



Kable i przewody (nn, SN i WN)

Elektryczne instalacje tymczasowe rozwijane przez jednostki ochrony przeciwpożarowej w czasie akcji ratowniczo-gaśniczej

mgr inż. Julian Wiatr

Wstęp

Obowiązujące wymagania w zakresie tymczasowych instalacji elektrycznych stosowanych przez jednostki ochrony przeciwpożarowej pozostawiają wiele do życzenia. Zgodnie z obowiązującymi zaleceniami rozwijana powinna być sieć polowa w układzie zasilania TN-S, który pomimo swoich zalet nie zawsze jest możliwy do realizacji w trudnym lub uzbrojonym terenie ponieważ wymaga on uziemienia punktu neutralnego generatora. Ponadto przy warunkach zwarciovych jakie gwarantuje generator zespołu prądowórczego nie zawsze jest możliwe zachowanie skutecznej ochrony przeciwporażeniowej, co zgodnie ze statystykami prowadzonymi przez PSP przejawia się w postaci wypadków rażenia prądem elektrycznym ratowników. W artykule zostanie przedstawiony prosty i niezawodny sposób projektowania polowych instalacji tymczasowych rozwijanych podczas akcji ratowniczo-gaśniczej.

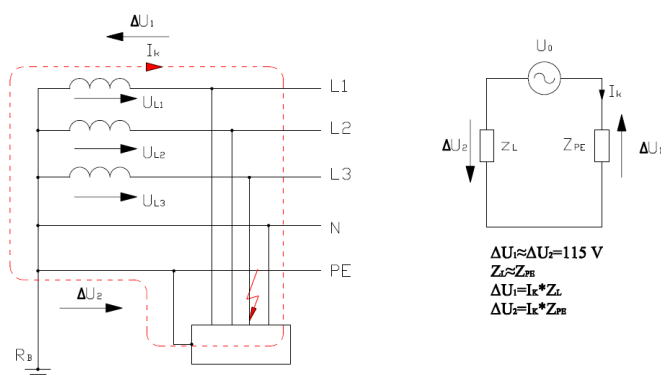
Szereg budynków posiada instalacje przeciwpożarowe, których celem jest wykrycie pożaru i szybka reakcja w celu jego ugaszenia. W przypadku, gdy pomimo zastosowanego systemu sygnalizacji pożaru, dochodzi do pożaru w pełni rozwiniętego, inne urządzenia przeciwpożarowe, których funkcjonowanie jest niezbędne w czasie pożaru mają za zadanie wspomaganie jego gaszenia oraz wspomaganie ewakuacji ludzi uwięzionych w płonącym budynku. Wielokrotnie w czasie akcji ratowniczo-gaśniczej ekipy ratownicze straży pożarnej, muszą wykorzystywać ręczne urządzenia elektryczne stanowiące wyposażenie wozów gaśniczych lub innych pojazdów znajdujących się na wyposażeniu jednostek ochrony przeciwpożarowej. W takim przypadku do ich zasilania wykorzystuje się zespoły prądowórcze znajdujące się na wyposażeniu pojazdów pożarniczych. Zatem ratownicy po przybyciu na miejsce zdarzenia stają przed problemem budowy tymczasowej instalacji elektrycznej (polowej sieci elektroenergetycznej) zasilanej z generatora zespołu prądowórczego. W takim przypadku wymagania dotyczące jej budowy muszą przewidywać odpowiednio dobrane oprzewodowanie oraz system ochrony przeciwporażeniowej, który w dowolnych warunkach terenowych gwarantował będzie bezpieczną eksploatację zasilanych z niej urządzeń elektrycznych.

Spośród dostępnych środków ochrony przeciwporażeniowej zdefiniowanych w normie [4] warunki spełnić może jedynie sieć ochronna wykonana w układzie zasilania IU, który nie został zdefiniowany w/w normie. Układ ten również nie został zdefiniowany w normach wojskowych, gdzie zasilanie w warunkach polowych stanowi zagadnienie powszechne.

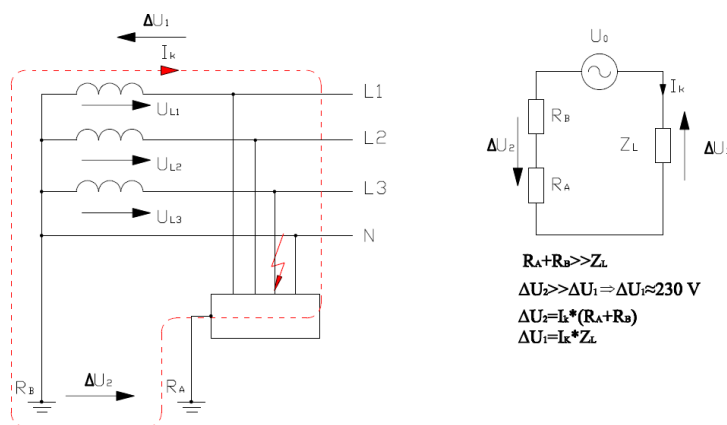
Normy wojskowe, mimo dość ostrych wymagań, określają wymagania dotyczące zasilania z zachowaniem uziemienia punktu neutralnego generatora oraz uziemienia wielokrotnego elementów zasilanych z generatora zespołu prądowórczego. W warunkach wojskowej infrastruktury polowej powszechnie wykorzystywany jest układ zasilania TN-S (układ zasilania TN-C powszechnie stosowany w sieciach elektroenergetycznych nn, jest zabroniony do stosowania w instalacjach tymczasowych) co znajduje techniczne uzasadnienie oraz możliwości czasowe i terenowe (brak uzbrojenia terenu) na wykonanie uziemienia o wartości nie większej od $50 \Omega^1$. Natomiast w przypadku akcji ratowniczo-gaśniczej, wymaganie takie stanowiło by raczej nieporozumienie z uwagi na to, że uzyskanie rezystancji uziemienia o takiej wartości w trudnym terenie może stwarzać olbrzymie trudności i wymagać znacznego czasu opóźniając tym samym rozpoczęcie akcji. Szczególne trudności pojawiają się w terenie uzbrojonym albo zaasfaltowanym, gdzie znalezienie miejsca na pograżenie uziomu graniczy z cudem. Podobnie w przypadku terenu o bardzo dużej rezystywności gruntu, wykonanie uziemienia o wymaganej rezystancji wymaga znacznego czasu, przez co należy kategorycznie odrzucić układ zasilania TN-S w warunkach akcji ratowniczo-gaśniczej, gdzie każda sekunda może decydować o jej powodzeniu. Podobnie nieprzydatny jest układ IT, a układ TT do zasilania w warunkach polowych nie znajduje technicznego uzasadnienia. Na rysunku 1 zostały przedstawione układy zasilania TN-S; TT oraz układ zasilania IT wraz z oznaczonymi obwodami prądów zwarciovych.

¹ W przepisach krajowych, norma N SEP-E 001 [11] określa wymóg 5Ω . Odnosi on się jednak do instalacji stacjonarnych i nie może mieć zastosowania w instalacjach tymczasowych. Pomocne w tym zakresie mogą być normy niemieckie, opisane w publikacji [3].

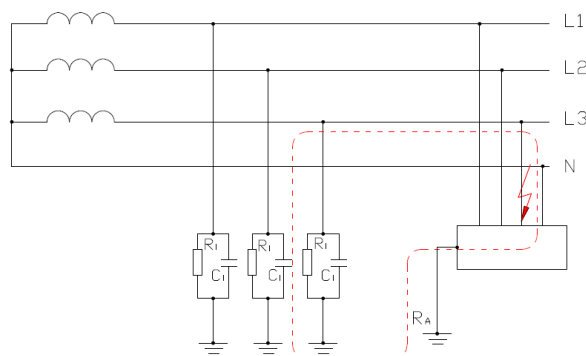
a)



b)



c)



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

We wszystkich tych układach zasilania niezbędne jest uziemienie, które nastęrcza szereg problemów wykonawczych, co wymusza konieczność znalezienia prostszego rozwiązania pozwalającego na niemal natychmiastowe podanie zasilania po rozwinięciu polowej sieci elektroenergetycznej z zachowaniem wszelkich kanonów bezpieczeństwa. Z pomocą przychodzi układ zasilania IU² (I – części czynne izolowane; U – części przewodzące połączone z nieziemionym przewodem wyrównawczym PBU). Układ ten nie jest objęty normalizacją krajową, a jego zastosowania są niepowszechne. Schemat ideowo-blokowy zasilania tymczasowej instalacji elektrycznej wykonanej zasilanej przez zespół prądotwórczy w układzie IU przedstawia rysunek 2.

² Spotyka się również określenia:

- separacja ochronna (obwodu wielu odbiorników) z urządzeniem UKSI działającym na wyłączenie,
- system przewodów wyrównawczych PBU z układem UKSI do monitorowania stanu izolacji.

Z uwagi na brak krajowych wymagań w tym zakresie, pomocne okazały się normy niemieckie:

- DIN 14686:2010-05 Feuerwehrwesen-Schaltschranke für fest eingebaute Stromerzeuger (Generatorsätze) ≥ 12 kVA für den Einsatz Feuerwehrfahrzeugen.[1]
- DIN 14686:2007-02 Feuerwehrwesen-Fest eingebaute Stromerzeugerkleiner 12 kVA für den Einsatz Feurewehrfahrzeugen.[2]

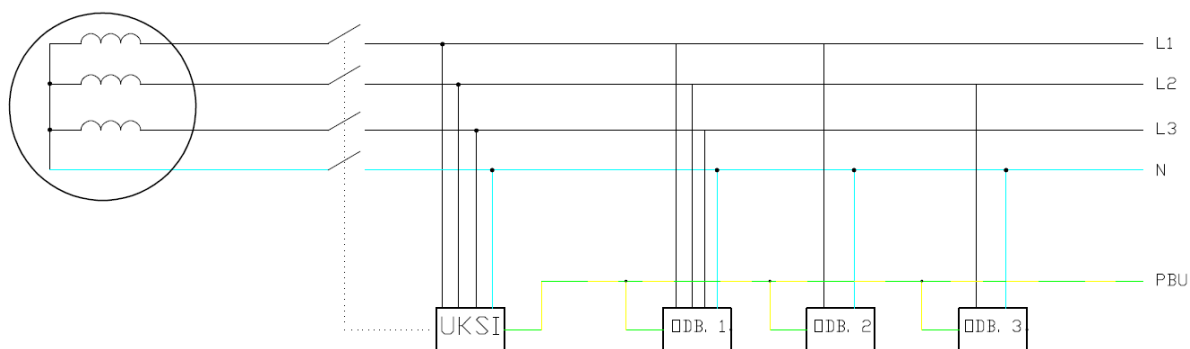
Należy zwrócić uwagę, że układ IU różni się od znanego powszechnie układu zasilania IT tym, że nie posiada żadnego uziemienia. Części czynne są izolowane od ziemi, a części przewodzące dostępne są połączone z nieziemionym przewodem wyrównawczym PBU.

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). UKSI³ kontroluje stan izolacji całej instalacji tymczasowej i steruje podnapięciowym wyłącznikiem, który powoduje rozłączenie zasilania w przypadku zmniejszenia się rezystancji izolacji poniżej zadanego progu. Musi on posiadać dwu stopniowe nastawienie:

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

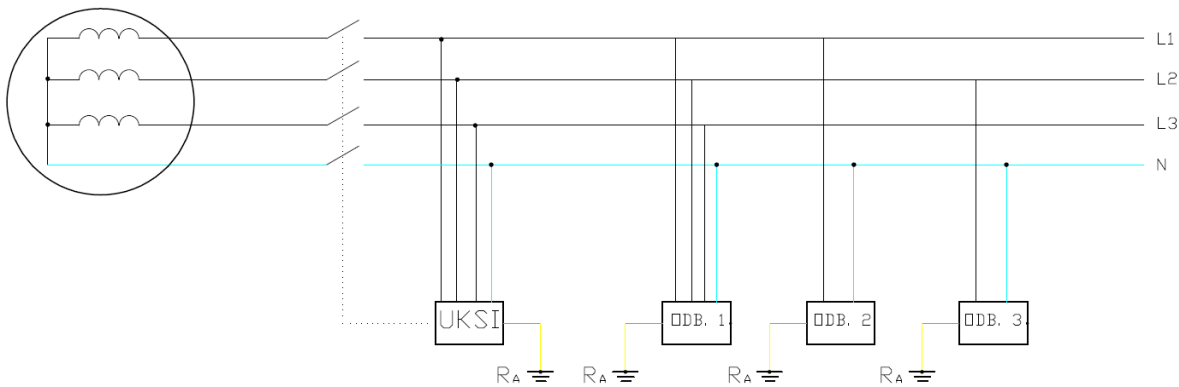
W celu porównania, na rysunku 3 został przedstawiony układ zasilania IT z przyłączonymi kilkoma odbiornikami. W przeciwieństwie do układu zasilania IU każdy odbiornik posiada uziemienie ochronne, które ze względów bezpieczeństwa powinno zostać wykonane jako zbiorowe obejmujące wszystkie odbiorniki zasilane z tego samego źródła. Czyli przekształcenie układu IU w układ IT polega na uziemieniu przewodu wyrównawczego PBU. Przedstawia to rysunek 5, w którym zaznaczono drogę przepływu prądu zwarciego przy zwarciu podwójnym.

ZESPÓŁ PRĄDOTWÓRCZY



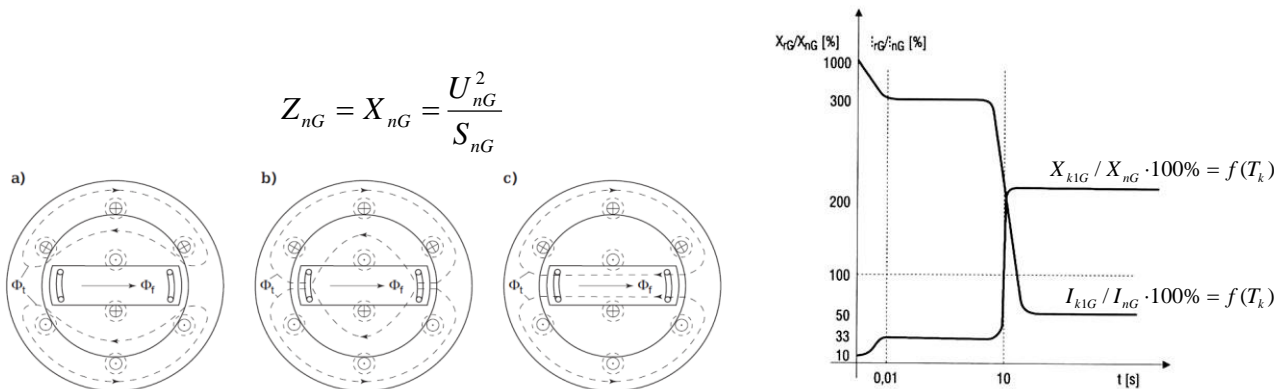
Rysunek 2. Schemat polowej linii elektroenergetycznej wykonanej w układzie IU.

³ Zgodnie z normą PN-HD 60364-7-704:2010P „Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Część 7-704. Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji. Instalacje na terenie budowy lub rozbiórki”, w zespołach prądowłrczych o mocy $S \leq 25$ kVA można nie instalować UKSI, z czego korzystają producenci zespołow prądowłrczych. W celu zwiększenia bezpieczeństwa eksploatacji, UKSI należy instalować w rozdzielnicy stanowiącej element ukończenia instalacji tymczasowej stanowiącej wyposażenie samochodów pożarniczych.



Rysunek 3. Schemat zasilania w układzie IT z wykorzystaniem zbiorowego uziemienia wszystkich odbiorników.

W tym miejscu należy zwrócić uwagę na to, że zespół prądowców jest źródłem miękkim, którego impedancja zwarciowa w przeciwieństwie do Systemu Elektroenergetycznego ulega zmianą w dość szerokich granicach uzyskując w stanie podprzejściowym zwarcia wartość około 10% znamionowej wartości impedancji znamionowej generatora (określonej wzorem $Z_{nG} = U_{nG}^2 / S_{nG}$), w stanie przejściowym zwarcia około (30-40)% wartości znamionowej generatora, a w stanie ustalonym zwarcia wartość (200 – 300)% wartości znamionowej generatora. Zmienność impedancji zwarciowej generatora wynika ze zmienności drogi głównego strumienia magnetycznego generatora, co zostało przedstawione na rysunku 4(a;b;c). Widoczna na rysunku 4d, chwilowa stabilizacja impedancji zwarciowej generatora jest wynikiem działania automatyki forsowania wzbudzenia, która ustaje po 10 sekundach od chwili powstania zwarcia.



Rysunek 4. Zmienność drogi strumienia magnetycznego w generatorze w stanie a) podprzejściowym zwarcia b) przejściowym zwarcia, c) ustalonym zwarcia oraz d) zmienność impedancji i e) prądów zwarciowych [12]
 Z_{nG} – impedancja znamionowa generatora; X_{nG} – znamionowa reaktancja generatora.

Impedancja generatora zespołu prądowców w czasie zwarcia podczas działania automatyki forsowania wzbudzenia może zostać wyrażona wzorem:

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

gdzie:

n – krotność prądu znamionowego generatora gwarantowana przez producenta podczas zwarć na zaciskach generatora przez 10 s (w nowoczesnych zespołach $n = 3$),

U_{nG} – napięcie znamionowe aeratora, w [kV],

S_{nG} – moc znamionowa, pozorna, generatora, w [MVA].

Uwaga

Do obliczeń praktycznych przyjmuje się $Z_{k1G} = X_{k1G}$ z uwagi na pomijalnie małą wartość rezystancji generatora nn , szacowaną jako $0,03 \cdot X_{nG}$.

Natomiast impedancja transformatora SN/nn , która nie ulega zmianą przez czas trwania zwarcia, może zostać określona wzorem:

$$Z_{kT} = x_k \cdot \frac{U_{nT}^2}{S_{nT}} \tag{2}$$

Ponieważ napięcie zwarcia u_k transformatora przyjmuje wartość 4,5 % (w jednostkach względnych 0,045) dla mocy $S \leq 400$ kVA oraz 6% (w jednostkach względnych 0,06) dla transformatorów o mocy $S \geq 630$ kVA, stosunek impedancji generatora (w czasie 10 s, kiedy działa automatyka forsowania wzbudzenia) do impedancji transformatora wyniesie odpowiednio:

$$Z_{k1G} / Z_T = \frac{1}{x_k \cdot n} = \begin{cases} 7,4 \Leftrightarrow S \leq 400 \text{ kVA} \\ 5,6 \Leftrightarrow S \geq 630 \text{ kVA} \end{cases} \tag{3}$$

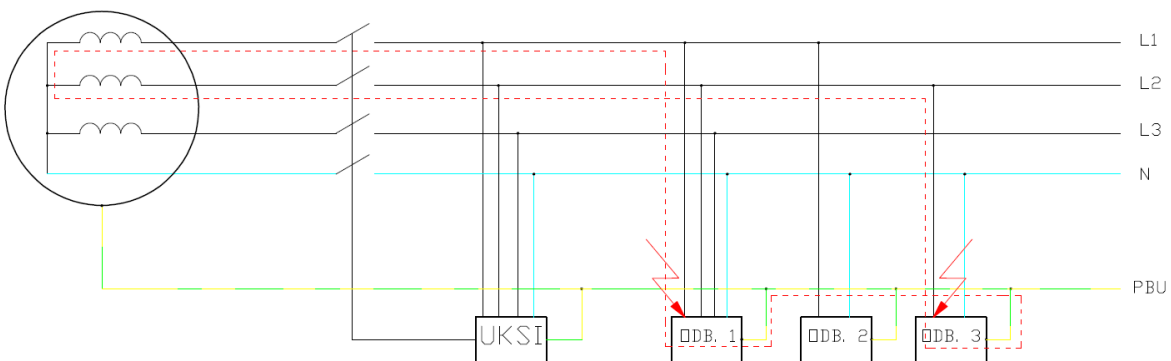
Zatem o taką względną wartość mniejsze będą prądy zwarciovye przy zasilaniu z generatora w stosunku do prądów zwarciovych zasilanych przez transformator SN/nn , o takiej samej mocy jak generator zespołu prądowórczego, przyłączony do Systemu Elektroenergetycznego. Takie silne ograniczenie prądu zwarciovego płynącego z generatora zespołu prądowórczego wynika z jego mocy zwarciovwej, która jest nieporównywanie mniejsza od mocy zwarciovwej Systemu Elektroenergetycznego.

Zastosowanie układu zasilania IU powoduje, że przy pojedynczym zwarciu układ zasilania nie stwarza zagrożenia porażenia prądem elektrycznym a prąd zwarciovvy nie powoduje przerwania dostaw energii do zasilanych odbiorników.

Problemy pojawiają się dopiero przy podwójnym zwarciu. Dotyczą one samoczynnego wyłączenia co najmniej w jednym obwodzie objętym zwarciem. Na rysunku 5 został przedstawiony obwód prądu zwarciovwego dla zwarć podwójnych w układzie zasilania IT oraz układzie zasilania IU.

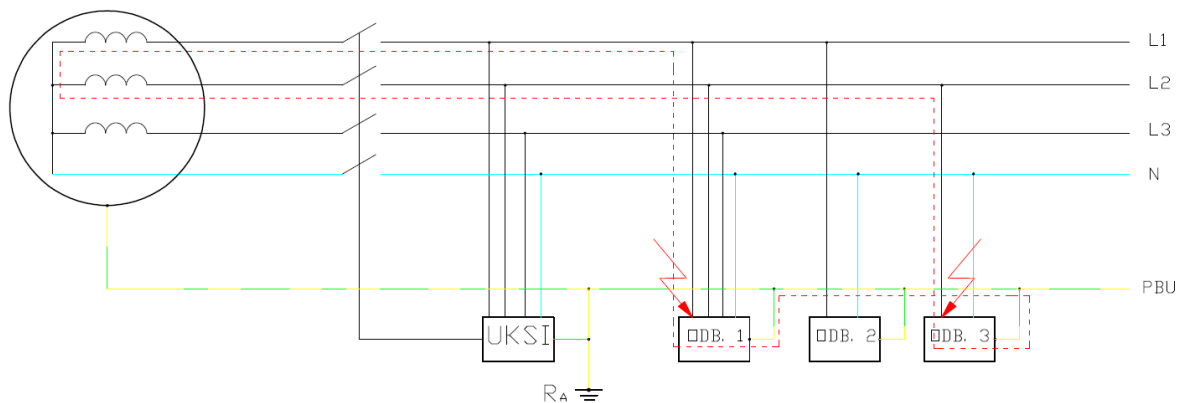
a)

ZESPÓŁ PRĄDOWÓRCZY



b)

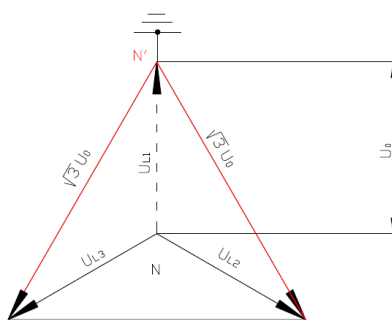
ZESPÓŁ PRĄDOTWÓRCZY



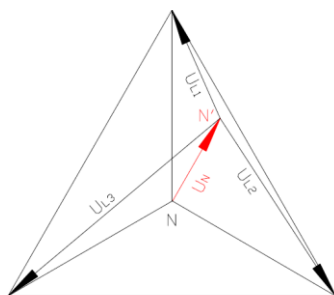
Rysunek 5. Droga prądu zwarciovego a) w układzie zasilania IT oraz b) układzie zasilania IU przy podwójnym zwarciu.

Z analizy rysunku 5, wynika że uziemienie przewodu PBU nie ma żadnego wpływu na przebieg zwarcia przy wystąpieniu zwarcia podwójnego.

W układzie zasilania IT, doziemienie jednej fazy skutkuje pojawianiem się na fazach nieuszkodzonych napięcia międzyfazowego, co symbolicznie przedstawia rysunek 6. Podobnie w układzie zasilania IU, w którym punktem odniesienia jest nieuziemiony przewód PBU. Pojawiało będzie się jednak napięcie U_N , którego wektor układał będzie się w zależności od asymetrii obciążenia poszczególnych faz. Skutkowało to będzie zmiennością wartości napięć fazowych, które w zależności od wartości napięcia U_N oraz położenia kąowego jego wektora, uzyskiwały będą różne wartości w stosunku do wartości znamionowych. Obrazuje to rysunek 7. W celu zapewnienia pełnego bezpieczeństwa, izolacja przyłączanych odbiorników do instalacji tymczasowej musi posiadać izolacje odporna na zwiększone wartości napięcia do wartości napięcia międzyfazowego. Dla uniknięcia tego niekorzystnego zjawiska optymalnym jest stosowanie wyłącznie odbiorników trójfazowych symetrycznych.



Rysunek 6. Skutki doziemienia jednej z faz w układzie zasilania IT.



Rysunek 7. Zobrazowanie zmienności napięć fazowych przy asymetrycznym zasilaniu w układzie IU – przykładowy rozkład wektorów napięć.

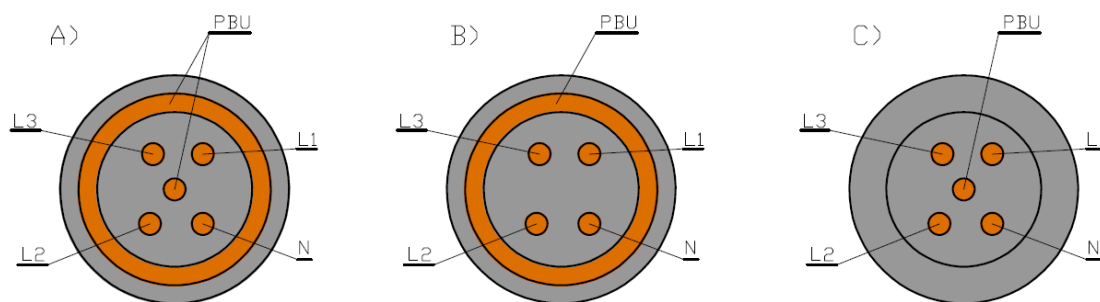
Ponieważ w układzie IU, przewód wyrównawczy PBU, łączy wszystkie zasilane odbiorniki, przy podwójnym zwarciu, obwód zwarcia łądząco przypomina obwód zwarcia jaki występuje w układzie zasilania TN. Stosunkowo łatwo można w tym przypadku spełnić warunek samoczynnego wyłączenia w co najmniej w jednym obwodzie objętym zwarcie.

W układzie przedstawionym na rysunku 2 toleruje się wysokoimpedancyjne połączenie z ziemią odbiorników ustawianych na ziemi, z uwagi na nieistotny wpływ na warunki zasilania oraz warunki ochrony przeciwporażeniowej. Zaleca się aby zespół prądowórczy był wykonany w II klasie ochronności podobnie jak odbiorniki przyłączane do rozwijanej instalacji tymczasowej wykonanej w układzie zasilania IU.

Kable stanowiące element polowej sieci elektroenergetycznej (instalacji tymczasowej) rozwijanej w warunkach akcji ratowniczo-gaśniczej lub akcji ratowniczej powinny posiadać budowę co najmniej taką jak przewody oponowe typu H07RN-F o napięciu $U_0/U = 450/750$ V w, których opona wykonana jest z niezapalnego kauczuku naeoprenowego a żyły przewodzące są giętkie. Znacznie lepiej do tego celu nadają się przewody górnicze posiadające oponę olejoodporną i jednocześnie niepalną.

Z uwagi na przyjętą metodykę zasilania zasadnym wydaje się stosowanie przewodów spełniających przedstawione wymagania ale wykonanych w taki sposób aby oplot bezpośrednio pod powłoką zewnętrzną przewodu stanowił żyłę PBU.

Przykłady budowy przewodów możliwych do stosowania w instalacjach tymczasowych przedstawia rysunek 8. Najkorzystniejszą budowę ze względu na warunki eksploatacji posiada przewód przedstawiony na rysunku 8a, podczas gdy przewód przedstawiony na rysunku 8c jest powszechnie dostępny na rynku. Bardzo istotnym warunkiem zachowania bezpieczeństwa jest zakaz stosowania przewodów gołych jako przewodu PBU.



Rysunek 8. Przykład budowy przewodu stosowanego do budowy polowych sieci elektroenergetycznych stosowanych w jednostkach ochrony przeciwpożarowej.

Okablowanie stanowiące wyposażenie samochodu pożarniczego powinno być zdublowane (jeden komplet oprzewodowania powinien stanowić zapas gotowy do użycia w przypadku uszkodzenia zastawu podstawowego) ze względów zwiększonej niezawodności tak by możliwa była wymiana w przypadku postania uszkodzenia w czasie akcji ratowniczo-gaśniczej.

Osobnym problemem pozostają wymagania stawiane przyłączanym odbiorników elektrycznym. Powinny one być wykonane w II⁴ klasie ochronności i posiadać izolację odporną na chwilowy wzrost napięcia powodowany asymetrią obciążeń poszczególnych faz.

W skład ukończenia polowej sieci elektroenergetycznej muszą wchodzić następujące elementy: zespół prądowórczy nn o mocy dobranej do mocy odbiorników, dwóch kompletów kabli oraz rozdzielniczy wykonanej w II klasie ochronności do której przyłączane będą zasilane odbiorniki. Przewody powinny znajdować się na bębnach z zainstalowanymi gniazdami umożliwiającymi przyłączanie odbiorników (foto. 1).

⁴ Urządzenia wykonane w II klasie ochronności mogą być przyłączane bez przyłączania przewodu wyrównawczego pomimo tego, że jest on pożądanym jako osobna żyła lub oplot w każdym przewodzie ruchomym.



Foto. 1. Bęben przewodowy stanowiący jednocześnie przedłużacz do przyłączania ręcznych odbiorników energii elektrycznej.

Długość pojedynczej linii zasilającej nie powinna przekraczać wartości wynikającej z wartości dopuszczalnej pętli obwodu zwarciovego przyjmowanej jako $R=1,5 \Omega$ [3]. Długość tę można wyznaczyć z poniższego wzoru:

$$l \leq \frac{R}{2} \cdot \gamma \cdot S \quad (4)$$

gdzie:

- γ – konduktywność żyły przewodzącej przewodu zasilającego, w $[\text{m}/(\Omega \text{ mm}^2)]$, dla miedzi $\gamma=55$,
- S – przekrój żyły przewodzącej przewodu zasilającego, $[\text{mm}^2]$.

$$l \leq 0,75 \cdot 55 \cdot S = 41,25 \cdot S \quad (5)$$

Długość będzie uzależniona do przekroju przewodu:

- przy $S = 2,5 \text{ mm}^2$; $l = 100 \text{ m}$,
- przy $S = 4 \text{ mm}^2$; $l = 160 \text{ m}$,
- przy $S = 6 \text{ mm}^2$; $l = 240 \text{ m}$.

Oprócz tego przy doborze przekroju linii zasilającej należy uwzględnić warunek spadku napięcia określany na ogólnych zasadach, opisanych w normach przedmiotowych oraz dostępnych publikacjach z zakresu doboru przewodów i kabli [6].

Ponieważ w polowych sieciach elektroenergetycznych stosowane są wyłącznie przewody i kable o żyłach miedzianych i przekrojach nie większym od 50 mm^2 , przy dopuszczalnym spadku napięcia $\Delta U_{\text{dop.}} = 5\%$, długość obwodu należy wyznaczyć z poniższych wzorów:

- dla obwodów jednofazowych

$$l \leq \frac{5 \cdot \gamma \cdot S \cdot U_f^2}{2 \cdot P \cdot 100} \quad (6)$$

- dla obwodów trójfazowych

$$l \leq \frac{5 \cdot \gamma \cdot S \cdot U_n^2}{P \cdot 100} \quad (7)$$

gdzie:

- P – moc czynna przyłączanych odbiorników, w $[\text{W}]$,
- U_n – napięcie międzyprzewodowe, w $[\text{V}]$,
- U_f – napięcie pomiędzy przewodem fazowym a przewodem neutralnym, w $[\text{V}]$.

Ocenę samoczynnego wyłączenia zwarc przy zwarcu podwójnym, zobrazowanym na rysunku 9 należy przeprowadzić z wykorzystaniem poniższych wzorów:

$$I_k = \frac{U_0}{2 \cdot Z'_s} \geq I_a \quad (8)$$

$$Z_{k1G} = \frac{1}{n} \cdot \frac{U_{nG}^2}{S_{nG}} \quad (9)$$

$$Z_l = R = \frac{l}{\gamma \cdot S} \quad (10)$$

gdzie:

U_0 – napięcie pomiędzy przewodem fazowym a niezziemionym przewodem wyrównawczym PBU, w [V],

Z'_s – impedancja obwodu zwarcowego (symbolicznie przedstawionego na rysunku 8), dla zwarc podwójnych bez udziału ziemi, w [Ω],

I_a – prąd wyłączający zasilanie przynajmniej w jednym obwodzie objętym zwarcem podwójnym, gwarantujący samoczynne wyłączenie w czasie nie dłuższym od określonego w normie PN-HD 60364-4-41[4],

Z_{k1G} – impedancja zwarcowa generatora dla zwarc jednofazowych w czasie działania automatyki forsowania wzbudzenia, w [Ω],

U_{nG} – napięcie znamionowe generatora, w [kV],

S_{nG} – znamionowa moc pozorna generatora, w [mVA],

n – krotność prądu znamionowego gwarantowana przez producenta zespołu podczas zwarc na jego zaciskach, w [-],

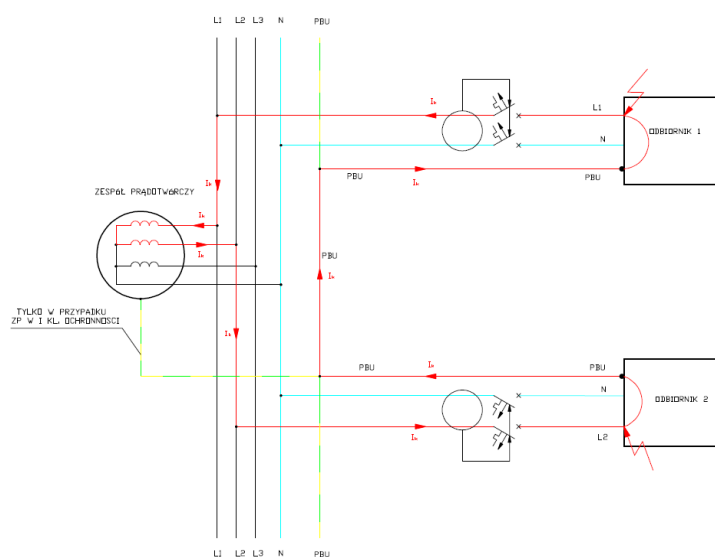
l – długość obwodu zwarcowego, w [m],

S – przekrój przewodu, w [mm^2],

γ – konduktywność przewodu, w [$\text{m}/(\Omega \cdot \text{mm})$],

Z_l – impedancja linii zasilającej na odcinku objętym zwarcem, w [Ω].

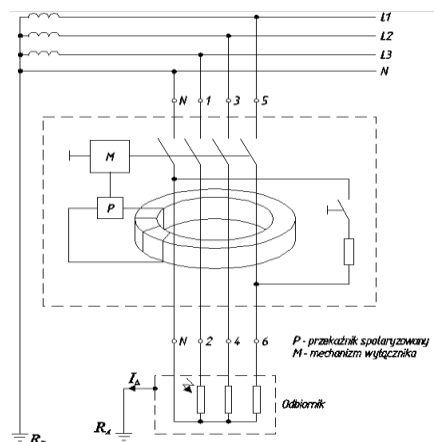
W przypadku nieskutecznej ochrony przeciwporażeniowej realizowanej przez zabezpieczenia wzrostowe podczas zwarc podwójnych, można zastosować wyłączniki różnicowoprądowe, których zasadę działania przedstawia rysunek 10.



Rysunek 9. Obwód zwarcia dla prądu zwarcowego przy zwarcu podwójnym (droga przepływu prądu zwarcowego została oznaczona kolorem czerwonym).

Ponieważ prądy zwarciove zamykają się w obwodzie zwarciowym, którego elementem jest przewód PBU, omijający przekładnik Ferrantiego wyłącznika różnicowoprądowego, należy uznać że podczas zwarc podwójnych warunek określony wzorem (11) zostanie spełniony.

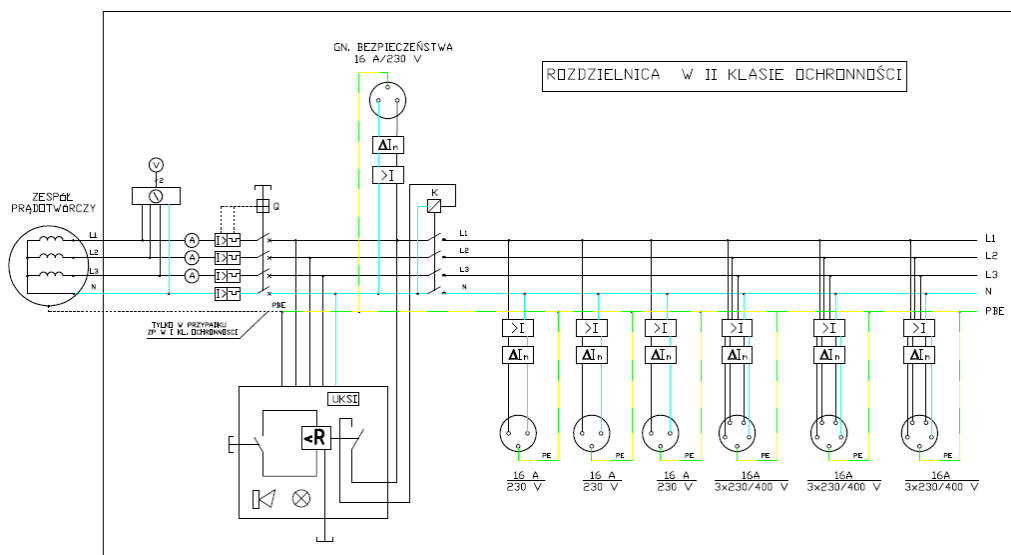
$$(I_{L1} + I_{L2} + I_{L3}) - I_N \geq (0,5 \div 1) \cdot I_{\Delta n} \quad (11)$$



Rysunek 10. Zasada działania wyłącznika różnicowoprądowego i warunek jego poprawnego funkcjonowania [5] I_{L1} ; I_{L2} ; I_{L3} – prądy fazowe; I_N – prąd w przewodzie neutralnym; $I_{\Delta n}$ – znamionowy prąd różnicowy.

Dobór przewodów stanowiących ukończenie instalacji tymczasowej należy realizować zgodnie z wymaganiami normy PN-IEC 60364-5-523: 2002 „Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego. Obciążalność długotrwała przewodów” [5].

Na rysunku 11 został przedstawiony przykładowy schemat zasilania instalacji tymczasowej budowanej w czasie akcji ratowniczo-gaśniczej zasilanej z generatora zespołu prądowłórczego w układzie zasilania IU.



Rysunek 11. Przykładowy schemat zasilania instalacji tymczasowej rozwijanej podczas akcji ratowniczo-gaśniczej⁵ (UKSI musi gwarantować pomiar ciągłości przewodu PBU).

Analiza rysunku 10 oraz rysunku 11 pozwala wyciągnąć wnioski, że wyłączniki różnicowoprądowe podczas zwarc podwójnych stanowią skuteczne zabezpieczenie przeciwporażeniowe i wyłączą co najmniej jeden z uszkodzonych obwodów w czasie zgodnym z wymaganiami normy [4].

⁵ Gniazda wtyczkowe o prądzie znamionowym powyżej 16 A powinny być wyposażone w rozłącznik oraz blokadę mechaniczną. W obwodach zasilanych z zespołów prądowłórczych dopuszcza się stosowanie gniazd wtyczkowych o prądzie znamionowym nie większym od 32 A.

Przykład

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 .

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

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

$$I_k = \frac{U_0}{2 \cdot Z_s} = \frac{230}{2 \cdot (3,33 + 0,3)} = 31,68 \text{ A} < I_a = 80 \text{ A}$$

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 zwarciovych zasilanych przez generator zespołu prądotwórczego jest konieczne w celu zachowania skutecznej ochrony od porażień przy podwójnym zwarciu.

Osobnym, ale bardzo ważnym, problem 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 rozwinięciu tymczasowej instalacji powinna przeprowadzić uproszczoną procedurę sprawdzającą. Zakres sprawdzania powinien obejmować:

- oględziny zespołu prądotwórczego,
- oględziny rozdzielnicy,
- stan połączeń sieci oraz działanie wyłączników różnicowoprądowych 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 prądniczy 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 dotykowe 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.

W tabeli 1 zostały przedstawione dopuszczalne wartości parametrów urządzeń odbiorczych przy sprawdzeniach odbiorczych i okresowych, określone w niemieckiej normie DIN VDE 0701/0702 [3]

Tabela 1. Graniczne dopuszczalne wartości parametrów urządzeń odbiorczych przy sprawdzaniach okresowych według DIN VDE 0701/02702 [3].

Klasa ochronności urządzenia	I	II	III
Rezystancja przewodu ochronnego [Ω]	0,3 ¹⁾	-	-
Rezystancja izolacji [$M\Omega$]	1,0 ^{2) 3)}	2,0	0,25
Prąd w przewodzie ochronnym[mA]	3,5 ⁴⁾	-	-
Prąd dotykowy[mA]	-	0,6	-

Dotyczy urządzeń klasy ochronności I i II o napięciu znamionowym 230 V.

- 1) $\leq 0,3 \Omega$ 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 $M\Omega$ jeżeli urządzenie zawiera elementy grzejne,
- 3) Wymaga się 2,0 $M\Omega$ w stosunku do drobnych części przewodzących dostępnych, niepołączonych z przewodem ochronnym PBU,
- 4) Dla urządzeń z elementami grzejnymi 1mA/kW, ale nie więcej niż 10 mA.

Literatura

- [1] DIN 14686:2010-05 Feuerwehrwesen-Schaltschränke für fest eingebaute Stromerzeuger (Generatorsätze) ≥ 12 kVA für den Einsatz Feuerwehrfahrzeugen.
- [2] DIN 14686:2007-02 Feuerwehrwesen-Fest eingebaute Stromerzeuger kleiner 12 kVA für den Einsatz Feuerwehrfahrzeugen.
- [3] E. Musiał – Ochrona przeciwporażeniowa w instalacjach zasilanych z zespołów prądowórczych spalinowo-elektrycznych – inpe nr 170-171 listopad-grudzień 2013 r.
- [4] PN-HD 60364-4-41: 2009 Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Część 4-41. Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przed porażeniem elektrycznym.
- [5] PN-IEC 60364-5-523: 2002 Instalacje elektryczna w obiektach budowlanych. Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego. Obciążalność długotrwała przewodów.
- [6] J. Wiatr; M. Orzechowski Dobór przewodów i kabli elektrycznych niskiego napięcia – DW MEDIUM 2012.
- [7] J. Wiatr – Zespoły prądowórcze w układach zasilania awaryjnego budynków – DW Medium 2010.
- [8] DIN VDE 0701-0702: 2008-06 Prüfung nach Instandsetzung, Änderung elektrischer Geräte Wiederholung sprüfung elektrischer Geräte.
- [9] PN-HD 60364-7-704: 2008 Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Część 7-704. Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji. Instalacje na terenie budowy i rozbiórki.
- [10] PN-HD 60364-6 Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Część 6. Sprawdzenie.
- [11] N SEP-E 001 Sieci elektroenergetyczne niskiego napięcia. Ochrona przeciwporażeniowa.
- [12] J. Wiatr ; M. Orzechowski Poradnik Projektanta Elektryka – DW MEDIUM 2012 – wydanie V.
- [13] PN-HD 60364-5-54 Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Część 5-54. Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego. Uziemienia, przewody ochronne i przewody połączeń wyrównawczych.
- [14] PN-HD 60364-5-551:2003p Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego. Niskonapięciowe zespoły prądowórcze.