

ppłk w st. spocz. mgr inż. Julian WIATR
redaktor naczelny miesięcznika „elektro.info”
bryg. dr inż. Waldemar JASKÓŁOWSKI
Zakład Teorii Procesów Spalania i Wybuchu
Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego
Szkoła Główna Służby Pożarniczej

Elektryczne instalacje tymczasowe rozwijane w czasie akcji ratowniczych realizowanych przez jednostki ochrony przeciwpożarowej

Temporary Electrical Wiring for Fire Rescue Services during On-site Operations

Streszczenie

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 uziemienia punktu neutralnego generatora. Ponadto w warunkach zwarciovych, jakie gwarantuje generator zespołu prądotwórczego, nie zawsze możliwe jest 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 elektrycznych polowych instalacji tymczasowych rozwijanych podczas akcji ratowniczej.

Słowa kluczowe: działania ratownicze, tymczasowe instalacje elektryczne, bezpieczeństwo strażaków – ratowników

Summary

Current requirements for temporary electrical wiring used by fire protection entities leave much to be desired. Under the regulations in force, temporary earthing system for field activates should be TN-S, which, despite advantages, might not be easy to set up in field condition, as the neutral point of the generator should be earthed. Moreover, in short-circuit conditions, the generator might not guarantee appropriate level of electric shock protection. According to the statistics

of State Fire Service, these are the causes of electric shock accidents, in which firemen were harmed. The article presents simple and reliable way to design and set up temporary electrical wiring during fire rescue operations.

Keywords: fire rescue operations, temporary electrical wiring, safety of firefighters

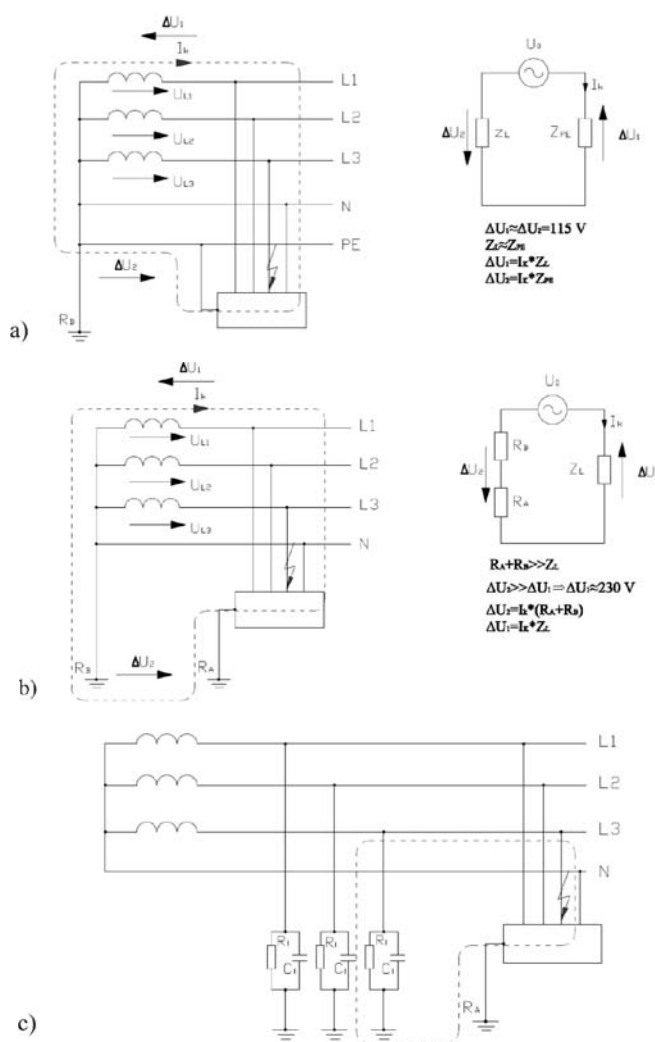
Wiele budynków, niezależnie od przeznaczenia, wyposażonych jest w urządzenia przeciwpożarowe zasilane prądem elektrycznym, których celem jest m.in. wczesne wykrycie pożaru, jego szybka neutralizacja, zawiadomienie o konieczności ewakuacji. Niejednokrotnie podczas akcji ratowniczej zastępy straży pożarnej muszą wykorzystywać mobilne urządzenia elektryczne stanowiące wyposażenie pojazdów 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 samochodów gaśniczych i technicznych. W związku z powyższym, ratownicy po przybyciu na miejsce zdarzenia stają przed problemem budowy tymczasowej instalacji elektrycznej (polowej sieci elektroenergetycznej), zasilanej z generatora zespołu prądotwórczego. 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 PN-HD 60364-4-41:2009 [4] warunki spełnić może jedynie sieć ochronna wykonana w układzie zasilania IU, który nie został zdefiniowany ww. normie. W tym miejscu należy nadmienić, że 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 uziemiania wielokrotnego elementów zasilanych z generatora zespołu prądotwórczego. 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 ratowniczej, wymagania takie stanowiłoby 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 rozpoczę-

¹ W przepisach krajowych, norma N SEP-E 001 [11] określa wymóg 5 W. 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].

cie akcji. Szczególne trudności pojawiają się w terenie uzbrojonym albo z nawierzchnią asfaltową, gdzie znalezienie miejsca na położenie uziomu jest bardzo utrudnione. Podobnie w przypadku terenu o bardzo dużej rezystywności gruntu – wykonanie uziemienia o wymaganej rezystancji wymaga czasu, przez co należy kategorię odrzucić układ zasilania TN-S w warunkach akcji ratowniczej, 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 rys. 1 zostały przedstawione układy zasilania TN-S; TT oraz układ zasilania IT wraz z oznaczonymi obwodami prądów zwarciovych.



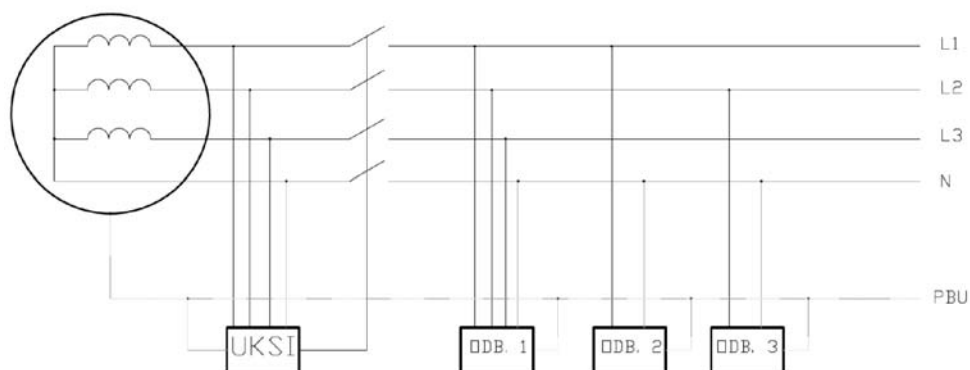
Rys. 1. Układy zasilania oraz obwody prądów zwarciovych a) TN-S; b) TT; c) IT

R_i – rezystancja, oraz C_i – pojemność występująca pomiędzy żyłą przewodzącą a ziemią

Źródło: opracowanie własne.

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

ZESPÓŁ PRĄDOTWÓRCZY



Rys. 2. Schemat połowej linii elektroenergetycznej wykonanej w układzie IU

Źródło: opracowanie własne.

Z uwagi na brak krajowych wymagań w tym zakresie, pomocne okazały się normy niemieckie [1, 2]:

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 Stromerzeugerkleiner 12 kVA für den Einsatz Feuerwehrfahrzeugen.

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 nieuziemionym przewodem wyrównawczym PBU.

W układzie tym, podobnie jak w układzie zasilania IT, występuje Układ Kontrolny Stanu Izolacji (UKSI; ang. IMD – insulation monitoring device, czyli

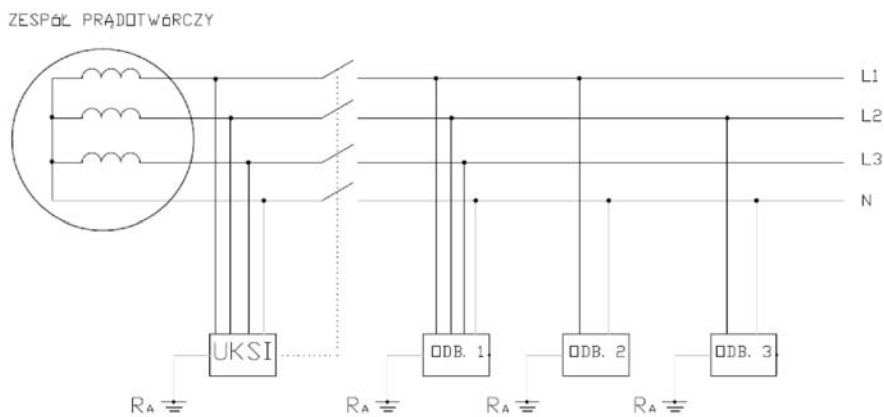
² Spotyka się również określenia:

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

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 dwustopniowe 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 działania 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 głośną samouwolnienie 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 przedstawiono układ zasilania IT z przyłączonymi kilkoma odbiornikami. W przeciwieństwie do układu zasilania IU każdy odbiornik posiada uzziemienie ochronne, które ze względów bezpieczeństwa powinno zostać wykonane jako zbiorowe, obejmujące wszystkie odbiorniki zasilane z tego samego źródła. Przekształcenie układu IU w układ IT polega na uzziemieniu przewodu wyrównawczego PBU. Przedstawiono to na rys. 5, gdzie zaznaczono drogę przepływu prądu zwarciovego przy zwarciu podwójnym.



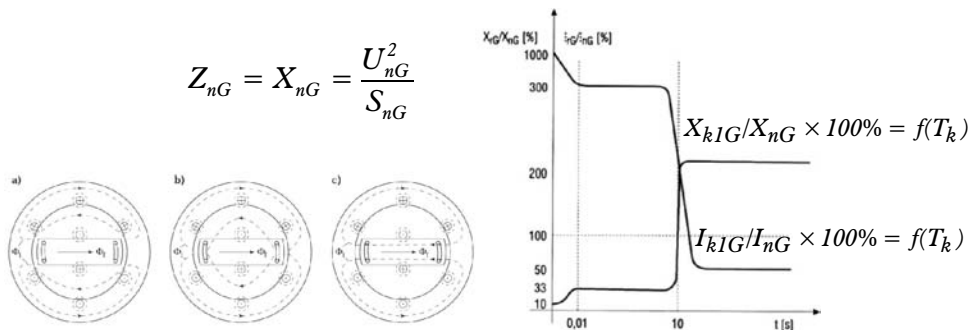
Rys. 3. Schemat zasilania w układzie IT z wykorzystaniem zbiorowego uzziemienia wszystkich odbiorników

Źródło: opracowanie własne.

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 prądowców o mocy $S \leq 25 \text{ kVA}$ można nie instalować UKSI, z czego korzystają producenci zespołów prądowców. W celu zwiększenia bezpieczeństwa eksploatacji, UKSI należy instalować w rozdzielni stanowiącej element ukończenia instalacji tymczasowej stanowiącej wyposażenie samochodów pożarniczych

Zespół prądowórczy jest źródłem „miękkim”, którego impedancja zwarcio-
wa, w przeciwieństwie do Systemu Elektroenergetycznego, ulega zmianom
w dość szerokich granicach, uzyskując w stanie podprześciowym zwarcia war-
tość około 10% znamionowej wartości impedancji znamionowej generatora
(określonej wzorem $Z_{nG} = \frac{U_{nG}^2}{S_{nG}}$), w stanie przejściowym zwarcia około 30 – 40%

wartości znamionowej generatora, a w stanie ustalonym zwarcia 200 – 300% war-
tości znamionowej generatora. Zmienność impedancji zwarciowej generatora
wynika ze zmienności drogi głównego strumienia magnetycznego generatora, co
zostało przedstawione na rys. 4. Widoczna na rys. 4d, chwilowa stabilizacja impe-
dancji zwarciowej generatora jest wynikiem działania automatyki forsowania
wzbudzenia, która ustaje po 10 s od chwili powstania zwarcia.



Z_{nG} – impedancja znamionowa generatora; X_{nG} – znamionowa reaktancja generatora

Rys. 4. Zmienność drogi strumienia magnetycznego w generatorze w stanie podprześciowym zwarcia (a), przejściowym zwarcia (b), ustalonym zwarcia (c) oraz zmienność impedancji i prądów zwarciowych d)

Źródło: opracowano na podstawie [12].

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

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

gdzie:

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

U_{nG} – napięcie znamionowe generatora, 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 $0,03 X_{nG}$.

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

$$Z_{kT} = x_k \times \frac{U_{nT}^2}{S_{nT}} \quad (2)$$

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

$$Z_{k1G} / Z_T = \frac{1}{x_k n} \quad \begin{array}{ll} 7,4 & S \quad 400 \text{ kVA} \\ 5,6 & S \quad 630 \text{ kVA} \end{array} \quad (3)$$

Zatem o taką względną wartość mniejsze będą prądy zwarciove przy zasilaniu z generatora w stosunku do prądów zwarciowych zasilanych przez transformator SN/Nn o takiej samej mocy jak generator zespołu prądotwórczego, przyłączony do systemu elektroenergetycznego. Takie silne ograniczenie prądu zwarciowego płynącego z generatora zespołu prądotwórczego wynika z jego mocy zwarciowej, która jest nieporównywanie mniejsza od mocy zwarciowej systemu elektroenergetycznego.

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

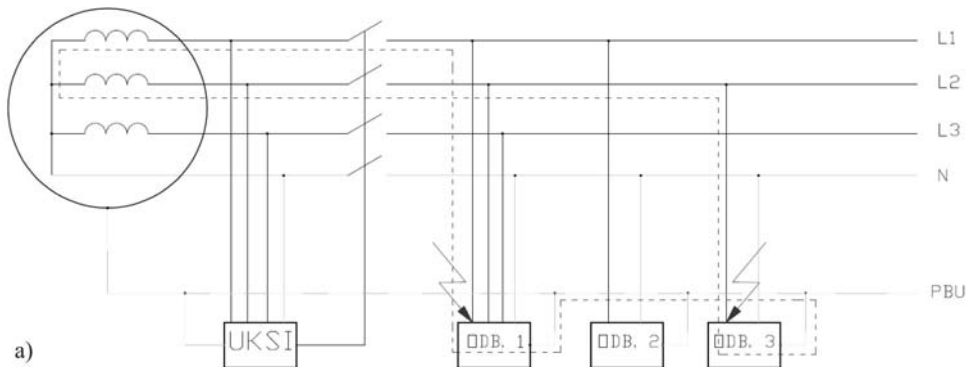
Problemy pojawiają się dopiero przy podwójnym zwarcu. Dotyczą one samoczynnego wyłączenia co najmniej w jednym obwodzie objętym zwarcem. Na rys. 5 przedstawiono obwód prądu zwarciowego dla zwarc podwójnych w układzie zasilania IT oraz układzie zasilania IU.

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

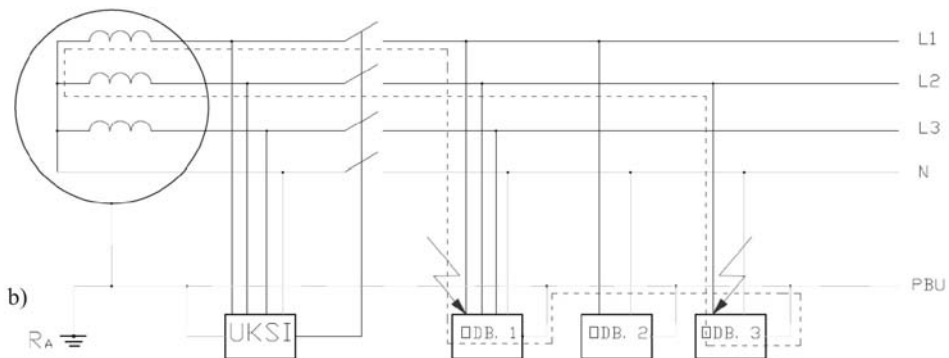
W układzie zasilania IT, doziemienie jednej fazy skutkuje pojawianiem się na fazach nieuszkodzonych napięcia międzyfazowego, co symbolicznie przedstawiono na rys. 6. Podobnie w układzie zasilania IU, w którym punktem odniesienia jest nieuziemiony przewód PBU. Pojawiało będzie się jednak napięcie U_N , którego wektor układał się będzie 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 (rys. 7). W celu zapewnienia pełnego bezpieczeństwa, izolacja przyłączanych odbiorników do

instalacji tymczasowej musi posiadać izolacje odporne na zwiększone wartości napięcia do wartości napięcia międzyfazowego. Dla uniknięcia tego niekorzystnego zjawiska, optymalnym jest stosowanie wyłącznie odbiorników trójfazowych symetrycznych.

ZESPÓŁ PRĄDOWY

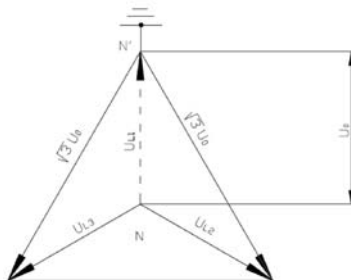


ZESPÓŁ PRĄDOWY



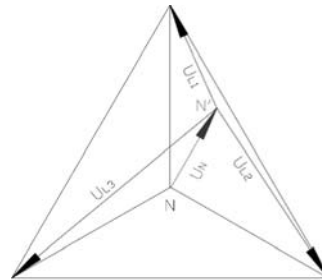
Rys. 5. Droga prądu zwarciego w układzie zasilania IT (a) oraz układzie zasilania IU (b), przy podwójnym zwarceniu

Źródło: opracowanie własne.



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

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 7. Zobrazowanie zmienności napięć fazowych przy asymetrycznym zasilaniu w układzie IU

Źródło: opracowanie własne.

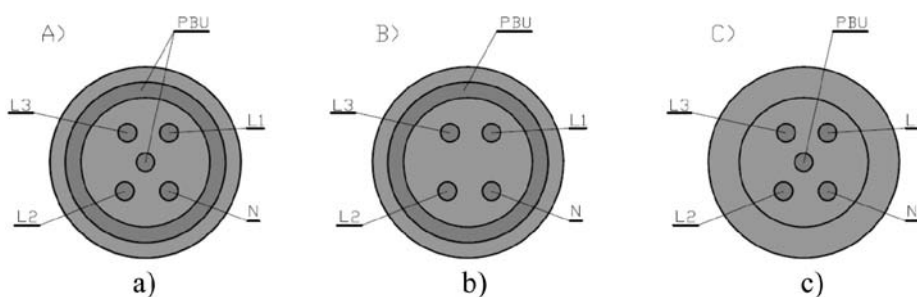
Ponieważ w układzie IU, przewód wyrównawczy PBU łączy wszystkie zasilane odbiorniki, przy podwójnym zwarceniu, obwód zwarcia ładząco przypomina obwód zwarcia, jaki występuje w układzie zasilania TN. Stosunkowo łatwo można w tym przypadku spełnić warunek samoczynnego wyłączenia w co najmniej w jednym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

W układzie przedstawionym na rys. 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 prądowców 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 neoprenowego 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 opłot bezpośrednio pod powłoką zewnętrzną przewodu stanowił żyłę PBU.

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



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

Źródło: opracowanie własne.

Okablowanie stanowiące wyposażenie samochodu pożarniczego powinno być zdublowane (jeden komplet oprzewodowania powinien stanowić zapas gotowy do użycia w przypadku uszkodzenia zastawu podstawowego) ze względów zwiększenia bezpieczeństwa.

szonej niezawodności, tak by możliwa była wymiana w przypadku postania uszkodzenia w czasie akcji ratowniczo-gaśniczej.

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

W skład ukompletowania połowej sieci elektroenergetycznej muszą wchodzić następujące elementy: zespół prądowórczy nn o mocy dobranej do mocy odbiorników, dwa komplety kabli oraz rozdzielnica wykonana w II klasie ochronności, do której przyłączane będą zasilane odbiorniki. Przewody powinny znajdować się na bębnach z zainstalowanymi gniazdami umożliwiającymi przyłączanie odbiorników (rys. 9).

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

$$l = \frac{R}{2} S \quad (4)$$

gdzie:

– konduktywność żyły przewodzącej przewodu zasilającego, w $[m/(mm^2)]$, dla miedzi $= 55$;

S – przekrój żyły przewodzącej przewodu zasilającego, $[mm^2]$.

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

Długość będzie uzależniona do przekroju przewodu:

- przy $S = 2,5 mm^2$; $l = 100 m$
- przy $S = 4 mm^2$; $l = 160 m$
- przy $S = 6 mm^2$; $l = 240 m$

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

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



Rys. 9. Bęben przewodowy stanowiący jednocześnie przedłużacz do przyłączania ręcznych odbiorników energii elektrycznej

Źródło: opracowanie własne.

– dla obwodów jednofazowych:

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

– dla obwodów trójfazowych:

$$l = \frac{5}{P} \frac{S}{100} \frac{U_f^2}{100} \quad (7)$$

gdzie:

P – moc czynna przyłączanych odbiorników, w [W];

U_n – napięcie międzyprzewodowe, w [V];

U_f – napięcie pomiędzy przewodem fazowym a przewodem neutralnym, w [V].

Ocenę samoczynnego wyłączenia zwarć przy zwarciu podwójnym, zobrazowanym na rys. 10 należy przeprowadzić z wykorzystaniem poniższych wzorów:

$$I_k = \frac{U_0}{2 Z_s'} I_a \quad (8)$$

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

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

gdzie:

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

Z_s' – impedancja obwodu zwarciovego (symbolicznie przedstawiona na rys. 8), dla zwarć podwójnych bez udziału ziemi, w [Ω];

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

Z_{k1G} – impedancja zwarciova generatora dla zwarć 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 zwarć na jego zaciskach, w [-];

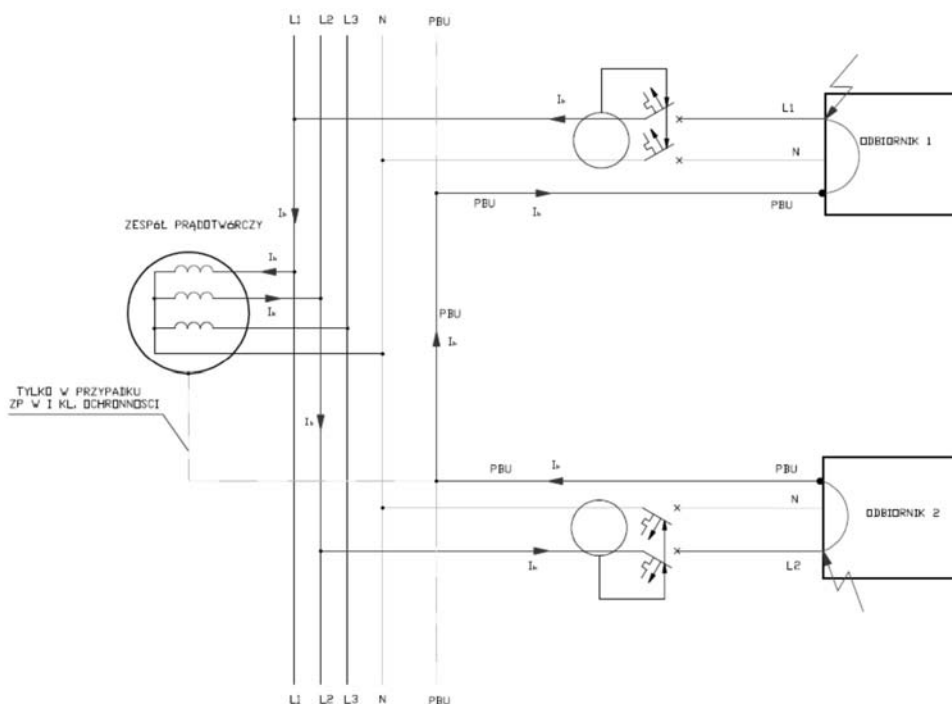
l – długość obwodu zwarciovego, w [m];

S – przekrój przewodu, w [mm²];

- konduktywność przewodu, w [m/(mm)];

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

W przypadku nieskutecznej ochrony przeciwporażeniowej realizowanej przez zabezpieczenia wzrostowe podczas zwarc podwójnych, można zastosować wyłączniki różnicowoprądowe, których zasadę działania przedstawiono na rys. 11.



Rys. 10. Obwód zwarcia dla prądu zwarcowego przy zwarcu podwójnym (droga przepływu prądu zwarcowego została oznaczona kolorem czerwonym)

Źródło: opracowanie własne.

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

$$(I_{L1} \quad I_{L2} \quad I_{L3} \quad (0,5 \quad 1) I_n) \quad (11)$$

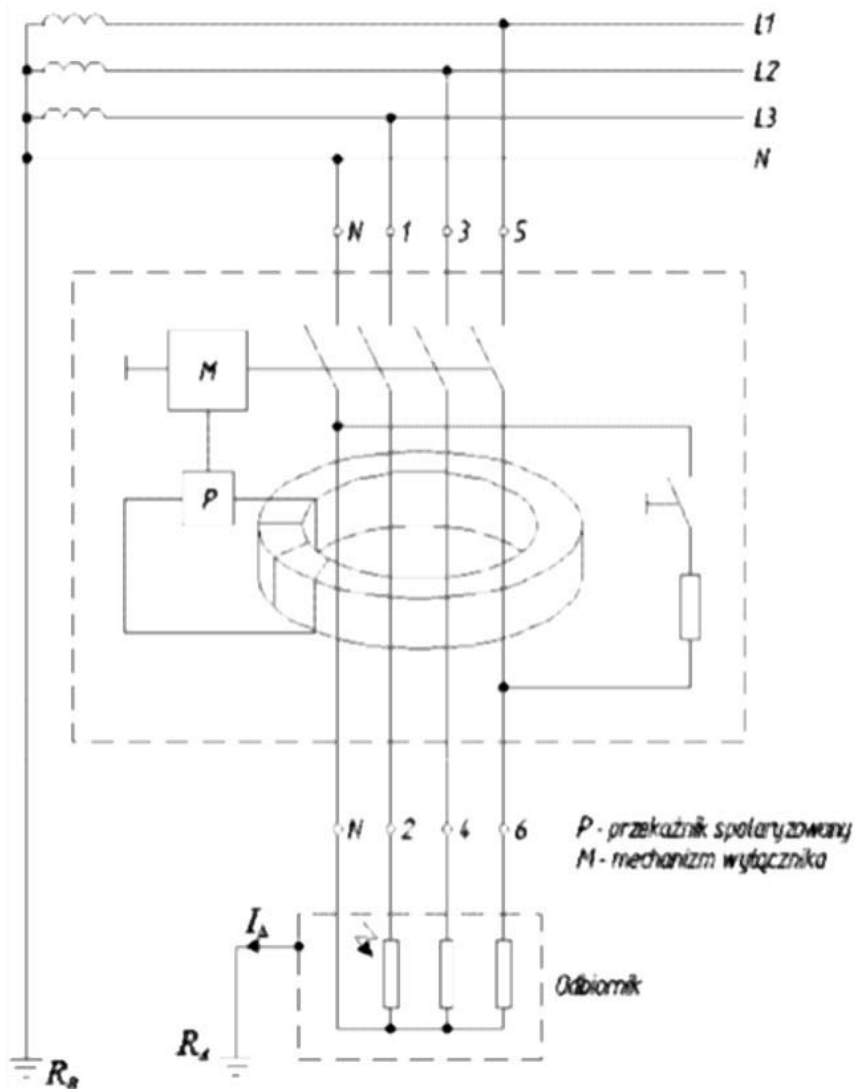
gdzie:

I_{L1} ; I_{L2} ; I_{L3} – prądy fazowe;

I_N – prąd w przewodzie neutralnym;

I_n – znamionowy prąd różnicowy.

Dobór przewodów stanowiących ukompletowanie 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].

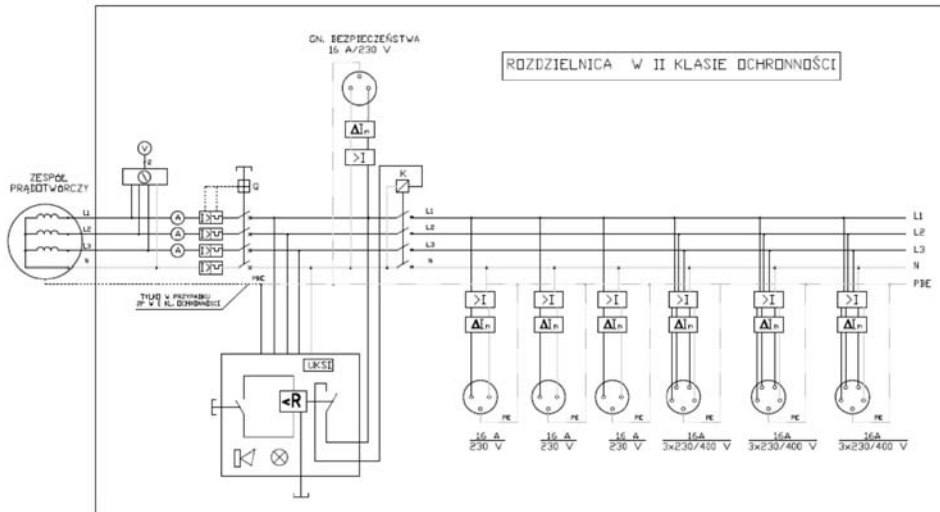


Rys. 11. Zasada działania wyłącznika różnicowoprądowego i warunek jego poprawnego funkcjonowania

Źródło: opracowano na podstawie [5].

Na rys. 12 przedstawiono przykładowy schemat zasilania instalacji tymczasowej budowanej w czasie akcji ratowniczej zasilanej z generatora zespołu prądotwórczego w układzie zasilania IU.

Analiza rys. 11 i rys. 12 pozwala sformułować wnioski, z których wynika, że wyłączniki różnicowoprądowe podczas zwarć podwójnych stanowią skuteczne zabezpieczenie przeciwporażeniowe i wyłączą co najmniej jeden z uszkodzonych obwodów w czasie zgodnym z wymaganiami normy [4].



Rys. 12. Przykładowy schemat zasilania instalacji tymczasowej rozwijanej podczas akcji ratowniczo-gaśniczej (UKSI musi gwarantować pomiar ciągłości przewodu PBU)

Przykład

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

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

$$Z_l \quad R \quad \frac{l}{S} \quad \frac{100}{55 \cdot 6} \quad 0,3$$

$$I_k \quad \frac{U_0}{2 Z'_s} \quad \frac{230}{2 (3,33 \quad 0,3)} \quad 31,68 \text{ A} \quad I_a \quad 80 \text{ A}$$

Warunek samoczynnego wyłączenia nie zostanie spełniony. Konieczne jest dobezpieczenie zasilanych obwodów wysokoczułymi wyłącznikami różnicowoprądowymi lub zastosowanie zespolonego aparatu zawierającego wyłącznik naddprądowy z wysokoczułym wyłącznikiem różnicowoprądowym. Takie rozwiązanie, ze względu na małe wartości prądów zwarciovych zasilanych przez generator zespołu prądowórczego, 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 sieci 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 prądowórczego,
- oględziny rozdzielnic,
- stan połączeń sieci oraz działanie wyłączników różnicowoprądowych, przez uruchomienie testu,
- sprawdzenie ciągłości przewodu PBU.

Należy zwrócić uwagę, że sprawdzenie działania wyłączników różnicowoprądowych powinno być wykonywane codziennie, po objęciu służby przez zmianę dyżurną, co wiąże się z uruchomieniem zespołu prądowórczego. 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 sprawdzaniach 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

Klasa ochronności urządzenia	I	II	III
Rezystancja przewodu ochronnego [Ω]	0,3 ¹⁾	–	–
Rezystancja izolacji [$M\Omega$]	1,0 ^{2) 3)}	2	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 1 mA/kW, ale nie więcej niż 10 mA			

Źródło: opracowano na podstawie [3].

Literatura

- [1] DIN 14686:2010-05 Feuerwehrwesen-Schalt-schränke für fest eingebaute Stromerzeuger (Generatorsätze) ? 12 kVA für den Einsatz Feuerwehrfahrzugen.
- [2] DIN 14686:2007-02 Feuerwehrwesen-Fest eingebaute Stromerzeuger kleiner 12 kVA für den Einsatz Feuerwehrfahrzugen.
- [3] Musiał E.: Ochrona przeciwporażeniowa w instalacjach zasilanych z zespołów prądowców spalinoowo-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 elektryczne w obiektach budowlanych. Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego. Obciążalność długotrwała przewodów.
- [6] Wiatr J., Orzechowski M.: Dobór przewodów i kabli elektrycznych niskiego napięcia, DW MEDIUM, 2012.
- [7] Wiatr J., Zespoły prądowców 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] Wiatr J., Orzechowski M.: 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 prądowców.