wybranych przekrojów żył roboczych..

Zastosowanie wyłączników różnicowoprądowych **(rys. 7.)** umożliwia eliminację jednego obwodu bez przerwy w zasilaniu w drugim obwodzie objętym zwarciem. Przykład zastosowania praktycznego przedstawiają **rysunki 8.–10.**

Przykład

Należy sprawdzić warunki ochrony przeciwporażeniowej realizowanej przez samoczynne wyłączenie przy podwójnym zwarciu w instalacji tymczasowej zasilanej z generatora o mocy S = 16 kVA w układzie IU. Długość obwodu l = 100 m. Zabezpieczenie S 302B16. Przewód miedziany o przekroju 6 mm^2.

$$Z_{k1G} = X_{k1G} = \frac{1}{n}\cdot\frac{U_{nG}^2}{S_{ng}} = \frac{1}{3}\cdot\frac{0{,}4^2}{0{,}16} = 3{,}33\Omega$$

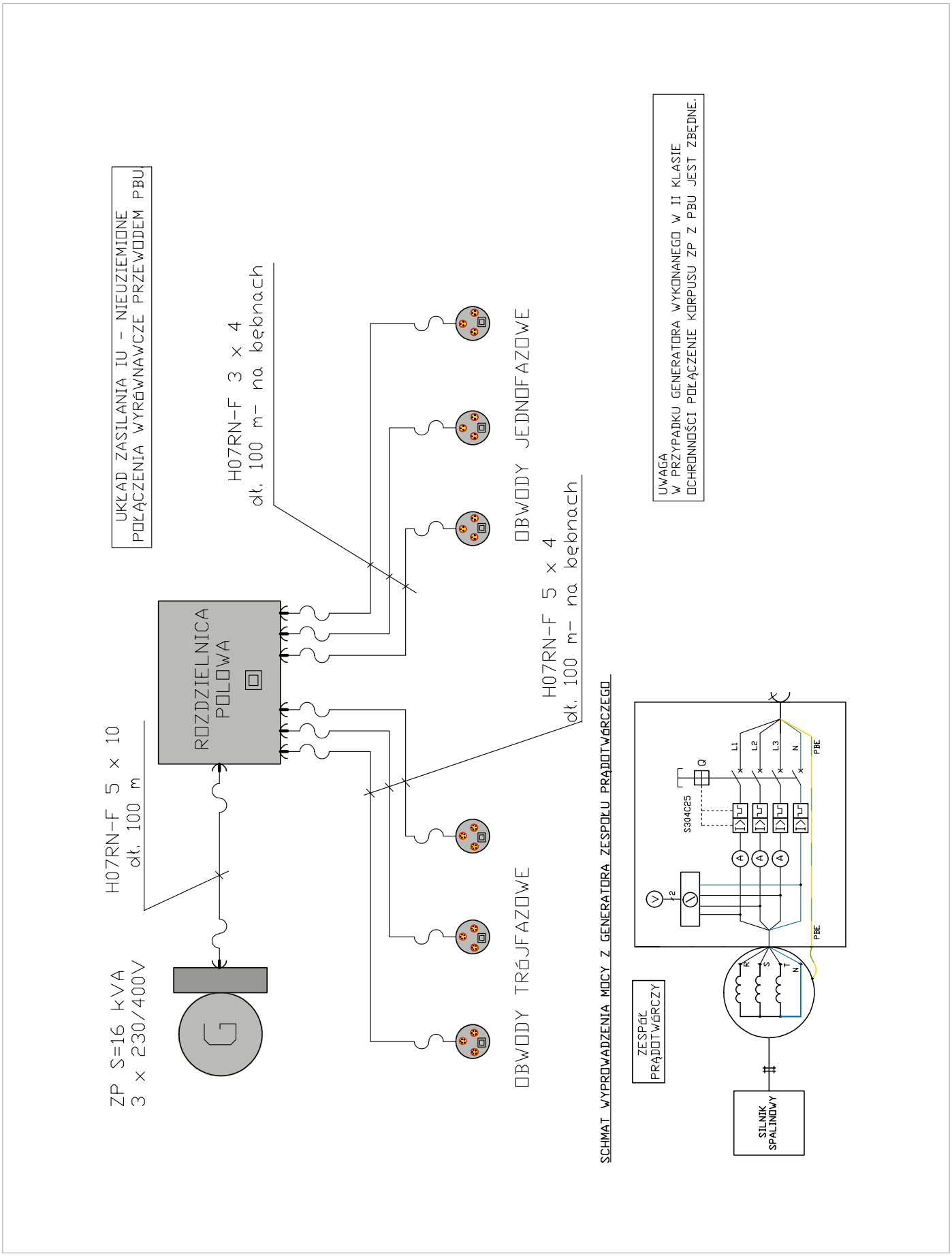
$$Z_l = R = \frac{L}{\gamma\cdot S} = \frac{100}{55\cdot 6} \approx 0{,}3\Omega$$

$$I_k = \frac{U_0}{2\cdot Z_s'} = \frac{230}{2\cdot\sqrt{0{,}3^2 + 3{,}33^2}} = 31{,}68\,A < I_a = 80\,A$$

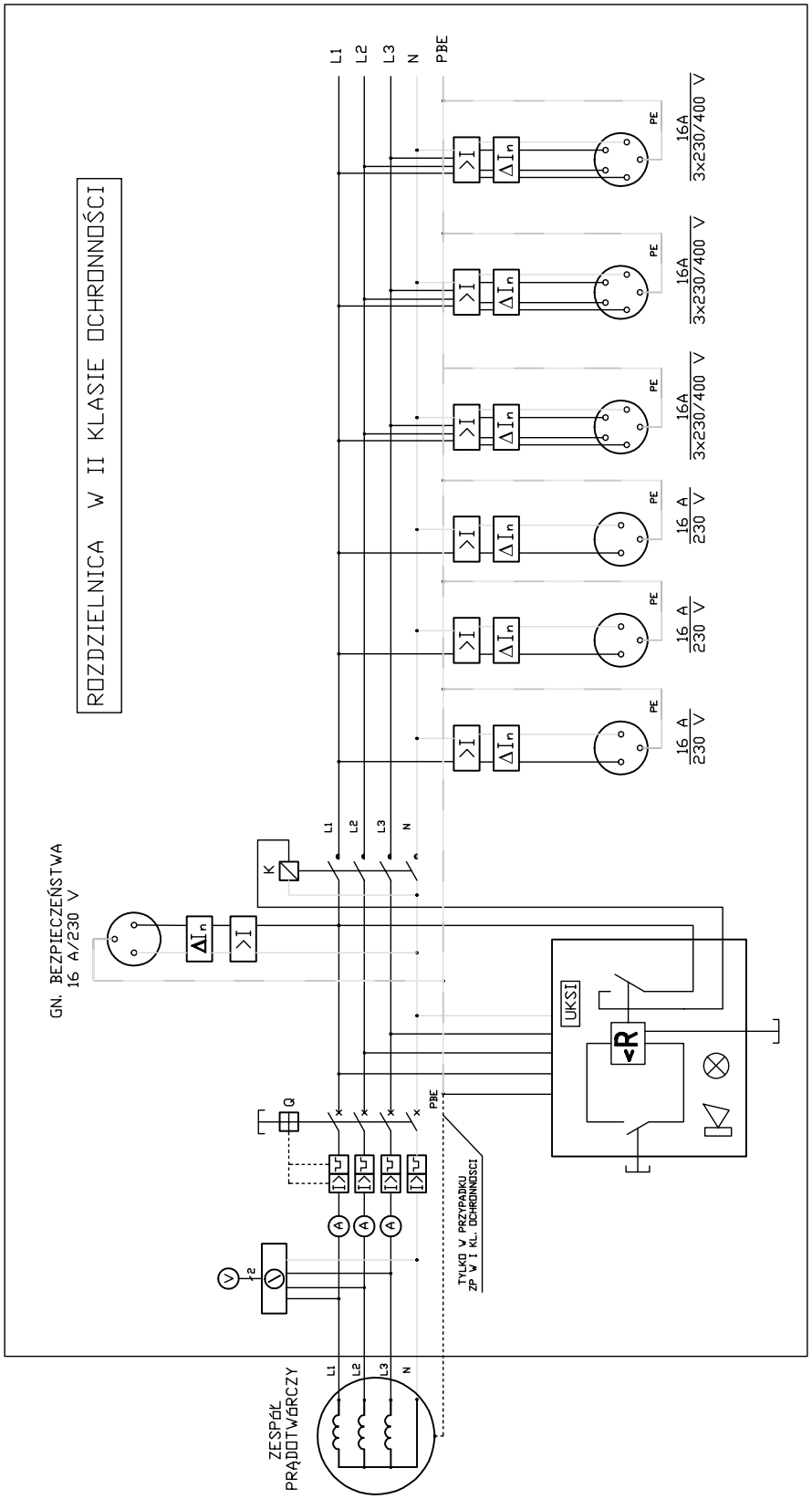
Warunek samoczynnego wyłączenia nie zostanie spełniony. Konieczne jest dobezpieczenie zasilanych obwodów wysokoczułymi wyłącznikami różnicowoprądowymi lub zastosowanie zespolonego aparatu zawierającego wyłącznik nadprądowy z wysokoczułym wyłącznikiem różnicowoprądowym.

Takie rozwiązanie ze względu na małe wartości prądów zwarciowych zasilanych przez generator zespołu prądotwórczego jest konieczne – w celu zachowania skutecznej ochrony od porażeń przy podwójnym zwarciu.

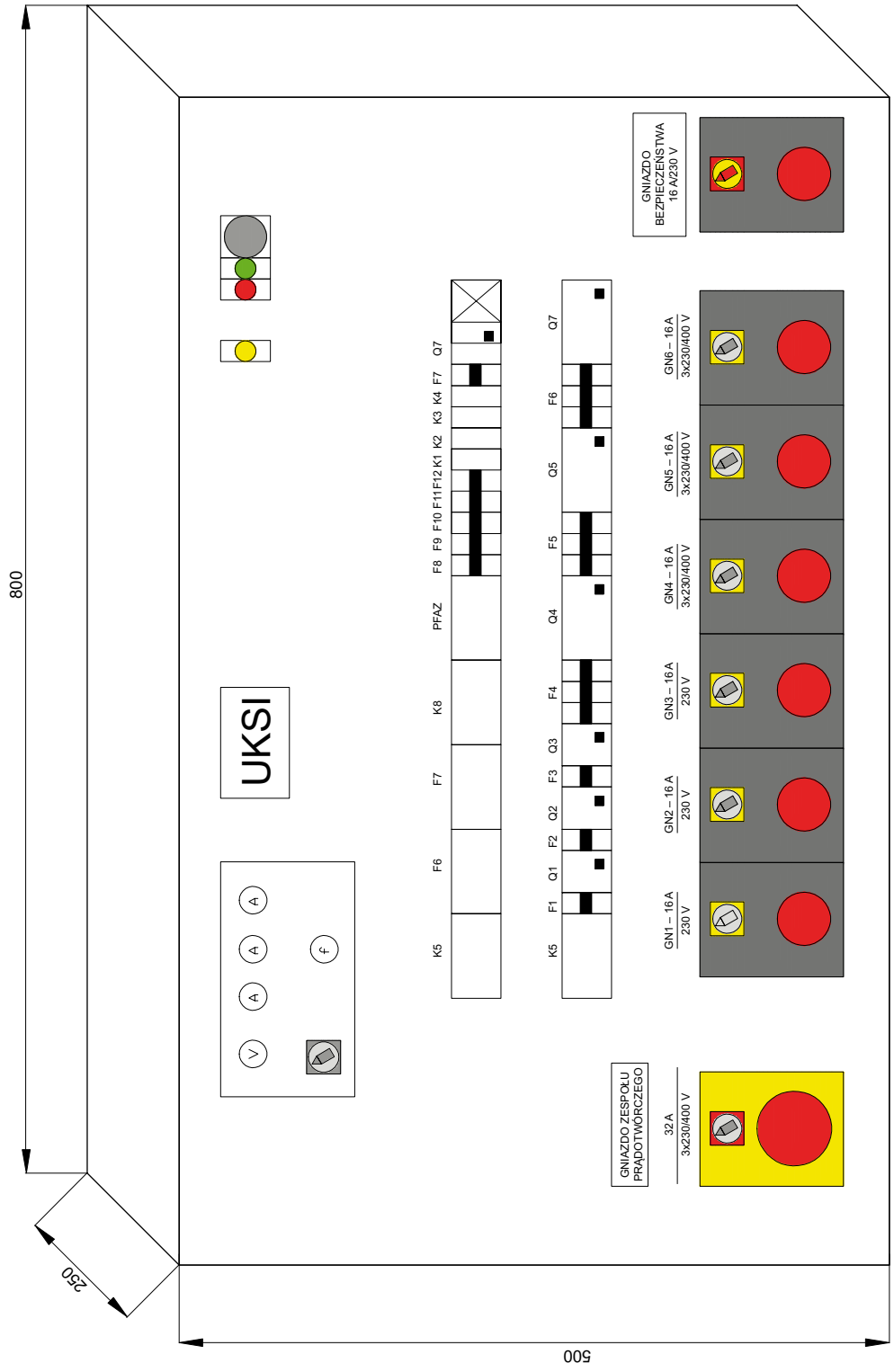
Osobnym, ale bardzo ważnym problemem jest badanie stanu ochrony przeciwporażeniowej w instalacjach tymczasowych (tzw. polowych sieciach elektroenergetycznych stosowanych w jednostkach ochrony przeciwpożarowej). Do eksploatacji tych sieci niezbędna jest osoba przeszkolona w zakresie zasilania elektroenergetycznych urządzeń polowych, która po rozwi-



Rysunek 8. Schemat blokowy tymczasowej sieci elektroenergetycznej rozwijanej przez jednostki ochrony przeciwpożarowej



Rysunek 9. Schemat ideowy rozdzielnicy tymczasowej, zasilającej sieć elektroenergetyczną



Rysunek 10. Przykładowy widok zmontowanej rozdzielnicy tymczasowej

Klasa ochronności urządzenia	I	II	III
Rezystancja przewodu ochronnego, w [Ω]	0,3[1)]	–	–
Rezystancja izolacji, w [MΩ]	1,0[2), 3)]	2,0	0,25
Prąd w przewodzie ochronnym [mA]	3,5[4)]	–	–
Prąd dotykowy, w [mA]	–	0,6	–

Dotyczy urządzeń klasy ochronności I i II o napięciu znamionowym 230 V.
1) ≤ 0,3 Ω przy długości do 5 m+0,1 Ω na każde następne 7,5 m, ale razem nie więcej niż 1 Ω.
2) Dopuszcza się 0,3 MΩ, jeżeli urządzenie zawiera elementy grzejne.
3) Wymaga się 2,0 MΩ w stosunku do drobnych części przewodzących dostępnych, niepołączonych z przewodem ochronnym PBU.
4) Dla urządzeń z elementami grzejnymi 1 mA/kW, ale nie więcej niż 10 mA.

Tabela 1. Graniczne dopuszczalne wartości parametrów urządzeń odbiorczych przy sprawdzeniach okresowych według normy DIN VDE 0701/02702:2008-06 *Prüfung nach instandsetzung, Ändrung elektrischer Geräte Wiederholung sprüfung elektrischer Geräte*

nięciu tymczasowej instalacji powinna przeprowadzić uproszczoną procedurę sprawdzającą. Zakres sprawdzania powinien obejmować:

- oględziny zespołu prądotwórczego,
- oględziny rozdzielnicy,
- stan połączeń sieci oraz działanie wyłączników różnicowo-prądowych przez uruchomienie testu,
- sprawdzenie ciągłości przewodu PBU.

Należy jednak zwrócić uwagę, że sprawdzenie działania wyłączników różnicowoprądowych powinno być wykonywane codziennie po objęciu służby przez zmianę dyżurną, co wiąże się z uruchomieniem zespołu prądotwórczego. Podobnie codziennemu sprawdzeniu podlega układ kontroli stanu izolacji (UKSI). Nie rzadziej niż raz w miesiącu należy z wykorzystaniem testera przeprowadzić pomiar rzeczywistego prądu zadziałania wyłączników różnicowoprądowych. Natomiast co trzy miesiące osoby wykwalifikowane powinny prowadzić kontrolę okresową obejmującą:

- pomiar rezystancji izolacji prądnicy oraz przewodów czynnych instalacji względem nieuziemionego przewodu PBU,
- pomiar rezystancji urządzeń odbiorczych lub pomiar równorzędny:
  - prądu w przewodzie ochronnym dla odbiorników I klasy ochronności,
  - prądu dotykowego dla urządzeń odbiorczych w II klasie ochronności,
- sprawdzanie ciągłości połączeń ochronnych oraz pomiar rezystancji przejścia pomiędzy częściami przewodzącymi dostępnymi jednocześnie.

Wyniki kontroli należy zapisywać w dzienniku eksploatacji polowego sprzętu elektrycznego stanowiącego wyposażenie samochodu pożarniczego.

Szczegóły w przedmiotowym zakresie są opisane w rozdziale 6. publikacji: J. Wiatr, Metodyka zasilania urządzeń przeciwpożarowych w energię elektryczną, Grupa MEDIUM, Warszawa 2024.

