

OCHRONA PRZECIWPORAŻENIOWA W INSTALACJACH ZASILANYCH Z ZESPOŁÓW PRĄDOTWÓRCZYCH SPALINOWO-ELEKTRYCZNYCH

PROTECTION AGAINST ELECTRIC SHOCK IN INSTALLATIONS POWERED BY COMBUSTION ENGINE DRIVEN GENERATING SETS

Abstract: Diesel-electric generating sets may feed temporary or permanent installations and networks not connected to the electrical grid. They can also serve as standby power supply source. According to their destination, mode of operation, construction, rated power and environmental conditions of work, there are different requirements for installation, its equipment and protection against electric shock. In temporary installations supplied by mobile generating sets most appropriate are protection measures that do not require loop impedance checking or any earthing electrode. Are also useful protection measures for which earthing resistance 50 or 100 ohms is sufficiently good. Polish standards and rules on this subject are incomplete, so foreign and international normative documents have been quoted in this paper. The loop impedance values have to be verified only in TN-S installations without residual current circuit-breakers. Are also useful protection measures for which earthing resistance 50 or 100 ohms is sufficiently good.

Keywords: generating sets, island mode operation, protection against electric shock, installations with built-in safety, protective separation, fault protection in IT system, fault protection in IU system, fault protection in TN-S system

Streszczenie: Zespoły prądotwórcze spalinowo-elektryczne służą do stałego lub tymczasowego zasilania wyspowych instalacji i sieci rozdzielczych niepołączonych z systemem elektroenergetycznym. Mogą też być źródłem zasilania rezerwowego, uruchamianym w razie niesprawności zasilania podstawowego. W zależności od przeznaczenia zespołu i trybu pracy, jego budowy i mocy znamionowej oraz środowiskowych warunków pracy, różne są wymagania odnośnie do wykonania zasilanej instalacji oraz środków ochrony od porażenia prądem elektrycznym. W instalacjach tymczasowych z zespołami prądotwórczymi ruchomymi najbardziej przydatne są środki ochrony, które nie wymagają sprawdzania wartości impedancji pętli zwarciowej i nie wymagają żadnego uziemienia albo takie, którym wystarcza uziemienie o rezystancji 100 Ω lub 50 Ω . Polskie normy i przepisy na ten temat są niekompletne, wobec czego w tym opracowaniu przywołuje się dokumenty normatywne zagraniczne i międzynarodowe. Tylko w przypadku instalacji TN-S bez zabezpieczeń różnicowoprądowych zachodzi konieczność sprawdzania wartości impedancji pętli zwarciowej.

Słowa kluczowe: zespoły prądotwórcze spalinowo-elektryczne, zasilanie wyspowe, ochrona przeciwporażeniowa, instalacje naturalnie bezpieczne, separacja ochronna, ochrona przy uszkodzeniu w układzie IT, ochrona w układzie IU, ochrona w układzie TN-S

1. WYMAGANIA AKTUALNYCH POLSKICH NORM

Instalacje elektryczne zasilane z zespołów spalinowo-elektrycznych powinny spełniać wymagania ogólne części od 1 do 6 wieloarkuszowej normy 60364, dotyczące instalacji w obiektach budowlanych. Postanowienia w kwestiach ochrony przeciwporażeniowej są zawarte przede wszystkim w dwóch normach bezpieczeństwa grupowych: 60364-4-41 [10] oraz 60364-5-54 [12]. Z kolei wymagania dodatkowe dla zespołów prądotwórczych formułuje tylko jedna norma bezpieczeństwa produktowa, mianowicie norma 60364-5-551 [13, 14]. Jednak zakres tej normy obejmuje wszelkie zespoły prądotwórcze o napięciu znamionowym niskim i bardzo niskim, niezależnie od trybu ich pracy i niezależnie od źródła energii pierwotnej, a więc napędzane nie tylko tłokowymi silnikami spalinowymi, lecz również turbinami (wodnymi, wiatrowymi bądź spalinowymi), silnikami elektrycznymi, a także – wykorzystujące ogniwa fotowoltaiczne, baterie akumulatorów bądź inne przydatne technologie. Taka ogólna norma dla wszelkich zespołów prądotwórczych jest niewątpliwie niezbędna, aby ujednoczyć wymagania zasadnicze dotyczące ich przyłączenia i eksploatacji, niemniej jednak taka norma z konieczności formułuje wymagania ogólnikowe, z których niełatwo

wywieść właściwe rozwiązania dla różnorodnych konkretnych zastosowań. Potrzebne są zatem uzupełniające normy bądź inne dokumenty normatywne dla poszczególnych rodzajów i zastosowań zespołów prądowórczych. Wprawdzie w Polsce takich dokumentów nie ma, ale są dostępne liczne opracowania zagraniczne [20, 21, 22, 23, 24, 26, 27, 28, 29, 31, 32], które polscy elektrycy – zgodnie z postanowieniem 511.1 normy 60364-5-51 [11] – powinni traktować jako uznane zasady wiedzy technicznej.

Dalszy ciąg niniejszego rozdziału jest poświęcony przeglądowi ważniejszych postanowień jedynego w Polsce dokumentu normatywnego – **normy PN-HD 60364-5-551:2010** [14]. Na początku określono **zakres normy** (rozdz. 551.1) w sposób wyżej wspomniany. Podkreślono (551.1.2), że norma obejmuje zespoły o różnej przydatnej zasadzie działania: prądnice synchroniczne i asynchroniczne o różnym sposobie wzbudzenia oraz przekształtniki energoelektroniczne o różnym sposobie komutacji, wyposażone lub nie w połączenie obejściowe. Jest też informacja (551.1.3), że norma obejmuje rozmaite zastosowania zespołów: zasilanie instalacji stałej, zasilanie instalacji tymczasowej, zasilanie urządzeń ruchomych nieprzyłączonych do instalacji stałej oraz zasilanie tzw. zespołów ruchomych (pojazdów), przy czym stosuje się wtedy dodatkowo wymagania części 60364-7-717 normy. Następnie sformułowano wymagania ogólne (551.2), niewnoszące nic szczególnego w porównaniu z dobrą praktyką elektroinstalacyjną.

Kolejny rozdział (551.3) podaje dość oczywiste wymagania dodatkowe – w stosunku do części 60364-4-41 normy [10] – dla **obwodów SELV i PELV**, jeżeli instalacja jest zasilana z więcej niż jednego źródła (551.3.1). W takiej sytuacji każde z nich powinno spełniać wymagania 414.3 [10]. Jeżeli chociażby jedno ze źródeł jest uziemione, to cały układ staje się obwodem PELV i należy do niego stosować wymagania rozdziału 414.4 [10]. Z kolei jeżeli chociażby jedno ze źródeł nie spełnia wymagań 414.3, to cały układ należy traktować jako **obwód FELV** i stosować wymagania 411.7 [10]. Jeżeli jest konieczne utrzymanie ciągłości zasilania układu bardzo niskiego napięcia (551.3.2), mimo uszkodzenia jednego źródła zasilania lub większej ich liczby, to każde źródło zasilania lub zestaw źródeł mogący pracować bez udziału innych powinien być zdolny pokryć przewidywane obciążenie całego układu bardzo niskiego napięcia. (Uwaga: Takie środki ostrożności mogą być konieczne przy zasilaniu instalacji bezpieczeństwa – zob. część 60364-5-56).

Następny rozdział (551.4) przedstawia wymagania dodatkowe – w stosunku do części 60364-4-41 normy [10] – dotyczące ochrony przy uszkodzeniu (ochrony dodatkowej). **Ochrona przy uszkodzeniu** (551.4.1) powinna być zapewniona w każdych warunkach zasilania z pojedynczego źródła bądź zestawu źródeł, które mogą działać niezależnie od innych. Stosując różne środki ochrony w tej samej instalacji bądź części instalacji należy je tak dobierać albo stosować takie środki zaradcze, aby zapobiec występowaniu niepożądanych oddziaływań wzajemnych ograniczających skuteczność ochrony (Uwaga: Może to wymagać na przykład użycia transformatora oddzielającego części instalacji wykorzystujące różne systemy uziemienia). Zespół prądowórczy powinien być tak przyłączony (551.4.2), aby jakikolwiek sposób ochrony w obrębie instalacji, wykorzystujący urządzenie różnicowoprądowe zgodnie z HD 60364-4-41, zachowywał skuteczność przy dowolnej kombinacji źródeł zasilania (Uwaga: Połączenie części czynnych zespołu z ziemią może upośledzać ochronę).

Ochrona przez **samoczynne wyłączenie zasilania** (551.4.3), jeśli jest stosowana w roli ochrony przy uszkodzeniu, powinna spełniać wymagania 411 normy HD 60364-4-41 z uwzględnieniem wymagań dodatkowych w przypadkach szczególnych, wskazanych w 551.4.3.2 oraz 551.4.3.3.

Pierwszy z tych przypadków szczególnych (551.4.3.2) dotyczy sytuacji, kiedy **zespół prądowórczy zastępuje źródło zasilania podstawowego**. Kiedy zasilanie przejmuje zespół prądowórczy, wtedy skuteczność ochrony przez samoczynne wyłączenie zasilania nie powinna zależeć od połączenia instalacji z uziemieniem sieci rozdzielczej, od której właśnie została odłączona. Instalacja odbiorcza powinna mieć lokalne uziemienie odpowiednie do takiego trybu pracy.

Drugi z tych przypadków szczególnych (551.4.3.3) dotyczy instalacji zawierających przekształtniki statyczne. Jeżeli ochrona przy uszkodzeniu w częściach instalacji zasilanych przez przekształtnik wymaga **samoczynnego zamknięcia łącznika obejściowego** (551.4.3.3.1), a czas dzia-

łania zabezpieczenia po stronie zasilania tego łącznika nie spełnia wymagań 411 części HD 60364-4-41, to po stronie obciążenia przekształtnika należy wykonać **połączenia wyrównawcze miejscowe** obejmujące części przewodzące dostępne i części przewodzące obce, które można jednocześnie dotknąć. Zgodnie z 415.2 części HD 60364-4-41 rezystancja przewodów połączeń wyrównawczych miejscowych, wymaganych między częściami przewodzącymi jednocześnie dostępnymi, w przypadku urządzeń prądu przemiennego powinna spełniać warunek:

$$R \leq \frac{50}{I_a}$$

gdzie I_a oznacza największy prąd zwarcia doziemnego, jaki może być wymuszony przez przekształtnik statyczny w czasie nieprzekraczającym 5 s. (Uwaga: Jeżeli takie urządzenie ma działać równoległe z publiczną siecią rozdzielczą, to stosuje się również wymagania 551.7).

Należy zadbać (551.4.3.3.2), aby prawidłowe działanie zabezpieczeń nie było zagrożone przez składową stałą prądu wytwarzaną przez przekształtnik albo przez obecność filtrów. Urządzenia do **odłączania izolacyjnego** (551.4.3.3.3) należy umieścić po obu stronach przekształtnika. Tego wymagania nie stosuje się do strony zasilania przekształtnika, jeżeli przekształtnik stanowi konstrukcję zespoloną (w jednej obudowie) ze źródłem zasilania.

Przedmiotem kolejnego, krótkiego rozdziału (551.5) normy są **zabezpieczenia nadprądowe** zespołów prądowców. Jeżeli jest wymagane zabezpieczenie nadprądowe zespołu (551.5.1), to powinno być ono umieszczone jak najbliżej zacisków zespołu. (Uwaga: Udział zespołu prądowczego w prądzie zwarciovym spodziewanym może być funkcją czasu i może być znacznie mniejszy niż udział publicznej sieci rozdzielczej za pośrednictwem transformatora SN/nn). Jeżeli zespół prądowczy jest przeznaczony do pracy równoległej z innym źródłem zasilania (551.5.2), w tym z publiczną siecią rozdzielczą, albo jest możliwa praca równoległa dwóch bądź większej liczby zespołów prądowczych, to odkształcenie prądu powinno być tak ograniczone, aby obciążalność długotrwała przewodów nie była przekroczona. Te prądy można ograniczyć różnymi zabiegami, na przykład dobierając zespoły prądowcze z uzwojeniami kompensacyjnymi, włączając impedancję w wyprowadzenie punktu gwiazdowego zespołu czy stosując filtry.

Kolejny rozdział (551.6) zawiera wymagania dodatkowe, jakie powinny spełniać **zespoły prądowcze stanowiące przełączalne rezerwowe źródło zasilania**, alternatywne w stosunku do zasilania podstawowego. Należy zastosować, zgodnie z częścią 60364-5-53, środki odłączania izolacyjnego zapobiegające pracy równoległej zespołu z publiczną siecią rozdzielczą (551.6.1). Mogą one zawierać:

- elektryczną, mechaniczną lub elektromechaniczną blokadę między mechanizmami lub obwodami sterowania przełącznika źródeł zasilania;
- system blokowania z pojedynczym kluczem (ang. *a system of locks with a single transferable key*);
- przełącznik zasilania trójpołożeniowy przerwowy, zapewniający wyłączenie przed załączeniem (*a three-position break-before-make change-over switch*);
- samoczynny przełącznik zasilania z odpowiednią blokadą;
- inne środki zapewniające równoważne bezpieczeństwo przełączenia.

(Uwaga: odłączenie izolacyjne powinno obejmować również obwody sterownicze zespołu.)

W układach TN-S, jeśli przewód neutralny nie jest rozłączany (551.6.2), należy zainstalować urządzenie różnicowoprądowe, aby uniknąć niepożądanych skutków połączenia (zwarcia) przewodu neutralnego z ziemią. (Uwaga 1: Może być pożądanym rozłączenie przewodu N instalacji od przewodu N lub PEN sieci rozdzielczej publicznej, aby zapobiec zakłóceniom, np. indukowanym piorunowym udarom napięciowym. Uwaga 2: Zobacz również 444.4.7 „Przełączanie zasilania” w normie HD 60364-4-444).

Kolejny, najobszerniejszy rozdział normy (551.7) zawiera wymagania dodatkowe, jakie powinny spełniać **zespoły prądowcze mogące pracować równoległe z innymi źródłami**, w tym z publiczną siecią rozdzielczą. Jeżeli zespół prądowczy służy za dodatkowe źródło zasilania,

działające równolegle z innym źródłem, to ochrona przed skutkami oddziaływania cieplnego według HD 60364-4-42 oraz zabezpieczenia nadprądowe według HD 60364-4-43 powinny być skuteczne w każdym trybie pracy (551.7.1). Wyjąwszy przypadek zasilacza bezprzerwowego do zasilania wybranych odbiorników i przyłączonego w obwodach odbiorczych, taki zespół prądowórczy powinien być zainstalowany po stronie zasilania wszelkich zabezpieczeń obwodów odbiorczych instalacji. Zespół prądowórczy służący jako dodatkowe źródło zasilania działające równolegle z innym źródłem (551.7.2) powinien być zainstalowany:

- 1) po stronie zasilania wszelkich zabezpieczeń obwodów odbiorczych instalacji albo
- 2) po stronie obciążenia wszelkich zabezpieczeń obwodu odbiorczego instalacji, ale w tym przypadku powinny być spełnione wszystkie następujące wymagania dodatkowe:

- przewody obwodu odbiorczego powinny spełniać następujący warunek:

$$I_z \geq I_n + I_g$$

gdzie: I_z jest obciążalnością długotrwałą przewodów obwodu odbiorczego;

I_n jest prądem znamionowym zabezpieczenia obwodu odbiorczego;

I_g jest znamionowym prądem wyjściowym zespołu prądowórczego;

- zespół prądowórczy nie powinien być przyłączony do obwodu odbiorczego za pośrednictwem wtyczki i gniazda wtyczkowego;
- urządzenie różnicowoprądowe, zapewniające ochronę od porażenia w obwodzie odbiorczym zgodnie z 411 lub 415 (ochrona przy uszkodzeniu i ochrona uzupełniająca) normy HD 60364-4-41, powinno rozłączać wszystkie przewody czynne, łącznie z przewodem neutralnym;
- przewody liniowy (fazowy) oraz neutralny obwodu odbiorczego ani zespołu prądowórczego nie powinny być połączone z ziemią po stronie obciążenia urządzenia zabezpieczającego obwodu odbiorczego.

(Uwaga: Jeżeli zespół prądowórczy jest zainstalowany w obwodzie odbiorczym za wszystkimi zabezpieczeniami tego obwodu, wyjąwszy zabezpieczenia rozłączające przewody liniowe (fazowe) i neutralny, to czas wyłączenia zasilania w rozumieniu 411.3.2 normy 60364-4-41 ustala się jako sumę czasu wyłączenia zabezpieczenia obwodu odbiorczego oraz czasu potrzebnego do obniżenia napięcia wyjściowego zespołu prądowórczego do wartości mniejszej niż 50 V).

Przy doborze i w trakcie eksploatacji zespołu prądowórczego do pracy równoległej z innym źródłem, w tym z publiczną siecią rozdzielczą, należy (551.7.3) dołożyć starań w celu uniknięcia niekorzystnych skutków dla tej sieci i dla innych instalacji w odniesieniu do: współczynnika mocy, zmian napięcia, odkształceń harmonicznych, składowej stałej, niesymetrii, rozruchu, synchronizacji czy wahań napięcia. W przypadku publicznej sieci rozdzielczej szczegółowe wymagania należy uzgodnić z operatorem sieci. Jeżeli jest konieczna synchronizacja, to należy preferować synchronizację automatyczną uwzględniającą wartości częstotliwości oraz kąta fazowego i wartości napięcia.

Jeżeli zespół prądowórczy jest przeznaczony do równoległego z publiczną siecią rozdzielczą zasilania instalacji, to jest wymagane (551.7.4) urządzenie do samoczynnego rozłączenia zespołu z siecią w przypadku braku zasilania z niej lub odchylenia napięcia albo częstotliwości w miejscu przyłączenia wykraczającego poza zakres deklarowany w warunkach normalnego zasilania. Rodzaj zabezpieczenia, jego czułość i czasy zadziałania zależą od zabezpieczenia publicznej sieci rozdzielczej oraz od liczby przyłączonych zespołów prądowórczych i powinny być uzgodnione z operatorem sieci rozdzielczej. W przypadku przekształtników statycznych urządzenia łączeniowe powinny być umieszczone po stronie obciążenia przekształtnika.

Jeżeli zespół prądowórczy jest przeznaczony do pracy równoległej z publiczną siecią rozdzielczą, to należy (551.7.5) zastosować środki zapobiegające przyłączeniu zespołu do sieci w przypadku braku zasilania z niej lub odchylenia napięcia albo częstotliwości w miejscu przyłączenia wykraczającego poza zakres deklarowany w warunkach normalnego zasilania. Jeżeli zespół prądowórczy jest przeznaczony do pracy równoległej z publiczną siecią rozdzielczą, to należy (551.7.6) zastosować urządzenia umożliwiające odłączenie izolacyjne zespołu prądowórczego od sieci rozdzielczej. Dostęp do tych urządzeń odłączających powinien odpowiadać przepisom krajo-

wym i wymaganiom operatora sieci rozdzielczej. Jeżeli zespół prądowórczy może pracować także jako przełączalne źródło, alternatywne w stosunku do sieci rozdzielczej, to instalacja powinna (551.7.7) ponadto spełniać wymagania rozdziału 551.6.

Przedmiotem ostatniego, krótkiego rozdziału normy (551.8) są instalacje zawierające baterie stacjonarne. Te baterie powinny być tak instalowane (551.8.1), aby były dostępne tylko dla osób wykwalifikowanych lub poinstruowanych. (Uwaga: Oznacza to, że baterie powinny być umieszczone w zamkniętym pomieszczeniu albo, małe baterie, w zamkniętej obudowie). Pomieszczenie lub obudowa powinny być odpowiednio wentylowane. Połączenia baterii powinny być (551.8.2) objęte ochroną podstawową za pomocą izolacji lub osłon bądź powinny być tak rozmieszczone, aby nie było możliwe niezamierzone jednoczesne dotknięcie dwóch gołych części przewodzących, między którymi różnica potencjałów przekracza 120 V.

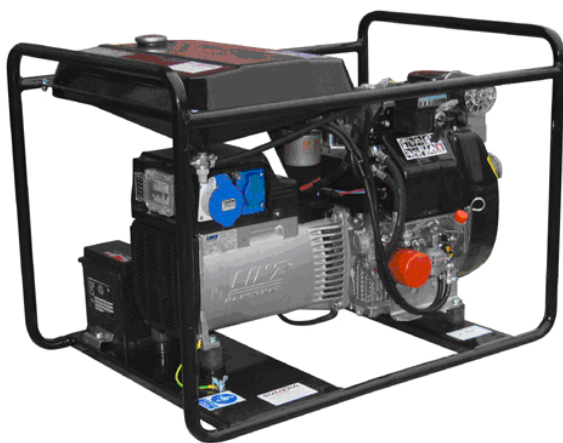
W omawianej normie PN-HD 60364-5-551:2010 [14] ochronie przeciwporażeniowej poświęcone są tylko dwa rozdziały (551.3 i 551.4), stanowiące 20% jej objętości. Co prawda te postanowienia należy traktować jako wymagania dodatkowe w stosunku do norm bezpieczeństwa grupowych PN-HD 60364-4-41 [10] oraz PN-HD 60364-5-54 [12]. Niemniej jednak w oparciu o same zapisy trzech wymienionych norm trudno byłoby nawet doświadczonemu elektrykowi wybrać najwłaściwsze rozwiązanie ochrony przeciwporażeniowej w różnorodnych zastosowaniach spalinowo-elektrycznych zespołów prądowórczych.

2. PRZESŁANKI WYBORU ŚRODKÓW OCHRONY PRZECIWPORAŻENIOWEJ

W instalacjach zasilanych z zespołów spalinowo-elektrycznych można wprowadzić niemal każdy ze środków ochrony przeciwporażeniowej ogólnego stosowania ujętych w normie bezpieczeństwa grupowej 60364-4-41 [10]. To stwierdzenie dotyczy zarówno środków ochrony podstawowej, jak i środków ochrony dodatkowej (ochrony przy uszkodzeniu), a nawet – w ograniczonym stopniu – środków ochrony uzupełniającej. W normie 60364-5-551, formułującej wymagania dodatkowe dla zespołów prądowórczych, żadnego zakazu nie ma, ale uznane zasady wiedzy technicznej wskazują najwłaściwsze rozwiązania w określonych sytuacjach, a niektóre środki ochrony praktycznie odrzucają jako nie dość skuteczne albo zbyt zawodne.

Te wskazania preferencyjne biorą pod uwagę przede wszystkim **tryb pracy zespołu** (praca samodzielna czy zasilanie alternatywne wobec zasilania podstawowego, czy też praca równoległa z innym zespołem albo z publiczną siecią rozdzielczą), **rodzaj budowy zespołu** (przenośny, przewoźny, stacjonarny), **moc znamionową** i napięcie znamionowe zespołu, liczbę, moc i **rodzaj zasilanych odbiorników** oraz **środowiskowe warunki użytkowania** mające wpływ na stopień zagrożenia porażeniem (gospodarstwa rolne i hodowlane, place budowy, prace montażowe i remontowe na wolnym powietrzu, ograniczone przestrzenie przewodzące, działania ratownicze w warunkach pożaru albo powodzi i innych klęsk żywiołowych).

Zespoły przenośne (rys. 1) to zespoły ruchome o mocy nieprzekraczającej kilku kilowolto-amperów, które podczas normalnego użytkowania mogą być dorywczo chwytane celem przesunięcia lub przeniesienia na inne miejsce. **Zespoły przewoźne** (rys. 2 i 3) są zespołami ruchomymi o masie większej, uniemożliwiającej ręczne przenoszenie, przystosowanymi do przewożenia, a następnie – ustawiania dźwigiem na tymczasowym miejscu pracy. Mogą też być trwale zabudowane na samochodzie lub przyczepie i przystosowane do awaryjnego lub planowego krótkotrwałego zasilania odbiorów o dużym zapotrzebowaniu na moc. Na przykład w razie klęski żywiołowej, odcinającej zasilanie sieciowe, zespół przewoźny lokuje się przy stacji transformatorowo-rozdzielczej i napięcie z niego podaje na szyny zbiorcze niskiego napięcia stacji, zadbawszy uprzednio o odłączenie odbiorów mniej wrażliwych na przerwę w zasilaniu.



Rys. 1. Przenośny zespół spalinowo-elektryczny

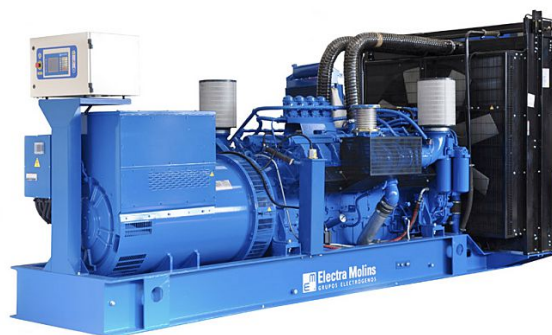


Rys. 2. Przewoźny zespół spalinowo-elektryczny 80 kVA w wykonaniu napowietrznym

Zespoły stacjonarne (rys. 4), o szerokim zakresie mocy i gabarytu, są trwale związane z określonym miejscem, zwykle zainstalowane na stałe, czyli przymocowane do podłoża. Poza własnym wbudowanym zbiornikiem paliwa na ogół mają dodatkowy zbiornik o dużej pojemności pozwalający nawet na wielodobową pracę ciągłą. W rejonach świata oddalonych od elektroenergetycznej sieci przesyłowej funkcjonują elektrownie spalinowe o mocy od kilkunastu kilowatów do kilkunastu megawatów, stanowiące jedyne źródło zasilania w energię elektryczną.



Rys. 3. Zespół przewoźny 60 kVA w wykonaniu napowietrznym ustawiony na placu budowy



Rys. 4. Stacjonarny zespół spalinowo-elektryczny 1250 kVA w wykonaniu wnętrzowym

Prądnice zespołu prądotwórczego ciągnikowego z nabudowanym wyposażeniem aparaturowym i końcówką wału, przystosowaną do sprzęgania z wałem odbioru mocy silnika ciągnika rolniczego lub leśnego (rys. 5 i 6), służą do dorywczego tworzenia szczególnej odmiany zespołu spalinowo-elektrycznego. Są kraje, w których jest to rozpowszechnione rozwiązanie, znajdujące odzwierciedlenie w osobnych rozdziałach norm bezpieczeństwa elektrycznego [25] i w innych wydawnictwach normatywnych [26]. Takie prądnice mają nazwę angielską *power take-off shaft generator* (*PTO generator*, *PTO-driven generator*, *Tractor PTO generator*), a niemiecką – *Zapfwellengenerator*. Kilkadziesiąt lat temu Instytut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa (IBMER) opracował prototyp polskiego rozwiązania i przypisał mu nazwę *ciągnikowy agregat prądotwórczy* (w skrócie CAP), a obecnie w handlu funkcjonuje nazwa *agregat prądotwórczy traktorowy*. Obie polskie nazwy, niezbyt poprawne, mogłyby dotyczyć zespołu złożonego z prądnicy sprzężonej z silnikiem napędowym, natomiast nie pojawiła się poprawna i zgrabna nazwa samej prądnicy w omawianym wykonaniu. Jest ona potrzebna chociażby dlatego, że kupuje się osobno samą prądnicę z wyposażeniem, a nie cały zespół.

Przedstawione wyżej rodzaje budowy zespołu spalinowo-elektrycznego (przenośny, przewoźny, stacjonarny, ciągnikowy) są w pewnym stopniu związane z wartością mocy znamionowej zespołu, natomiast nie są związane z trybem pracy. Każdy z zespołów może być użyty do pracy samodzielnej, do autonomicznego zasilania instalacji tymczasowej lub stałej i każdy z nich może być użyty do alternatywnego, awaryjnego zasilania instalacji stałej określonego obiektu.



Rys. 5. Prądnica zespołu prądotwórczego ciągnikowego 16 kVA przystosowana do napędu przez wał odbioru mocy ciągnika



Rys. 6. Prądnica zespołu prądotwórczego ciągnikowego sprzężona z ciągnikiem

W przypadku zespołu do pracy samodzielnej i zasilanej z niego instalacji można swobodnie dobierać środki ochrony przeciwporażeniowej oraz układy zabezpieczeń nadprądowych i innych, bo na ogół nie ma ograniczenia w postaci istniejącej instalacji, do której zespół należy przystosować. Instalacja jest zwykle tymczasowa i może być przypisana do zespołu, przenoszona z miejsca na miejsce razem z nim. Inaczej jest w przypadku zespołów do zasilania alternatywnego, które albo nadają się do użycia w instalacji o zastanym rozwiązaniu ochrony, albo wymuszają jego modyfikację, co może być kłopotliwe i kosztowne. W każdym przypadku przed decyzją o wyborze środków ochrony trzeba uwzględnić i rozstrzygnąć kilka kwestii podstawowych.

Są sytuacje, kiedy preferuje się **ochronę dodatkową niewymagającą wyłączenia zasilania po pierwszym uszkodzeniu** izolacji podstawowej. Takie kategoryczne wymaganie dotyczy instalacji bezpieczeństwa ważnych dla życia i zdrowia ludzi (oświetlenie ewakuacyjne, instalacje oddymiania i napowietrzania dróg ewakuacyjnych, pompy tryskaczowe, trakty operacyjne i porodowe, oddziały intensywnej opieki medycznej), a stanowcze zalecenie – wielu instalacji wymagających zwiększonej ciągłości zasilania ze względu na bezpieczeństwo publiczne, ochronę mienia o dużej wartości i ochronę środowiska.

W przypadku zespołu stacjonarnego do rezerwowego zasilania określonej instalacji lub jej części występują oczywiste ograniczenia, bo zabezpieczenia nadprądowe i inne oraz ochrona przeciwporażeniowa powinny poprawnie działać niezależnie od trybu zasilania. Co więcej, wyposażenie istniejącej instalacji w zespół prądotwórczy do zasilania rezerwowego oznacza, że zostaje w niej wprowadzona **zmiana zasadnicza** i nie jest możliwe przywołanie zasady ochrony zastanej. Cała instalacja, a co najmniej jej część przewidziana do zasilania z zespołu, powinna być doprowadzona do stanu zgodności z aktualnymi przepisami i uznanymi zasadami wiedzy technicznej wyrażonymi w aktualnych normach.

W sposób szczególny traktuje się **zespoły prądotwórcze przenośne i przewoźne o małej mocy znamionowej** (umownie do około 25 kW), przeznaczone do samodzielnego zasilania odbiorników ruchomych, w tym ręcznych, służących do wykonywania różnorodnych prac montażowych i naprawczych na wolnym powietrzu, na placach budowy, w gospodarstwach rolnych i leśnych, a także – do akcji ratowniczych. Takie zespoły i zasilane z nich instalacje powinny w miarę możliwości spełniać następujące wymagania odnośnie do rozwiązania ochrony przeciwporażeniowej:

- do obsługi zespołu i zasilanej z niego instalacji wystarczają osoby poinstruowane,
- bezpieczeństwo użytkownika jest gwarantowane dzięki właściwej budowie zespołu i właściwemu doborowi wyposażenia całej instalacji przez producenta zespołu (ang. *built-in safety*),
- zespół jest stale gotowy do natychmiastowego uruchomienia i obciążenia,
- stosowane środki ochrony od porażen są niezależne od rodzaju i budowy prądnicy,
- nie ogranicza się liczby odbiorników ani długości przewodów,
- zastosowany system ochrony od porażen nie wymaga uziemienia (wykonania uziomu).

Aby zrozumieć wagę chociażby ostatniego zalecenia, wystarczy sobie wyobrazić, że do akcji nadjeżdża samochód ratowniczy straży pożarnej, i zaczynają się deliberacje, gdzie w uzbrojonym terenie zabetonowanym i zaasfaltowanym wbić uziom dla prądnicy i jak głęboko, aby uzyskać określoną rezystancję uziemienia i nie uszkodzić przy tym żadnej instalacji podziemnej.

Niezależnie od wybranego sposobu ochrony są pewne fundamentalne zasady i elementarne środki bezpieczeństwa, których należy przestrzegać w każdym przypadku. W instalacjach tymczasowych zasilanych z zespołów prądowców spalino-elektrycznych zarówno we wnętrzach, jak i na wolnym powietrzu, należy stosować **przewody oponowe typu ciężkiego**, tzn. przemysłowe, a nawet górnicze. Powinny to być przewody co najmniej takiej budowy jak przewody oponowe typu H07RN-F. To oznaczenie noszą przewody zharmonizowane (H), o napięciu znamionowym $U_0/U = 450/700$ V (07), o izolacji z kauczuku naturalnego lub butadienowo-styrenowego (R) i oponie z niezapalnego kauczuku neoprenowego (N), mające żyły giętkie (F). Odpowiada to w przybliżeniu dawnemu polskiemu oznaczeniu OnPd, czyli przewodom oponowym (O) przemysłowym (P), mającym izolację o zwiększonej grubości (d) oraz oponę o ograniczonym rozprzestrzenianiu się płomienia (n). W przypadku przewodów o przekroju żył nieprzekraczającym 6 mm^2 oraz wszelkich przewodów poddawanych szczególnie silnym narażeniom mechanicznym zaleca się [4] przewody oponowe górnicze NSSHÖU o napięciu znamionowym $U_0/U = 0,6/1$ kV, wykonane zgodnie z przywołaną normą (N), w tym przypadku z normą DIN VDE 0250 Teil 812. Przewody te mają żyły bardzo giętkie (H), izolację z kauczuku etylenowo-propylenowego i dwie opony z neoprenu, przy czym opona zewnętrzna jest olejoodporna (Ö) i niepalna (U).



Rys. 7. Bęben przewodowy z nawiniętym przewodem oponowym w roli przedłużacza i z rozgałęźnikiem w postaci trzech gniazd wtyczkowych

Napięcie znamionowe przewodów powinno być dobierane z marginesem bezpieczeństwa. W szczególności w układzie bez uziemienia roboczego (układ IT lub separacja obwodu trójfazowego) napięcie U_0 przewodu (żyła-ziemia) powinno być dobierane do napięcia względem ziemi, czyli napięcia znamionowego (międzyprzewodowego) instalacji trójfazowej, a nie do jej napięcia fazowego. Przewody powinny być tak układane, aby były chronione od narażeń mechanicznych, zwłaszcza w miejscach, gdzie odbywa się ruch kołowy oraz w przejściach przez otwory zamykane drzwiczkami lub klapami; nie powinny w ogóle przechodzić przez otwory o ostrych krawędziach. W trakcie eksploatacji przewody uszkodzone należy wymieniać, a nie naprawiać. Utrzymaniu przewodów w dobrym stanie technicznym sprzyja korzystanie z bębnow przewodowych (rys. 7).

Narzędzia ręczne i inne urządzenia ruchome mają zazwyczaj przyłączone na stałe przewody oponowe o długości od 3 m do 5 m. Jeżeli zachodzi potrzeba stosowania przedłużaczy, to nie nale-

ży przesadzać z ich długością. W żadnym razie impedancja pętli zwarciowej nie powinna przekraczać $1,5 \Omega$, co odpowiada długości przewodu zasilającego odpowiednio: przy $1,5 \text{ mm}^2$ max. 60 m, przy $2,5 \text{ mm}^2$ max. 100 m, przy 4 mm^2 max. 165 m.

W instalacjach tymczasowych należy preferować wyposażenie i osprzęt instalacyjny **klasy ochronności II**, czyli o izolacji podwójnej lub wzmocnionej albo w wykonaniu równoważnym (o ochronnej obudowie izolacyjnej). W szczególności należy stosować wyłącznie **gniazda wtyczkowe i wtyczki do instalacji przemysłowych** o korpusie izolacyjnym, spełniające wymagania norm grupy EN 60309 (polskie odpowiedniki: PN-EN 60309-1:2002, PN-EN 60309-2:2002, PN-EN 60309-4:2010). Gniazda wtyczkowe i wtyczki należące do instalacji o różnym napięciu znamionowym i/lub o różnym systemie ochrony przeciwporażeniowej powinny być wzajemnie niezamienialne. Obwodu gniazd wtyczkowych o dużym prądzie znamionowym (powyżej 16 A) nie należy załączać i rozłączać pod obciążeniem przez wkładanie i wyjmowanie wtyczki; służą do tego gniazda wtyczkowe z rozłącznikiem i blokadą mechaniczną. W instalacjach tymczasowych zasilanych z zespołów prądowórczych największy dopuszczalny prąd znamionowy pojedynczego gniazda wtyczkowego wynosi 32 A.

Instalacje tymczasowe powinny spełniać zwykłe zasady doboru i wymiarowania elementów, w tym doboru zabezpieczeń nadprądowych oraz przewodów. W roli zabezpieczeń nadprądowych instalacji tymczasowych należy preferować wyłączniki; użycie bezpieczników pociąga za sobą – większe niż w instalacjach stałych – kłopoty związane z wymianą wkładek topikowych: przedłużającą się przerwę w zasilaniu i konieczność utrzymywania zapasu właściwych wkładek albo ryzyko zastąpienia przepalanej wkładki niewłaściwym zamiennikiem czy wręcz kawałkiem drutu.

W myśl rozdziału 411.3.3 normy HD 60364-4-41 [10] w układach prądu przemiennego powinna być stosowana **ochrona uzupełniająca przy dotyku bezpośrednim** za pomocą urządzeń różnicowoprądowych wysokoczułych ($I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$) w obwodach gniazd wtyczkowych o prądzie znamionowym nieprzekraczającym 20 A używanych przez laików oraz w obwodach zasilających urządzenia ruchome o prądzie znamionowym nieprzekraczającym 32 A użytkowane na wolnym powietrzu. Norma [10] nie formułuje żadnych odstępstw od tego wymagania, nie formułują ich też przepisy i wytyczne ochrony w instalacjach tymczasowych zasilanych z zespołów spalinowo-elektrycznych [2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 24, 26, 29, 31, 32]. Stawia to w kłopotliwej sytuacji osoby odpowiedzialne za bezpieczeństwo użytkowania zasilanych z zespołów instalacji tymczasowych, w których przeważają takie gniazda i takie urządzenia ruchome. W instalacjach tymczasowych układ TN-C jest zabroniony, a układ TT nie ma racji bytu. Zatem tylko w instalacjach TN-S oraz w instalacjach IT z wysokoimpedancyjnym uziemieniem roboczym jest możliwe zapewnienie ochrony uzupełniającej przy dotyku bezpośrednim wymaganej w rozdziale 411.3.3. Nie można jej zagwarantować w żadnej instalacji bez uziemienia roboczego – ani w „czystym” układzie IT, ani w systemie separacji ochronnej obwodu pojedynczego odbiornika czy obwodu wielu odbiorników.

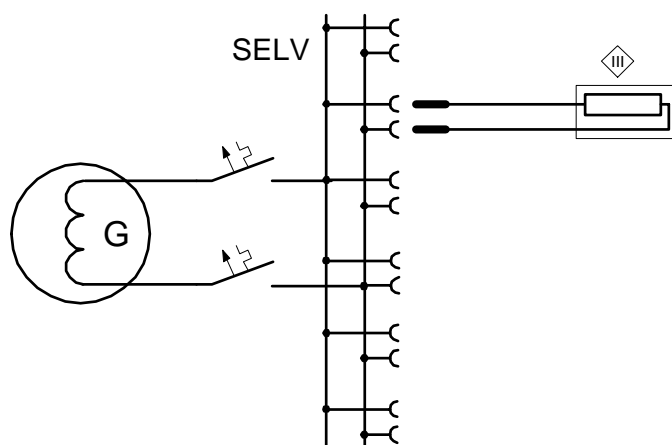
W porównaniu z zasilaniem z sieci o nieograniczonej mocy (o sztywnym napięciu) zasilanie z prądnicy zespołu prądowórczego trzeba traktować jako **zasilanie ze źródła o ograniczonej mocy** (o dużej zmienności napięcia). Prąd zwarciowy początkowy przy zwarcu symetrycznym na zaciskach prądnicy jest co najmniej 3-krotnie mniejszy, a przy zwarcu jednofazowym L-N co najmniej 2-krotnie mniejszy niż na zaciskach wyjściowych transformatora SN/nn o tej samej mocy znamionowej. Co więcej, prąd zwarciowy okresowy prądnicy szybko maleje do prądu zwarciowego ustalonego o niewielkiej wartości, a przy zasilaniu z transformatora – jest niemal niezmienny. Ta różnica między zasilaniem z prądnicy i z transformatora rozdzielczego jest duża przy zwarcu na zaciskach źródła i stopniowo zacierą się w miarę oddalania się od niego, w miarę rosnącego udziału impedancji przewodów o małym przekroju w całkowitej impedancji pętli zwarciowej. Sprawdzanie skuteczności samoczynnego wyłączenia zasilania przez zabezpieczenia nadprądowe w układzie TN-S jest wtedy kłopotliwe, ale można go uniknąć polegając w trudnych sytuacjach na wyłącznikach różnicowoprądowych, które w wielu obwodach odbiorczych i tak są obligatoryjne.

3. PRAKTYCZNE ROZWIĄZANIA OCHRONY OD PORAŻEŃ PRZY ZASILANIU SAMODZIELNYM INSTALACJI TYMCZASOWYCH

3.1. Zasilanie napięciem bardzo niskim ze źródła bezpiecznego (obwód SELV lub PELV)

Ochrona polega na tym, że stosuje się napięcie robocze nie większe niż napięcie dotykowe dopuszczalne długotrwale, a rozpatrywany obwód SELV lub obwód PELV – dzięki niezawodnemu oddzieleniu elektrycznemu – jest chroniony przed możliwością pojawienia się napięcia o większej wartości z innego obwodu. Z jednego źródła wolno zasilac dowolną liczbę odbiorników, byleby nie przekroczyły obciążalności prądowej samego źródła i przewodów instalacji ani największych dopuszczalnych wartości spadku napięcia.

Ochrona powinna spełniać wymagania rozdziału 414 normy HD 60364-4-41 [10], najlepiej przez zastosowanie obwodu SELV bez uziemienia roboczego, które zresztą w rozpatrywanych zastosowaniach nie jest potrzebne. W przypadku samego zespołu spalinowo-elektrycznego wymaganie niezawodnego oddzielenia elektrycznego obwodu prądnicy od innych obwodów zespołu prądotwórczego jest łatwe do spełnienia, bo dotyczy tylko oddzielenia od obwodu rozruchowej baterii akumulatorów. Trudniej zadbać o niezawodne oddzielenie elektryczne przewodów ruchomych instalacji SELV od innych obwodów i od ziemi. Przewody oponowe obwodu SELV nie powinny być splątane czy układane w wiązkach z przewodami innych obwodów, a najlepiej – nie powinny w ogóle stykać się z nimi. Jeżeli jest to nieuniknione, to obowiązują dodatkowe wymagania odnośnie do ich układania i sposobu oddzielenia od przewodów innych obwodów. Napięcie znamionowe instalacji i zasilanych z niej odbiorników zwykle wynosi 24 V lub 42 V prądu przemiennego jedno- lub trójfazowego (rys. 8), a przy prądzie stałym – nawet 120 V. Mimo to jako przewody oponowe obwodu SELV należy stosować przewody o napięciu znamionowym 450/700 V (rozdz. 2) na wypadek ich stykania się z przewodami innych obwodów.



Rys. 8. Zasilanie obwodu SELV z zespołu prądotwórczego o napięciu znamionowym bardzo niskim

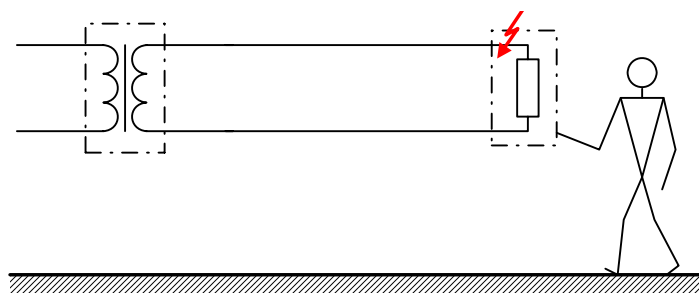
W obwodzie SELV należy stosować sprzęt elektryczny klasy ochronności III. Niezależnie od wartości napięcia znamionowego jest wymagana ochrona podstawowa albo przy użyciu izolacji podstawowej wytrzymałej w ciągu 1 min napięcie probiercze o wartości skutecznej 500 V, albo przy użyciu obudów lub osłon o stopniu ochrony co najmniej IP2X bądź IPXXB.

Im mniejsze napięcie znamionowe obwodu SELV, tym mniejsza największa długość przewodów obwodu odbiorczego dopuszczalna ze względu na spadek napięcia, np. tylko kilkanaście metrów. To jeden z powodów, dla których ten system ochrony nie jest szeroko stosowany. Ponadto na napięcie znamionowe bardzo niskie jest dostępny ograniczony asortyment urządzeń odbiorczych i to urządzeń o niedużej mocy znamionowej. Mimo to o tym systemie ochrony warto pamiętać, bo ma niepodważalne zalety. Nie wymaga on żadnych urządzeń zabezpieczających ani monitorujących poza zabezpieczeniami nadprądowymi, nie wymaga przewodów ochronnych, przewodów wyrównawczych ani żadnych uziemień, a zapewnia najwyższą skuteczność ochrony.

3.2. Separacja ochronna

Separacja ochronna obwodu pojedynczego odbiornika uchodzi za jeden z najbardziej niezawodnych środków ochrony przeciwporażeniowej dodatkowej (ochrony przy uszkodzeniu). Ochrona polega na tym, że obwód pojedynczego odbiornika jest niezawodnie oddzielony elektrycznie od innych obwodów i od ziemi. Pierwsze uszkodzenie izolacji podstawowej nie zagraża porażeniem, bo nie tworzy zamkniętego obwodu prądu rażeniowego (rys. 9) dzięki temu, że:

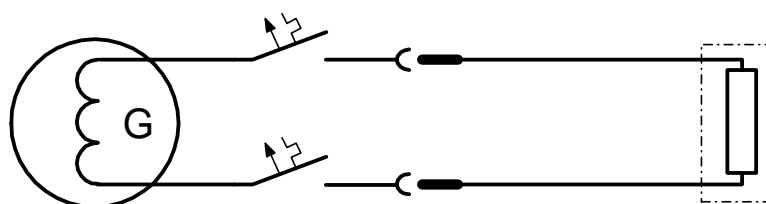
- obwodu wtórnego nie wolno uziemiać ani łączyć z jakimkolwiek innym obwodem,
- obwód wtórny należy tak wykonać, w szczególności stosując opór przewodowania odporne na zwarcia, aby ograniczyć ryzyko zwarć doziemnych w jego obrębie.



Rys. 9. Zasada ochrony przez separację ochronną obwodu pojedynczego odbiornika (zasilanie przez transformator separacyjny)

Ochrona powinna spełniać wymagania rozdziału 413.3 normy HD 60364-4-41 [10]. Podobnie jak w przypadku obwodu SELV, obowiązuje niezawodne oddzielenie elektryczne przewodów obwodu separowanego, w tym uzwojenia prądnicy, od wszelkich innych obwodów i od ziemi. Napięcie znamionowe obwodu separowanego z definicji jest wyższe niż napięcie bardzo niskie ELV, ale nie powinno być wyższe niż 500 V prądu przemiennego lub prądu stałego. Zatem objęty ochroną przez separację obwód odbiorczy AC ma napięcie znamionowe z zakresu $50 \text{ V} < U_n \leq 500 \text{ V}$, a obwód DC – napięcie z zakresu $120 \text{ V} < U_n \leq 500 \text{ V}$.

Separacja ochronna przydaje się wówczas, gdy urządzenia, zwłaszcza narzędzia ręczne dostępne tylko na napięcie 230 V, 400 V bądź 500 V mają być użytkowane w warunkach szczególnego zagrożenia porażeniem. Zasilają się w ten sposób urządzenia na placu budowy, na pochylni stoczniowej oraz przy pracach w metalowych zbiornikach, rurociągach i innych ograniczonych przestrzeniach przewodzących. Zespół prądotwórczy, wykorzystywany jako źródło bezpieczne zasilające obwód separowany pojedynczego odbiornika, powinien mieć nabudowane tylko jedno gniazdo wtyczkowe i to gniazdo bez styku ochronnego (rys. 10). Preferować należy zespoły klasy ochronności II. Nie bierze się pod uwagę możliwości wystąpienia podwójnego uszkodzenia i wobec tego nie wymaga się sprawdzania warunku samoczynnego wyłączenia zasilania przy separacji obwodu pojedynczego odbiornika.



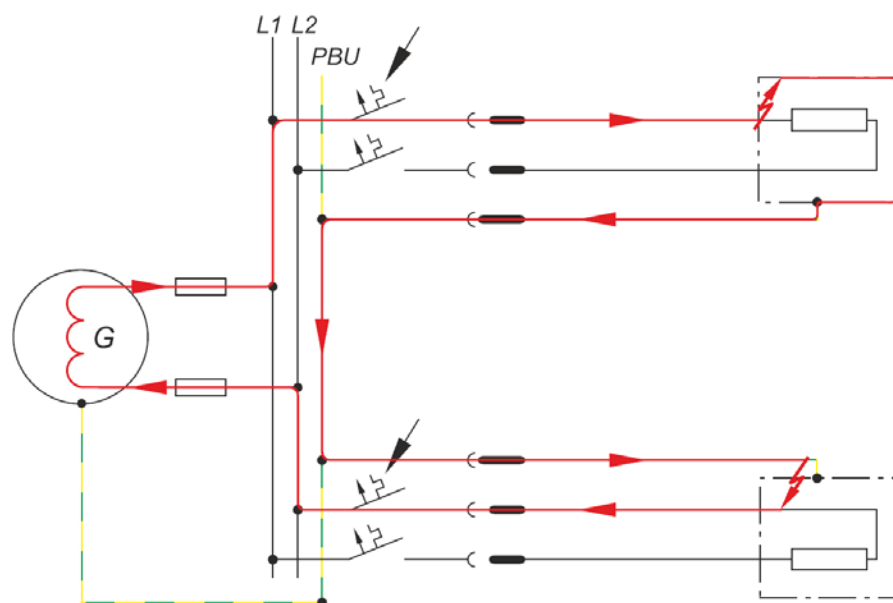
Rys. 10. Separacja obwodu pojedynczego odbiornika – zasilanie z prądnicy (separacyjnej) o napięciu znamionowym $50 \text{ V} < U_n \leq 500 \text{ V}$

Separacja ochronna obwodu zasilającego więcej niż jeden odbiornik jest dopuszczalna tylko w instalacjach pozostających pod nadzorem osób wykwalifikowanych lub poinstruowanych. Inne wymagania dodatkowe, które wtedy obowiązują, zawiera rozdział C.3 Załącznika C (normatywnego) normy HD 60364-4 41 [10]. Pierwsze uszkodzenie izolacji doziemnej nie ujawnia się, a kiedy wystąpi drugie w innym biegunie, wtedy mogłoby dojść do porażenia. Aby do tego nie dopu-

ścić, wymagane są miejscowe nieuziemiene połączenia wyrównawcze (PBU – *protective bonding unearthed*) między częściami przewodzącymi dostępnymi wszelkich urządzeń klasy ochronności I (jak prądnica, odbiorniki oraz urządzenia rozdzielcze, jeśli występują).

Przewodów wyrównawczych PBU nie należy umyślnie łączyć z ziemią, z częściami przewodzącymi obcymi ani z przewodami ochronnymi PE innych obwodów. Natomiast akceptuje się ich przypadkowe połączenia z ziemią wynikające chociażby stąd, że spoczywające na ziemi obudowy i inne części przewodzące dostępne zasilanych urządzeń są uziemione w sposób naturalny. Nieuziemiene połączenia wyrównawcze (PBU) spełniają dwie funkcje:

- nie dopuszczają do wyczuwalnej różnicy potencjałów między częściami jednocześnie dostępnymi,
- sprawiają, że drugie uszkodzenie izolacji, w innym biegunie, oznacza zwarcie wielkopiędowe, wyłączane w czasie wymaganym w tabl. 41.1 [10] przez zabezpieczenie nadprądowe lub różnicowopiędowe chociażby jednego z obwodów dotkniętych uszkodzeniem.



Rys. 11. Separacja ochronna uzupełniona miejscowymi połączeniami wyrównawczymi nieuziemiionymi przy zasilaniu wielu odbiorników (tu prądnica separacyjna klasy ochronności I)

Na rys. 11 przedstawiono przykład zastosowania separacji ochronnej do zasilania wielu odbiorników (prądnica klasy ochronności II nie byłaby objęta połączeniami wyrównawczymi). Obwodów odbiorczych podobnie przyłączonych może być więcej, ale dla uproszczenia przedstawiono tylko dwa obwody dotknięte uszkodzeniem izolacji w różnych biegunach (L1 i L2). Od chwili wystąpienia drugiego uszkodzenia płynie duży prąd zwarciowy, który powinien być wyłączony przynajmniej przez jedno z pobudzonych zabezpieczeń (nadprądowych lub różnicowopiędowych).

Przedstawiona sytuacja podwójnego uszkodzenia izolacji dotyka dwa obwody odbiorcze i nie wpływa na działanie pozostałych, nieszkodzonych obwodów. Wszystkie obwody odbiorcze mają w każdym biegunie zabezpieczenie nadprądowe. Jeżeli w sytuacji zwarcia dwumiejscowego, jak na rys. 11, zabezpieczenia nadprądowe nie są w stanie dokonać samoczynnego wyłączenia zasilania w wymaganym czasie, to można dodatkowo zainstalować wyłączniki różnicowopiędowe.

W obwodzie trójfazowym sytuacja przedstawia się podobnie, jeśli chodzi o rozptyw prądu przy zwarcu dwumiejscowym i wymagania odnośnie do samoczynnego wyłączenia co najmniej jednego z uszkodzonych obwodów.

Norma [10] zaleca (C.3.8), aby iloczyn napięcia znamionowego obwodu separowanego (U w woltach) i łącznej długości przewodowania (l w metrach) wszystkich obwodów zasilanych z prądnicy spełniał warunek:

$$U \cdot l \leq 100\,000$$

i aby łączna długość oprzewodowania nie przekraczała 500 m ($l \leq 500$ m). Te zalecenia mają dwójakie uzasadnienie. Po pierwsze, im mniejsza łączna długość oprzewodowania, tym mniejsze ryzyko uszkodzeń izolacji i mniejsze ryzyko zwarć dwumiejscowych. Po drugie, przy napięciu roboczym 500 V i spodziewanej pojemności doziemnej żył rzędu 100 nF/km znaczne przekroczenie wskazanych wartości granicznych, zagraża już przy pierwszym uszkodzeniu izolacji prądem rażeniowym większym nie tylko od progu odczuwania, ale i od granicy samouwolnienia.

Mimo wspomnianych obostrzeń norma niemiecka [17] nie dopuszcza ochrony przez separację obwodu wielu odbiorników w instalacji elektrycznej placach budowy, gdzie fachowy nadzór nad instalacją jest iluzoryczny.

3.3. Samoczynne wyłączanie zasilania w układzie IT

W układzie IT wszystkie części czynne – łącznie z punktem neutralnym prądnicy i przewodem neutralnym instalacji, jeśli występują – są izolowane od ziemi albo jedna z nich jest uziemiona przez dużą impedancję. To wysokoimpedancyjne uziemienie bywa potrzebne w celu monitorowania stanu izolacji doziemnej całego układu, ułatwienia lokalizacji jej uszkodzenia bądź w celu zapobieżenia oscylacjom potencjału układu względem ziemi. Układ nie ma bezpośredniego uziemienia roboczego (funkcjonalnego). To jedyny układ, w którym – w odróżnieniu od układów TN i TT – pierwsze zwarcie doziemne nie musi być wyłączane, bo towarzyszy mu niewielki prąd. Zważywszy, że zwarcia doziemne dominują wśród ogółu zwarć, to spostrzeżenie wskazuje dwie ważne zalety układu IT: większą ciągłość zasilania oraz mniejsze zagrożenie pożarowe i wybuchowe ze strony instalacji elektrycznej. Te zalety, jedna z nich lub obie jednocześnie, określają właściwy zakres stosowania układu IT.

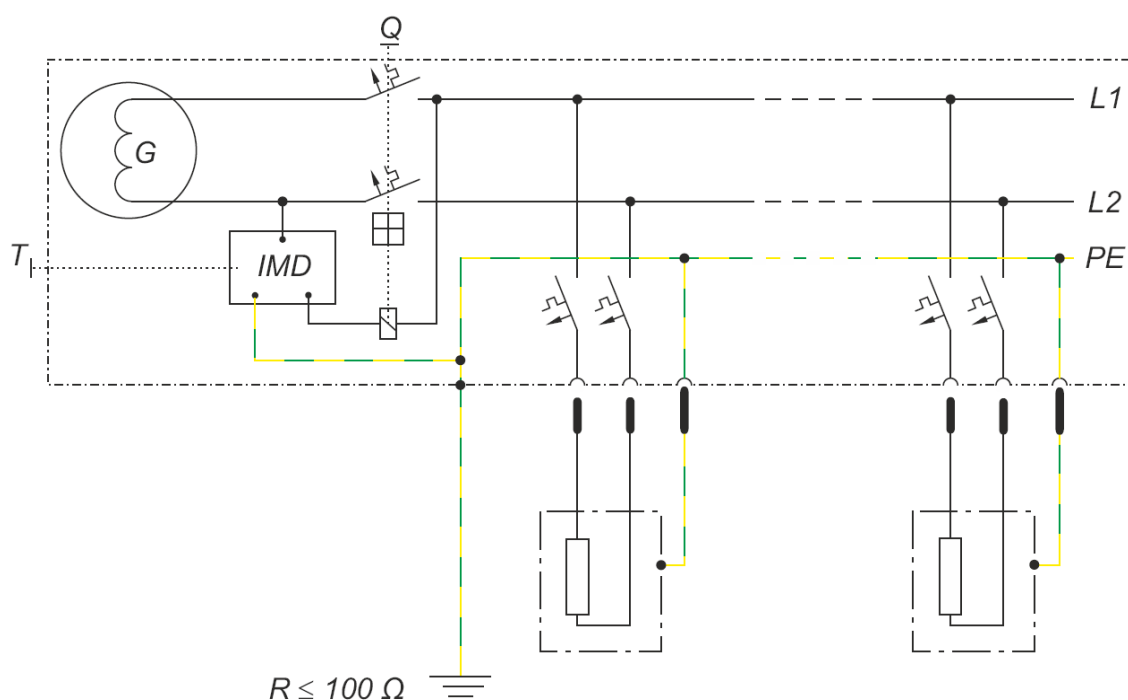
Standardowym wyposażeniem układu IT, poza zwykłymi przyrządami zabezpieczającymi i ochronnymi, jest **urządzenie do monitorowania stanu izolacji doziemnej IMD** (*insulation monitoring device*), w Polsce znane też pod akronimem UKSI (*urządzenie do kontroli stanu izolacji*). Niezależnie od miejsca zainstalowania kontroluje ono wypadkową rezystancję izolacji doziemnej (izolacji podstawowej) wszystkich biegunów wszelkich galwanicznie połączonych obwodów instalacji (łącznie z prądnicą i z odbiornikami). Urządzenie IMD nadzoruje izolację doziemną urządzeń przyłączonych – patrząc od strony zasilania – zarówno za nim, jak i przed nim, a także wszelkich obwodów przyłączonych równolegle. W obrębie galwanicznie połączonych obwodów instalacji można zainstalować tylko jedno urządzenie monitorujące IMD. Na jego wskazania w stanach ustalonych ani na jego zadziaływanie nie mają wpływu doziemne pojemności poszczególnych biegunów instalacji. Monitorowanie stanu izolacji przez urządzenie IMD wymaga, aby części przewodzące dostępne urządzeń klasy ochronności I (prądnicy, urządzeń rozdzielczych i odbiorników) były połączone z układem przewodów ochronnych PE, uziemionym w pobliżu prądnicy, przy głównej rozdzielni. Również w przewodach przyłączeniowych urządzeń odbiorczych klasy ochronności II jest pożądana żyła ochronna połączona ze stykiem ochronnym wtyczki, a nie przyłączona od strony odbiornika [24].

Urządzenie IMD zostaje pobudzone w razie obniżenia rezystancji izolacji doziemnej całego układu poniżej nastawionej wartości, co można wykorzystać dwojako:

- 1) Jeżeli ciągłość zasilania odbiorów nie jest wymaganiem priorytetowym, to – przy obniżeniu rezystancji izolacji doziemnej poniżej 100 Ω/V (100 Ω na 1 V napięcia znamionowego instalacji) – urządzenie IMD wyłącza spod napięcia całą instalację, pobudzając otwarcie jej wyłącznika głównego. Powinien nim być wyłącznik nadprądowy silnikowy z wyzwalaczem napięciowym zanikowym zasilanym przez zestyk sterowniczy rozwierny urządzenia IMD (rys. 12), otwierany w razie jego pobudzenia. W takim przypadku nie ogranicza się rozległości instalacji, bo ochrona od porażenia jest zapewniona przez **samoczynne wyłączanie zasilania przy pierwszym uszkodzeniu**. Nie ma zatem potrzeby sprawdzania skuteczności ochrony dodatkowej (ochrony przy uszkodzeniu) ani przy pierwszym uszkodzeniu, bo jest ono bezzwłocznie wyłączane, ani przy drugim uszkodzeniu, bo nie dopuszcza się do niego. Mimo to w obwodach odbiorczych są za-

bezpieczenia nadprądowe zapobiegające nadmiernym skutkom cieplnym przy zwarciach międzybiegunowych. Taki system ochrony jest zalecany w zasilanych z zespołów spalinowo-elektrycznych instalacjach tymczasowych do zasilania urządzeń ruchomych w warunkach zwiększonego zagrożenia porażeniem, zwłaszcza na placach budowy [2, 24] i w rolnictwie [25, 26]. Jeżeli do tego celu (niem. *Direktversorgung*) jest wykorzystywany zespół prądowórczy ciągnikowy (rys. 5 i 6), to jest to jedyny dopuszczalny system ochrony przeciwporażeniowej [25, 26].

- 2) Jeżeli ciągłość zasilania odbiorów jest ważna, to urządzenie IMD uruchamia tylko sygnał optyczny i kasowalny sygnał akustyczny o wystąpieniu pierwszego uszkodzenia. Powinno być ono bez zbędnej zwłoki zlokalizowane i usunięte, aby nie dopuścić do drugiego uszkodzenia w innym biegunie, czyli do dwumiejscowego zwarcia wielkoprądowego. Takie zwarcie musi być wyłączone w wymaganym czasie, co powoduje przerwanie zasilania co najmniej w jednym z uszkodzonych obwodów. Jest to zwykle wykonanie układu IT, kiedy zachodzi **samoczynne wyłączenie zasilania przy drugim uszkodzeniu**. Wymaga to sprawdzenia skuteczności ochrony zarówno przy pierwszym uszkodzeniu, co jest łatwe, jak i przy drugim uszkodzeniu, co jest trudniejsze. Stawiane wymagania ogólne są sprecyzowane w rozdziale 411.6 normy HD 60364-4-41 [10], a ewentualne odstępstwa i dodatkowe wymagania szczegółowe – w innych dokumentach formułujących uznane zasady wiedzy technicznej [14, 15, 17, 18, 19, 24, 25, 26, 27, 29, 31, 32].



Rys. 12. Instalacja o układzie IT do zasilania odbiorników ruchomych z ruchomego zespołu spalinowo-elektrycznego o małej mocy znamionowej

Kiedy w następstwie pierwszego uszkodzenia izolacji w układzie IT płynie niewielki prąd jedynomiejscowego zwarcia doziemnego I_d , części przewodzące dostępne o rezystancji uziemienia R_A mają względem ziemi odniesienia napięcie $I_d R_A$. Nie powinno (p. 411.6.2) ono przekraczać największego dopuszczalnego długotrwałe napięcia dotykowego:

$$I_d R_A \leq 50 \text{ V} \quad \text{w układzie AC,}$$

$$I_d R_A \leq 120 \text{ V} \quad \text{w układzie DC.}$$

W instalacjach tymczasowych zasilanych z zespołu prądowórczego przewoźnego lub przenośnego to wymaganie uważa się za spełnione [16, 24], jeżeli rezystancja uziemienia przewodów ochronnych nie przekracza 100Ω ($R_A \leq 100 \Omega$). W przypadku drugiego uszkodzenia powinno zadziałać zabezpieczenie co najmniej jednego z uszkodzonych obwodów na zasadach podanych

w rozdziale 411.6.4 normy HD 60364-4-41 [10]. Wymagany czas wyłączenia jest taki jak w układzie TN (tabl. 41.1 normy [10]) o tym samym napięciu nominalnym względem ziemi (U_0). W instalacjach tymczasowych o układzie IT, zasilanych z zespołów prądowców, części przewodzące dostępne są bowiem z reguły uziemione zbiorowo. Jest okolicznością niezwykle korzystną, bo wszystkie one są objęte połączeniami wyrównawczymi przez jeden i ten sam układ przewodów ochronnych PE. Jeżeli samoczynnego wyłączenia zasilania w wymaganym czasie nie są w stanie zapewnić zabezpieczenia nadprądowe, to każdy obwód odbiorczy należy wyposażyć w wyłącznik różnicowoprądowy, co problem radykalnie rozwiązuje.

Po wystąpieniu pierwszego uszkodzenia izolacji podstawowej napięcie doziemne w nieuszkodzonych biegunach układu IT wzrasta do wartości napięcia międzyprzewodowego, a stan taki może utrzymywać się dłuższy czas, skoro jest tylko sygnalizowany. Do pracy w takich warunkach mogą nie nadawać się urządzenia odbiorcze jednofazowe 230 V, jeśli ich izolacja podstawowa (doziemna) jest wymiarowana do długotrwałej pracy przy napięciu tylko 250 V.

Od dawna spotyka się w normach i przepisach postanowienia pozwalające odstąpić od stosowania urządzenia IMD w instalacjach zasilanych z przewoźnych i przenośnych zespołów prądowców o małej mocy znamionowej. Za przykład sprzed lat mogą służyć Polskie Przepisy Budowy Urządzeń Elektroenergetycznych z roku 1968, które dopuszczały (zeszyt 6, § 92) następujące odstępstwa dla instalacji zasilanych z zespołów o napięciu znamionowym nieprzekraczającym 440 V i mocy znamionowej do 25 kW:

- wartość rezystancji uziemienia przewodu ochronnego układu IT może być zwiększona do 100 Ω ,
- można nie stosować urządzenia IMD, jeżeli po wystąpieniu drugiego uszkodzenia nastąpi samoczynne wyłączenie zasilania przed upływem 1 s.

Przykładem najnowszym może być aktualny arkusz 704 normy 60364 z roku 2007 [15], dotyczący instalacji elektrycznych na terenie budowy i rozbiórki, który w rozdz. 704.411.6.3.1 stanowi: „In the case of portable generating sets, insulation monitoring devices may be omitted” (*W przypadku przenośnych zespołów prądowców można odstąpić od instalowania urządzenia do monitorowania stanu izolacji*). Tymczasem w Niemczech, gdzie od dawna obowiązuje złagodzone wymaganie rezystancji uziemienia 100 Ω w przypadku zespołów małej mocy, co ułatwia stosowanie urządzenia IMD, rezygnację z niego w instalacjach na terenie budowy i rozbiórki uznano za bezzasadną i ryzykowną. Niemiecki komitet DKE ogłosił interpretację [5], że w Niemczech rezygnacja z IMD nie jest dopuszczalna niezależnie od mocy zespołu.

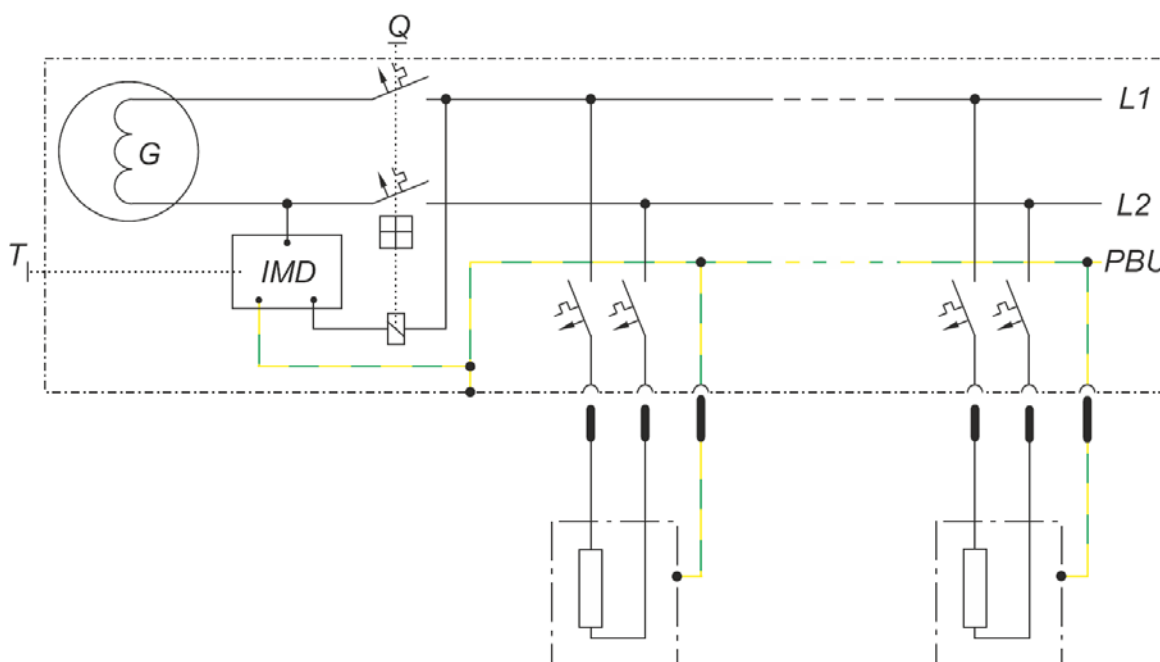
3.4. Samoczynne wyłączenie zasilania w układzie IU

Przedstawione w rozdz. 3.3 zasady ochrony w układzie IT są atrakcyjne, bo w sposób łatwy i niedrogi pozwalają zapewnić skuteczną ochronę przeciwporażeniową w tymczasowych instalacjach elektrycznych zasilanych z przewoźnych zespołów prądowców. Wymagają one jednak wykonania uziomu bądź uziomów o określonej rezystancji uziemienia dla systemu przewodów ochronnych PE, a to jest trudne bądź praktycznie niemożliwe, kiedy zachodzi co najmniej jedna z następujących okoliczności:

- Instalacja ma być użytkowana krótkotrwale i/lub w nagłych wypadkach, co dotyczy zwłaszcza wozów straży pożarnej, obrony cywilnej i innych służb ratowniczych. Nie sposób akceptować odwołanie akcji ratowniczej do czasu znalezienia na uzbrojonym terenie zabrukowanym albo zaasfaltowanym miejsca na wykonanie uziomu o wymaganej rezystancji uziemienia i bez ryzyka uszkodzenia infrastruktury podziemnej.
- Instalacja ma być wykonana na terenie o bardzo dużej rezystywności gruntu, rzędu tysięcy omometrów – np. na pustyni piaszczystej, żwirowej bądź kamienistej – gdzie nawet rezystancja uziemienia 100 Ω jest nieosiągalna bez ogromnych kosztów, absurdalnych w przypadku instalacji tymczasowej. Takie warunki polskie misje wojskowe napotykały na pustynnych obszarach Czadu, Iraku i Afganistanu.

W podobnych sytuacjach właściwym rozwiązaniem jest instalacja wykonana podobnie jak

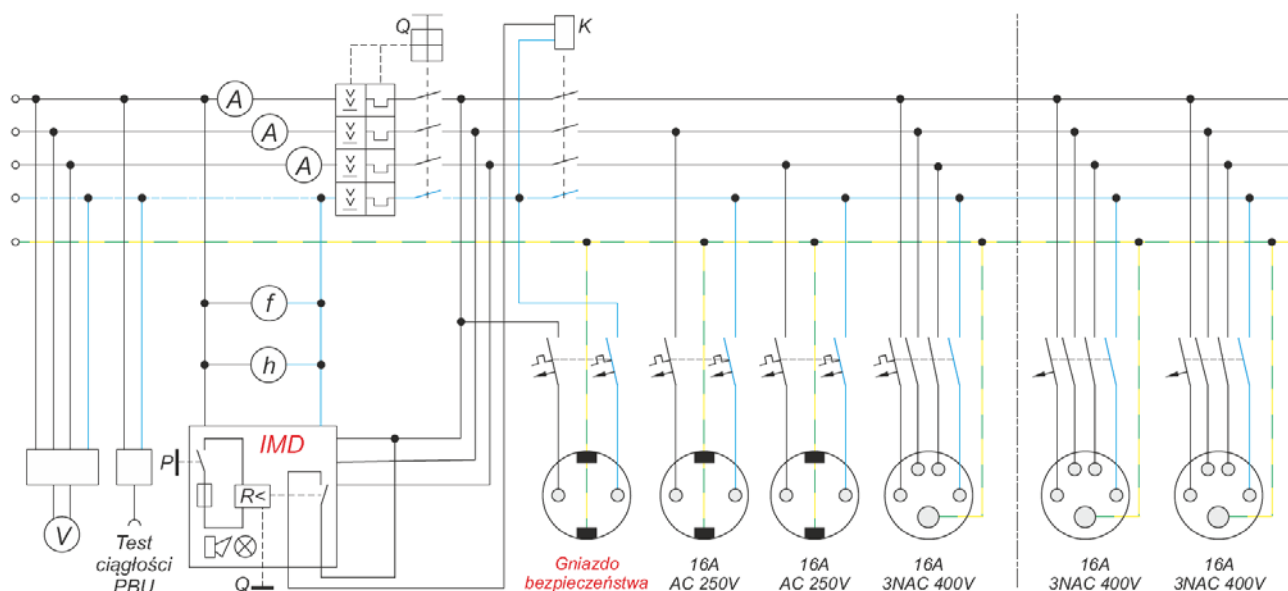
w układzie IT, ale z istotną różnicą – bez żadnych uziemień. Urządzenie IMD służy wtedy do monitorowania stanu izolacji części czynnych nie względem ziemi, lecz względem układu nieziemionych przewodów wyrównawczych PBU (rys. 13). Przy obniżeniu rezystancji izolacji poniżej $100 \Omega/V$ powinno nastąpić samoczynne wyłączenie zasilania w czasie nieprzekraczającym 1 s [17], inicjowane przez urządzenie IMD. Wspomniane nieziemione przewody wyrównawcze PBU to na ogół izolowane żyły wielożyłowych przewodów ruchomych, ale lepiej tę rolę spełnia miedziany oplot pod zewnętrzną oponą przewodu ruchomego i w niektórych krajach wymaga się takiego wykonania. Przewody PBU nie są celowo uziemiane, ale toleruje się ich przypadkowe połączenia z ziemią, chociażby przez spoczywające na ziemi przewodzące korpusy i obudowy urządzeń, do których są przyłączone. Urządzenia klasy ochronności II o podwójnej izolacji mogą być używane bez przyłączenia przewodu wyrównawczego, ale jest on pożądany jako osobna żyła lub oplot w każdym przewodzie ruchomym.



Rys. 13. Instalacja o układzie IU do zasilania odbiorników z ruchomego zespołu spalinowo-elektrycznego

W celu odróżnienia od zwykłego układu IT (I – części czynne izolowane od ziemi; T – części przewodzące dostępne połączone z uziemionym przewodem ochronnym PE) omawiane rozwiązanie powinno mieć powszechnie przyjętą jednolitą nazwę i/lub oznaczenie. Na razie spotyka się następujące określenia:

- układ IU (I – części czynne izolowane od ziemi; U – części przewodzące dostępne połączone z nieziemionym przewodem wyrównawczym PBU),
- separacja ochronna (obwodu wielu odbiorników) z urządzeniem do monitorowania stanu izolacji IMD (niem. *Schutztrennung mit Isolationsüberwachung und Abschaltung*),
- system ochronnych przewodów wyrównawczych PBU z urządzeniem do monitorowania stanu izolacji IMD.



Rys. 14. Instalacja o układzie IU do zasilania odbiorników ruchomych z zespołu spalinowo-elektrycznego samochodu pożarniczego

Podobny system ochrony przeciwporażeniowej stosuje się (rys. 14) w instalacjach zasilanych z zespołów prądotwórczych pojazdów ratowniczych, zwłaszcza samochodów pożarniczych [20, 21]. Wprowadza się tu pewne modyfikacje. Urządzenie do monitorowania stanu izolacji IMD ma dwustopniowe nastawienie:

- przy $150 \Omega/V$ uruchamia sygnalizację optyczną i – z możliwością kasowania przez potwierdzenie – sygnalizację akustyczną,
- przy $100 \Omega/V$ inicjuje wyłączenie wszystkich odbiorów, z wyjątkiem jednego dwubiegunowego gniazda bezpieczeństwa, które pozostaje pod napięciem.

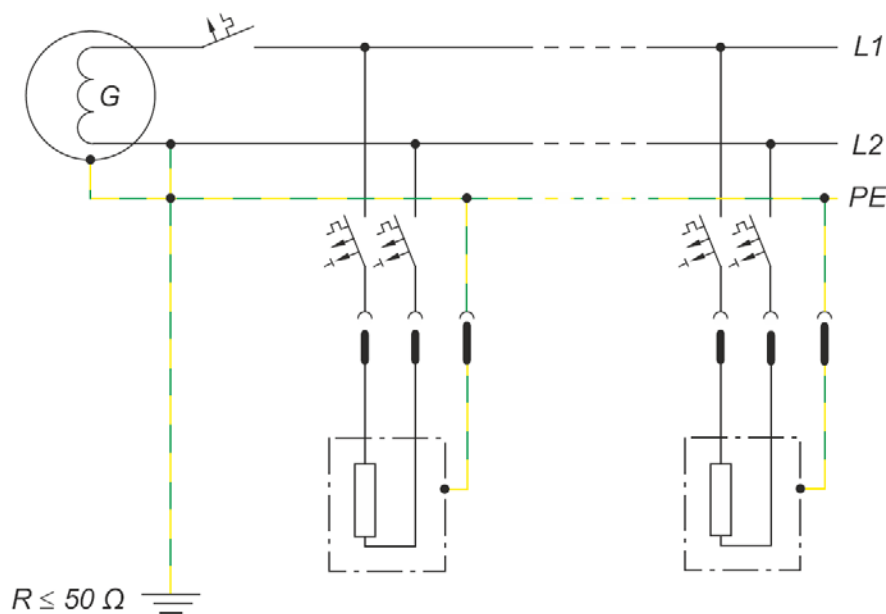
3.5. Samoczynne wyłączenie zasilania w układzie TN-S

Wybór układu instalacji z uziemieniem roboczym (TT lub TN) oznacza konieczność samoczynnego wyłączenia zasilania (SWZ) już przy pierwszym uszkodzeniu izolacji podstawowej, czyli przy zwarciu L-PE. Rzecz w tym, by to wyłączenie nastąpiło (problem czułości zabezpieczeń, czyli skuteczności SWZ) i by dotyczyło tylko uszkodzonego obwodu (problem wybiórczego działania zabezpieczeń).

W instalacjach tymczasowych zasilanych z zespołów spalinowo-elektrycznych, w których stosuje się przewody ruchome, zabroniony jest układ TN-C, a zatem pozostają do wyboru tylko układy TN-S oraz TT. Ważną kwestią jest wymagana wartość uziemienia roboczego takiej instalacji. W obydwu przypadkach arkusz 551 normy niemieckiej [2, 17] wymaga uziemienia o rezystancji nieprzekraczającej 50Ω . W polskich dokumentach normatywnych nie ma na ten temat wzmianki, wobec czego pojawiają się nierozsądne sugestie, by stosować tu wymagania takie, jak w publicznych sieciach rozdzielczych niskiego napięcia według normy N SEP-E-001:2003, np. wartość nieprzekraczającą 5Ω .

Układ TT charakteryzuje się pętlą zwarcia doziemnego L-PE zamykającą się przez ziemię, czyli zawierającą dwie szeregowo połączone rezystancje uziemienia. Charakteryzuje się zatem nie-dużym prądem zwarcia L-PE, wykrywanym tylko przez urządzenia różnicowoprądowe. Nie jest to poważny mankament w przypadku instalacji zasilających gniazda wtyczkowe, bo przynajmniej w obwodach gniazd o prądzie nieprzekraczającym $20 A$ bądź $32 A$ urządzenia różnicowoprądowe są obligatoryjne. Większym kłopotem jest wykonanie dodatkowych uziemień przewodów ochronnych PE, niepołączonych z uziemieniem roboczym przy prądnicy. Korzyści z nich byłyby wątpliwe, a koszty i trudności wykonawcze poważne. Z tych powodów układ TT nie ma racji bytu w instalacji

cjach tymczasowych zasilanych z zespołów prądowórczych. I tak z układów mających uziemienie robocze pozostaje do dyspozycji tylko układ TN-S.



Rys. 15. Instalacja o układzie TN-S do zasilania odbiorników ruchomych z zespołu spalinowo-elektrycznego – wyłączenie uszkodzonego obwodu po wystąpieniu pierwszego uszkodzenia

W instalacji o układzie TN-S (rys. 15) każdy obwód gniazd wtyczkowych powinien być wyposażony w urządzenie różnicowoprądowe wysokoczułe, bo zapewnia ono ochronę uzupełniającą wymaganą w rozdz. 411.3.3 [10] i w arkuszach grupy 7XX. Zarazem zapewnia ono ochronę dodatkową przez samoczynne wyłączenie zasilania, zwłaszcza w przypadkach, kiedy zabezpieczenie nadprądowe nie jest w stanie dokonać wyłączenia w wymaganym czasie. Użycie wyłączników różnicowoprądowych sprawia, że przy odbiorczym ani okresowym sprawdzaniu skuteczności ochrony nie jest potrzebne kłopotliwe pomiarowe bądź obliczeniowe sprawdzanie wartości impedancji pętli zwarciowej. Wystarczy sprawdzenie ciągłości przewodów ochronnych.

4. PRAKTYCZNE ROZWIĄZANIA OCHRONY PRZY ZASILANIU REZERWOWYM

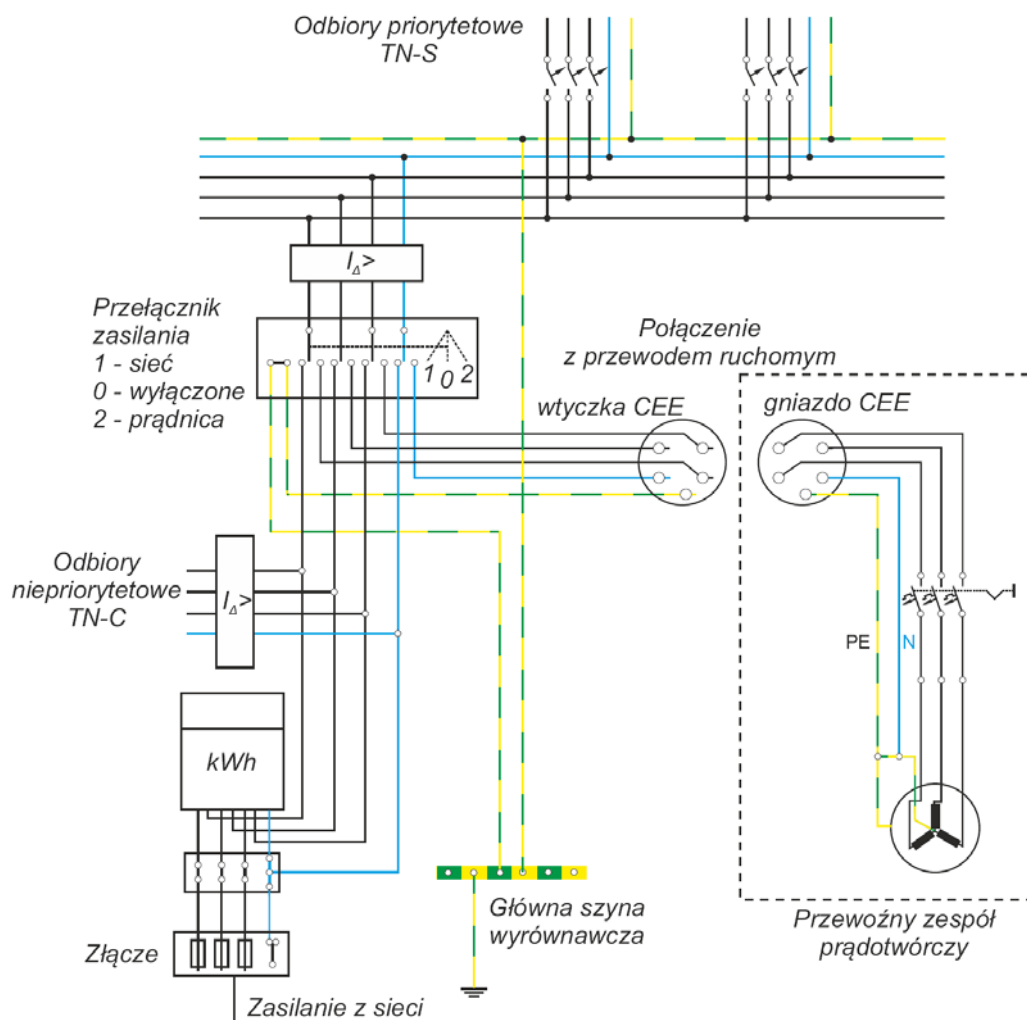
Zwykle przypadki zasilania rezerwowego z zespołu prądowórczego nie obejmują rezerwy natychmiastowej, kiedy występują szczególne problemy przełączania zasilania praktycznie bezprzerwowego i ewentualnego samorozruchu silników. Na ogół zespół jest uruchamiany dopiero po stwierdzeniu przerwania zasilania ze źródła podstawowego, ale bywają sytuacje – chociażby okresowy ruch próbny zespołu – kiedy następuje przełączanie zasilania z czynnego źródła zasilania podstawowego na zasilanie z czynnego rezerwowego zespołu prądowórczego lub na odwrót. Źródłem zasilania podstawowego jest zwykle sieć rozdzielcza publiczna i jej operator stawia określone wymagania odnośnie do instalacji zespołu, jego trybu pracy i wyposażenia aparatury.

Zwyczajnym wymaganiem operatora jest zakaz równoległego łączenia zespołu z siecią, nawet krótkotrwale przy przełączaniu zasilania [20, 30], czyli przełączanie powinno się odbywać z przerwą, podczas której odbiory nie są połączone z żadnym ze źródeł (ang. *open transition*). Wynikają stąd określone wymagania nie tylko odnośnie do automatyki przełączania SZR (ang. *automatic transfer switch*, ATS), jeśli jest ona stosowana. Nawet najprostszy, ręczny przełącznik źródeł zasilania w takim zastosowaniu powinien być 3-położeniowy (I-0-II) z wyraźnym położeniem pośrednim (0), kiedy instalacja odbiorcza jest odcięta od obu źródeł i przełączanie odbywa się bez potrzeby synchronizacji (rys. 16). Taki przełącznik zasilania ma angielską nazwę *open transition transfer switch* (OTTS) albo *break before make transfer switch*.

Od tego wymagania operator sieci może odstąpić, jeśli trzeba wyeliminować zakłócenie pracy

odbiorów przy planowym przełączaniu zasilania, np. na czas ruchu próbnego zespołu i po jego zakończeniu. Warunkiem jest wyposażenie zespołu w urządzenie do samoczynnej synchronizacji i przełączania zasilania w trybie *closed transition transfer switch* (CTTS) albo inaczej *make before break transfer switch*. Natychmiast po przełączeniu powiązanie równoległe powinno zostać przerwane przez odłączenie źródła uprzednio wykorzystywanego.

Są też – obwarowane licznymi wymaganiami dodatkowymi [23] – rozwiązania umożliwiające pracę równoległą zespołu prądotwórczego z publiczną siecią rozdzielczą, ale raczej nie dotyczą one zasilania rezerwowego ani zespołów spalinowo-elektrycznych.

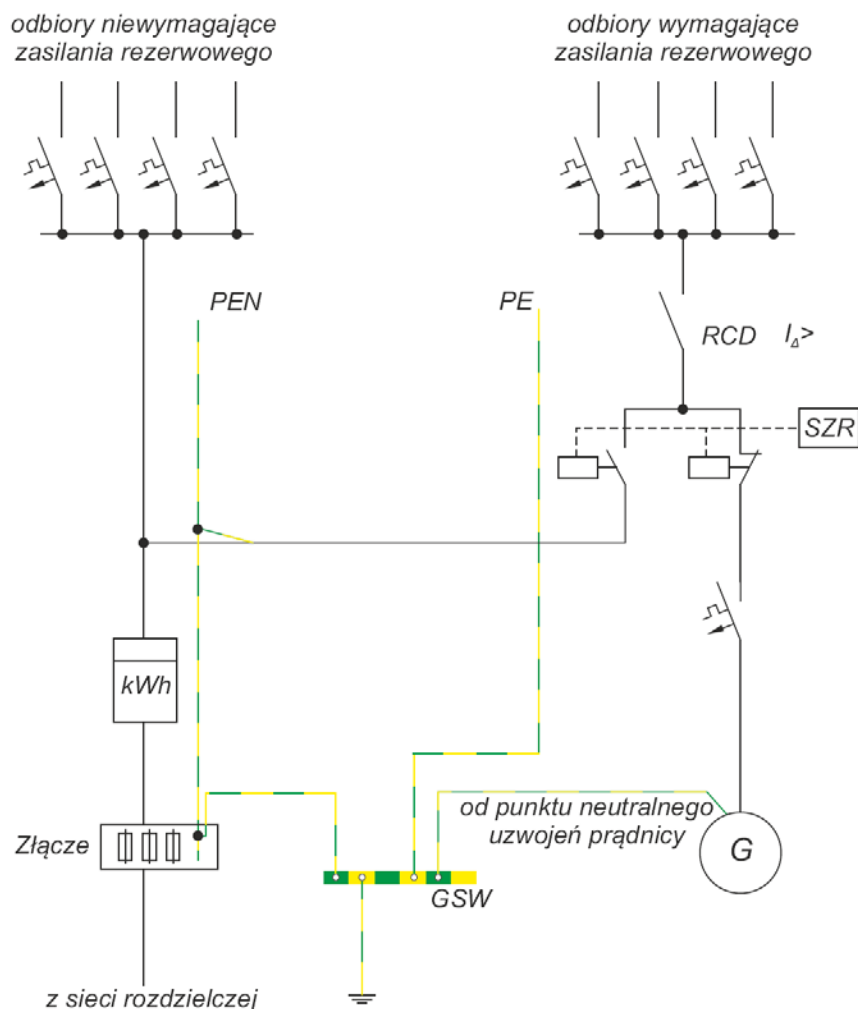


Rys. 16. Układ połączeń umożliwiający zasilanie instalacji odbiorczej z sieci publicznej o układzie TN-C oraz z przewoźnego zespołu prądotwórczego (przystosowanego do układu TN-S) przyłączanego za pomocą gniazda wtyczkowego i wtyczki [20]

Zespół spalinowo-elektryczny do zasilania rezerwowego albo jest na stałe zainstalowany w zasilanym obiekcie (rys. 17) albo staje tuż przy nim, jeśli jest to zespół przewoźny (rys. 16). W obu przypadkach jedynym poważnie rozważanym układem instalacji zasilania rezerwowego powinien być układ TN-S. Taki układ powinny mieć obwody odbiorów priorytetowych przystosowane do zasilania rezerwowego i od kilkunastu lat tak się je wykonuje. W starszych obiektach, korzystających z zasady ochrony zastanej, przynajmniej obwody wymagające zasilania rezerwowego powinny być zmodernizowane do układu TN-S. Do połączenia z takim układem zasilania powinny być też przystosowane zespoły prądotwórcze, również przewoźne.

Przełączanie powinno odbywać się pełnobiegunowo, rozłączany powinien być również przewód neutralny N [1], a zatem w układzie 3-fazowym jest niezbędny łącznik 4-biegunowy, przy czym biegun neutralny powinien mieć przyspieszoną styczość przy zamykaniu i opóźnioną – przy

otwieraniu. Rozwiązaniem przydatnym w instalacjach zasilających urządzenia energoelektroniczne (duży prąd w przewodzie neutralnym, wrażliwość na przepięcia łączeniowe), jest *three-pole transit switch with overlapping neutral contacts* [1], czyli 4-biegunowy przełącznik zasilania, którego styki bieguna neutralnego mają taką sekwencję działania, że w trakcie przełączania przewód neutralny obwodów odbiorczych w każdej chwili jest połączony z uziemionym przewodem neutralnym co najmniej jednego ze źródeł zasilania.



Rys. 17. Układ połączeń umożliwiający zasilanie obwodów wymagających zasilania rezerwowego alternatywnie z sieci publicznej o układzie TN-C oraz ze stacjonarnego zespołu prądowórczego przystosowanego do układu TN-S [20]

Podczas zasilania z zespołu prądowórczego skuteczność ochrony przeciwporażeniowej przez samoczynne wyłączenie zasilania nie powinna być uzależniona od połączenia z uziemieniami (przewodu PEN) publicznej sieci rozdzielczej [14, 17, 20, 22, 23]. Nie wystarcza zatem połączenie obwodu prądnic z uziemieniem sieci za pośrednictwem złącza. Wymagane jest lokalne uziemienie dla prądnic stacjonarnego zespołu prądowórczego, które pozwoli zachować skuteczność ochrony nawet w razie rozłączenia lub awaryjnego przerwania wszystkich przewodów łączących instalację z siecią rozdzielczą, łącznie z przewodem PEN (PE). Tę rolę może pełnić uziom fundamentowy budowli, niezależnie od jego rezystancji uziemienia. Wymaganie lokalnego uziemienia nie oznacza, że wspomniane uziemienie prądnic ma być elektrycznie oddzielone od uziemień przewodów PEN (PE) sieci rozdzielczej. Przeciwnie, wszystkie te uziemienia powinny być przyłączone do głównej szyny wyrównawczej obiektu i – dopóki ich połączenia nie są przerwane – wspólnie pełnić korzystną rolę w systemie ochrony przeciwporażeniowej.

Jeżeli wchodzi w rachubę zasilanie instalacji stałej z przewoźnego zespołu prądowłórczego (rys. 16), również z zespołu ciągnikowego (rys. 5 i 6), to powinny być spełnione następujące warunki:

- stały punkt przyłączenia zespołu przewoźnego – poza urządzeniem przyłączeniowym przewodów czynnych – powinien zawierać zacisk lub styk uziemiający do uziemienia roboczego prądnicy,
- prądnica przewoźnego zespołu prądowłórczego powinna mieć wyprowadzony przewód z punktu neutralnego i zacisk do jego uziemiania.

Skuteczność ochrony dodatkowej (ochrony przy uszkodzeniu) na poziomie przełącznika źródeł zasilania nie powinna być uzależniona od warunków zasilania i z tego powodu przełącznik powinien być wykonany w klasie ochronności II.

5. SPRAWDZANIE STANU OCHRONY PRZECIWPORAŻENIOWEJ

Bezpieczeństwo pracy, w tym ochrona przeciwporażeniowa, to problem pierwszorzędnej wagi w przypadku zespołów przenośnych i przewoźnych do wyspowego zasilania narzędzi ręcznych i innych urządzeń ruchomych za pośrednictwem instalacji tymczasowych. Natomiast przy zasilaniu rezerwowym instalacji stałych z zespołów stacjonarnych pierwszoplanowym problemem staje się niezawodność zespołu wraz z wyposażeniem, stała gotowość do przejęcia zasilania.

W trakcie eksploatacji **instalacji tymczasowych** i zespołów ruchomych ogół pracowników, korzystających z urządzeń elektrycznych, powinien być przeszkolony odnośnie do występujących zagrożeń i zmotywowany do zgłaszania wszelkich dostrzeżonych uszkodzeń i anomalii. Za każdorazowe rozwinięcie instalacji w nowym miejscu i dopuszczenie jej do ruchu powinna odpowiadać co najmniej osoba poinstruowana. Powinna ona dokonać uproszczonego sprawdzenia odbiorczego – przez oględziny sprawdzić, czy nie ma widocznych uszkodzeń ani innych nieprawidłowości, jeśli chodzi o stan zespołu, jego zabezpieczeń i jego rozdzielnic, o gniazda wtyczkowe i wtyczki, przewody oponowe oraz narzędzia ręczne i inne urządzenia odbiorcze. Powinna choćby orientacyjnie sprawdzić bilans mocy i ocenić, czy moc zespołu jest wystarczająca do zasilania przewidzianego zestawu urządzeń elektrycznych. Powinna sprawdzić zgodność stanu rzeczywistego z dokumentami normatywnymi:

- dokumentacją techniczno-ruchową zespołu spalinowo-elektrycznego dostarczoną przez producenta,
- instrukcją eksploatacji tymczasowej instalacji elektrycznej (placu budowy lub innego obiektu) przygotowaną przez nadzór techniczny robót.

Tablica 1. Graniczne dopuszczalne wartości parametrów urządzeń odbiorczych przy sprawdzeniach okresowych według DIN VDE 0701/0702

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

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

Wynik każdego sprawdzenia powinien być potwierdzony pisemnie i jednoosobowo. To skuteczny sposób wymuszenia odpowiedzialnego traktowania funkcji kontrolnych.

Jeżeli rozdzielnica zespołu zawiera wyłączniki różnicowoprądowe, to codziennie przed rozpoczęciem pracy ich stan należy sprawdzać przez naciśnięcie przycisku kontrolnego (po uprzednim podaniu napięcia!). Nie rzadziej niż co miesiąc należy sprawdzać ich rzeczywisty prąd zadziałania, do czego wystarcza osoba poinstruowana dysponująca prostym próbnikiem. Podobnie, jeżeli w rozdzielnicy zespołu jest urządzenie IMD do monitorowania stanu izolacji, to codziennie przez naciśnięcie jego przycisku kontrolnego należy sprawdzać, czy jest sprawne.

Sprawdzanie okresowe o częstości podanej w instrukcji eksploatacji (np. co trzy miesiące), powinno obejmować następujące sprawdzenia, przy kryteriach oceny wyników jak w tabl.1:

- Pomiar rezystancji izolacji uzwojenia prądnicy oraz przewodów czynnych instalacji względem przewodu ochronnego PE lub nieuziemionego przewodu wyrównawczego PBU (w układzie TN taki pomiar wymaga uprzedniego rozłączenia mostka N-PE).
- Pomiar rezystancji izolacji urządzeń odbiorczych lub pomiary równoważne, jak pomiar prądu w przewodzie ochronnym (odbiorniki klasy ochronności I) bądź pomiar prądu dotykowego (odbiorniki klasy ochronności II).
- Sprawdzenie poprawności wykonania i ciągłości połączeń ochronnych, przez pomiar rezystancji żyły ochronnej przewodu ruchomego bądź rezystancji przejścia między częściami przewodzącymi dostępnymi pobliskich urządzeń.

W przypadku zasilania awaryjnego **instalacji stałych** sprawdzanie stanu ochrony przeciwporażeniowej odbywa się według zwykłych zasad co do zakresu i częstości kontroli. Dla utrzymania stałej zdatności ruchowej zespół spalinowo-elektryczny, normalnie bezczynny, podlega okresowo próbie funkcjonalnej, najostrożniejszej w przypadku zespołów do awaryjnego zasilania instalacji bezpieczeństwa (niem. *Sicherheitsstromquellen*) – comiesięczna próba rozruchu i pracy 60-minutowej przy stopniu obciążenia co najmniej 50%.

Bibliografia

1. Bey L. A., Iverson J.: Grounding of AC generators and switching the neutral in emergency and standby power systems. Technical information from Cummins Power Generation, 2006.
2. Egyptien H.H.: Ersatzstromerzeuger auf Bau- und Montagestellen. Elektropraktiker, 2010, nr 3, s. 11-12; nr 4, s. 11-12; nr 5, s. 11-12; nr 6, s. 11-12.
3. Flügel T.: Notstromversorgung im Katastrophenfall. Der Elektro- und Gebäudetechniker, 2002, nr 20, s. 51-55.
4. Hering E.: Einsatz ortsveränderlicher Notstromaggregate. Elektropraktiker, 2008, nr 4, s. 318-323.
5. Hofheinz W.: Ungeerdete Niederspannungs-Stromerzeugungsanlagen als IT-Systeme. ETZ, 2009, nr 3, s. 68-75.
6. Hörmann W.: Fahrbares Stromversorgungsaggregat. Der Elektro- und Gebäudetechniker, 2000, nr 7, s. 13-16.
7. Hörmann W.: Notstromgenerator in landwirtschaftlicher Betriebsstätte. Der Elektro- und Gebäudetechniker, 2002, nr 23, s. 15-17.
8. Hörmann W.: Ersatzstromerzeuger in der Landwirtschaft. Der Elektro- und Gebäudetechniker, 2008, nr 22, s. 26-30.
9. Hörmann W.: Mobile Stromeinspeisung in der Landwirtschaft. Der Elektro- und Gebäudetechniker, 2010, nr 7, s. 35-41.
10. PN-HD 60364-4-41:2009 Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 4-41: Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa – Ochrona przed porażeniem elektrycznym.
11. PN-HD 60364-5-51:2011 Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych – Część 5-51: Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego – Postanowienia ogólne.
12. PN-HD 60364-5-54:2011 Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 5-54: Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego – Uziemienia, przewody ochronne i przewody połączeń ochronnych (oryg.).

13. PN-IEC 60364-5-551:2003 Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych – Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego – Inne wyposażenie – Niskonapięciowe zespoły prądowórcze.
14. PN-HD 60364-5-551:2010 Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 5-55: Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego – Inne wyposażenie – Sekcja 551: Niskonapięciowe zespoły prądowórcze (oryg.).
15. PN-HD 60364-7-704:2010 Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 7-704: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji – Instalacje na terenie budowy i rozbiórki.
16. Zarządzenie Ministra Górnictwa i Energetyki oraz Ministra Budownictwa i Przemysłu Materiałów Budowlanych z dnia 31 grudnia 1968 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinna odpowiadać ochrona przeciwporażeniowa w urządzeniach elektroenergetycznych o napięciu do 1 kV (PBUE, zeszyt 6).
17. DIN VDE 0100-704 (VDE 0100-704):2007-10 Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 7-704: Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art – Baustellen.
18. DIN VDE 0100-551 (VDE 0100-551):1997-08 Elektrische Anlagen von Gebäuden – Teil 5: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel – Kapitel 55: Andere Betriebsmittel – Hauptabschnitt 551: Niederspannungs-Stromerzeugungsanlagen.
19. DIN VDE 0100-551 (VDE 0100-551):2011-06 Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 5-55: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel – Andere Betriebsmittel – Abschnitt 551: Niederspannungsstromerzeugungseinrichtungen.
20. DIN 14686:2010-05 Feuerwehrwesen – Schaltschränke für fest eingebaute Stromerzeuger (Generatorsätze) ≥ 12 kVA für den Einsatz in Feuerwehrfahrzeugen.
21. DIN 14687:2007-02 Feuerwehrwesen – Fest eingebaute Stromerzeuger (Generatorsätze) kleiner 12 kVA für den Einsatz in Feuerwehrfahrzeugen.
22. Richtlinie für Planung, Errichtung und Betrieb von Anlagen mit Notstromaggregaten. Verband der Netzbetreiber VDN e.V. beim VDEW, Berlin 2004.
23. VDE-AR-N 4105:2011-08 Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz, Technische Mindestanforderungen für Anschluss und Parallelbetrieb von Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz. VDE-Anwendungsregel.
24. BGI 867 Handlungsanleitung – Auswahl und Betrieb von Ersatzstromerzeugern auf Bau- und Montagestellen. BG Bau, Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft, Berlin 2006.
25. ÖVE/ÖNorm E 8001-4-56:2003 Errichtung von elektrischen Anlagen mit Nennspannungen bis ~ 1000 V und $= 1500$ V. Teil 4-56: Elektrische Anlagen in landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Betriebsstätten.
26. Ersatz- und Notstromversorgung mit Zapfwellengeneratoren. Report 42. AUVA, Wien, 2005.
27. UTE C 15-401:2004 Installations électriques à basse tension. Guide pratique. Groupes électrogènes. Règles d'installation.
28. NF E37-312:2009-05 Groupes électrogènes à courant alternatif entraînés par moteurs alternatifs à combustion interne. Groupes électrogènes utilisables en tant que source de sécurité pour l'alimentation des installations de sécurité (GSS).
29. Mobile Ersatzstromerzeuger für Rohrleitungsbaustellen – Ausrüstung und Betrieb. DVGW Technische Mitteilungen Merkblatt GW308, August 2000.
30. Einsatz von Netzumschaltern bei Ersatzstromversorgungs-Anlagen. Hensel Produktinformation 11/2009.
31. Earthing of mobile generating sets. Federal Report 6 – TGN-W-05. OZWELD, Newington (Australia) 2006.
32. Health and Safety Executive OC 482/2: Electrical safety of independent low-voltage ac portable and mobile generators and connected systems. Canberra 2004.

Dane bibliograficzne

Musiał E.: Ochrona przeciwporażeniowa w instalacjach zasilanych z zespołów prądowórczych spalinowo-elektrycznych. Automatyka, Elektryka, Zakłócenia, e-pismo naukowo-techniczne dla praktyków, nr 1/2013 (11), s. 6-27, www.epismo-aez.pl