

## 5 PROJEKT ELEKTRYCZNY

### Przegląd

Elektryczne projektowanie i planowanie systemu generacyjnego jest bardzo ważne dla prawidłowego działania i niezawodności systemu. Ten rozdział obejmuje projekt instalacji generatora i związanych z nim systemów elektrycznych, ich interfejsów z obiektem, oraz tematy dotyczące obciążenia i zabezpieczenia generatora. Kluczowym elementem dla zrozumienia projektu systemu elektrycznego jest jednolity schemat, taki, jak pokazany na Rysunku 2-1.

Instalacja elektryczna agregatu prądotwórczego i jego akcesoriów musi być zgodna z obowiązującymi Przepisami Elektrycznymi, wydanymi przez miejscowe władze inspekcyjne. Instalacja elektryczna powinna być wykonywana przez przeszkolonych, wykwalifikowanych i doświadczonych elektryków/wykonawców.

### Rozważania projektowe

Ze względu na znaczne różnice w zastosowaniach, cechach charakterystycznych i warunkach, szczególne połączenia przewodów i zabezpieczenia nadprądowe elektrycznego systemu rozdzielczego dla lokalnego wytwarzania muszą być pozostawione do oceny technicznej. Są jednakże pewne ogólne wytyczne do uwzględnienia w projekcie.

- Projekt rozdzielania elektrycznego dla awaryjnych systemów zasilania powinien minimalizować przerwy z powodu wewnętrznych problemów, takich, jak przeciążenia i niesprawności. Dla selektywnej współpracy wykorzystywanych w systemie urządzeń zabezpieczenia nadprądowego oraz zadecydowania o liczbie i rozmieszczeniu urządzeń przełączania mocy przewidziane są podsekcje. W celu zapewnienia ochrony przed niesprawnościami zasilania wewnętrznego, urządzenia przełączania mocy powinny być umieszczone możliwie najbliżej urządzeń wykorzystujących zasilanie.
- Fizyczne oddzielenie linii zasilających generatora od normalnych linii zasilania w celu zabezpieczenia przed możliwością jednoczesnego uszkodzenia w wyniku lokalnej katastrofy, takiej, jak pożar, powódź, lub siły poprzeczne.
- obejście – izolacja urządzeń przełączania mocy, tak, aby przełączniki przesyłu mogły być konserwowane lub naprawiane bez przerywania zasilania urządzeń krytycznie ważnych.
- Wyposażenia dla zespołów obciążenia trwałego lub do ułatwienia podłączenia do zespołów

obciążenia tymczasowego bez zakłócania połączeń trwałych, takich, jak dowolnie umieszczony zapasowy odłącznik przewodów zasilania, w celu umożliwienia sprawdzania agregatu prądotwórczego pod indywidualnym obciążeniem.

*Uwaga: Zespoły obciążeń zainstalowane przed chłodnicą agregatu prądotwórczego muszą być podpierane na podłodze lub innej konstrukcji budynku, a nie na chłodnicy lub adapterze duktu. Te elementy składowe agregatu prądotwórczego mogą nie być zaprojektowane do utrzymywania ciężaru lub wspornika zespołu obciążenia.*

- Obwody obciążenia-rezerwy lub systemy priorytetów obciążenia w przypadku zredukowanej wydajności generatora lub utraty jednego zespołu w systemach równoległych.
- Zabezpieczenie przed pożarem przewodów i urządzeń spełniających krytycznie ważne funkcje, takich, jak pompy pożarnicze, windy do użytku straży pożarnej, oświetlenie dla wejść ewakuacji, wentylatory usuwające dym lub wytwarzające nadciśnienie, systemy komunikacyjne, itp.
- Bezpieczeństwo i dostępność tablic rozdzielczych lub pulpitów rozdzielczych z urządzeniami nadprądowymi, oraz urządzenia przełączania przesyłu w lokalnym systemie rozdzielczym generatora.
- Wyposażenia dla podłączania generatorów tymczasowych (przenośne wypożyczane agregaty prądotwórcze) w okresy, gdy zainstalowany na stałe agregat jest nieczynny lub gdy zwiększone pobory mocy stwarzają konieczność zapewnienia mocy dla innych odbiorców (klimatyzacja powietrza, itp.)

### Podłączenia elektryczne

#### Ogólnie

Izolacja drgań: Wszystkie agregaty prądotwórcze drgają podczas normalnej pracy, jest to prosty fakt, który musi być rozpatrywany. Są one albo zaprojektowane w integralne izolatory, albo cała podstawa jest montowana na izolatorach sprężynowych dla umożliwienia przemieszczania i dla odizolowania drgań od budynku lub innej konstrukcji. Mogą również występować większe przemieszczenia podczas nagłej zmiany obciążenia lub zdarzenia błędów oraz podczas uruchamiania lub zatrzymywania. W związku z tym wszystkie połączenia do agregatu prądotwórczego, mechaniczne lub elektryczne, muszą być w stanie absorbować przemieszczenia drgań

© 2004 Cummins Power Generation. Wszystkie kopie są niekontrolowane.

i przemieszczeń podczas uruchamiania i zatrzymywania. Wyjście mocy, funkcje sterowania, przyzywania, oraz obwody akcesoriów, wszystkie one wymagają plecionych przewodów elastycznych i elastycznych osłon przewodów pomiędzy agregatem prądotwórczym i budynkiem, konstrukcją mocującą lub fundamentem.

Duże sztywne kable mogą nie zapewniać dostatecznej możliwości zginania, nawet, jeżeli są one uważane za elastyczne. Dotyczy to także niektórych osłon przewodów, na przykład niektórych szczelnych dla płynów osłon przewodów, które są dość sztywne. Należy również mieć na uwadze, że kable lub osłony kabli nie są ściśliwe w kierunku swojej długości, więc elastyczność w tym wymiarze musi być zapewniona przez odpowiednią długość, przesunięcia lub wygięcia.

Dalej, punkty podłączeń elektrycznych na agregacie prądotwórczym – tuleje, szyny bloki przyłączy, itp. – nie są zaprojektowane do absorbowania tych przemieszczeń i związanych z nimi naprężeń. (Jest to znów szczególnie ważne dla dużych sztywnych kabli lub sztywnych „elastycznych” osłon kabli.). Zaniechanie umożliwienia dostatecznej elastyczności spowoduje uszkodzenie obudów, przewodów, kabli, izolacji, lub punktów podłączenia.

*Uwaga: Zwykłe dodanie elastycznej osłony kablowej lub kabla może nie wystarczyć do zaabsorbowania przemieszczeń wibracyjnych agregatu prądotwórczego. Kable i elastyczne osłony kablowe różnią się pod względem elastyczności i nie będą się rozciągać i ścisnąć. Ten stan może być poprawiony poprzez wykonanie co najmniej jednego wygięcia pomiędzy wyjściem z obudowy generatora a konstrukcją (cementową podłogą, torowiskiem przewodów, ścianą, itp.) w celu umożliwienia przemieszczenia trójwymiarowego.*

**Obszary sejsmiczne:** W obszarach o zagrożeniu sejsmicznym, wymagane są specjalne praktyki instalowania elektrycznego, wraz z sejsmicznym montowaniem urządzeń. Masa, środek ciężkości i wymiary montażowe urządzeń są pokazane na rysunku obrysowym.

**Przewody sterowania:** Przewody sterowania AC i DC (do urządzeń zdalnego sterowania i zdalnych urządzeń wzywających) muszą przebiegać w oddzielnej osłonie kablowej, niż kable zasilania, w celu zminimalizowania zakłóceń obwodów sterowania przez obwody zasilania. Do połączeń do agregatu muszą być używane przewody plecione wraz z odcinkiem elastycznej osłony kablowej.

**obwody rozgałęźne akcesoriów:** Muszą być przewidziane rozgałęzienia obwodów dla wszystkich akcesoriów niezbędnych do pracy agregatu prądotwórczego. Te obwody muszą być zasilane albo z przyłączy obciążenia automatycznego przełącznika

przesyłu lub z przyłączy generatora. Przykładami akcesoriów są: pompa przesyłania paliwa, pompy płynu chłodzącego dla zdalnych chłodziw, oraz napędzane silnikiem żaluzje dla wentylacji.

Muszą być zapewnione obwody odgałęzione zasilane z normalnego pulpitu rozdzielni zasilania dla zasilacza ładującego akumulatory i dla grzałek płynu chłodzącego, jeżeli są stosowane. Patrz **Rysunek 5-1**.

### **Podłączenia mocy prądu zmiennego AC w generatorze**

Sprawdzić prawidłowe dopasowanie numerów przewodów dla faz i ich rozmiar zgodnie z podanymi możliwościami końcówek urządzeń (automatyczne odłączniki obwodu lub przełączniki przesyłu).

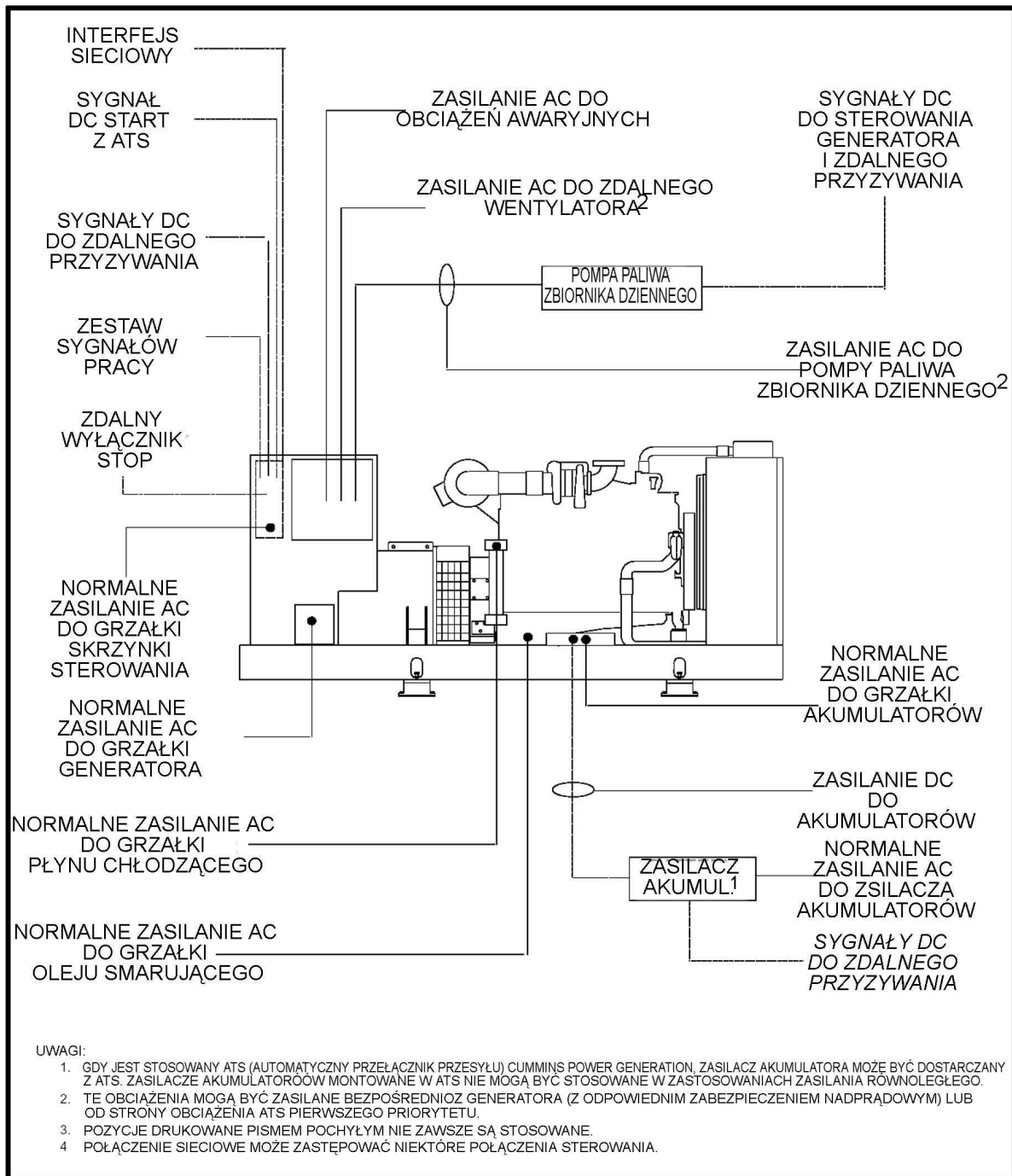
Główne urządzenia odłączające (automatyczny odłącznik obwodu/wyłącznik) powinno być nadzorowane i tak zorganizowane, aby powodowało alarm, gdy jest rozwarte. Niektórzy dostawcy będą inicjować alarm „nie w trybie auto”, gdy odłącznik obwodu (CB) jest rozwarty.

Opcje podłączeń w generatorze mogą obejmować następujące:

Montowane na generatorze kompaktowe automatyczne odłączniki obwodu (cieplno-magnetyczne lub półprzewodnikowe): Mogą być wykonywane podłączenia do automatycznego odłącznika obwodu montowanego na generatorze. Dobrany automatyczny odłącznik obwodu musi posiadać wystarczającą zdolność rozłączania, na podstawie dostępny prąd zwarcia. A agregacie prądotwórczym jednofazowym, maksymalny dostępny symetryczny prąd zwarcia pierwszego cyklu jest zwykle w zakresie 8 do 12 razy większy, niż prąd znamionowy. Dla danego generatora równa się on odwrotności napięcia generatora na jednostkę reaktancji przejściowej, lub  $1/X''_d$ . Do obliczeń przyjmować dolną tolerancję reaktancji przejściowej z danych producenta danego generatora.

Montowany na generatorze (kompaktowy) odłącznik: Podłączenia mogą być wykonywane do odłącznika montowanego na generatorze. Jest to dopuszczalne, gdy generator zawiera wbudowane środki zabezpieczenia nadprądowego, takie, jak Power Command. Ten odłącznik nie jest przeznaczony do rozłączania prądów poziomu błędu, posiada zdolność rozłączania wystarczającą tylko dla prądów obciążenia.

Przyłącza generatora: Podłączenia mogą być dokonywane do przyłączy generatora, gdy nie jest wymagany montowany na generatorze automatyczny odłącznik obwodu lub odłącznik i gdy generator zawiera wbudowane środki zabezpieczenia nadprądowego.



Rysunek 5-1. Typowe przewody sterowania i akcesoriów agregatu prądowórczego.

### Przewody mocy prądu zmiennego AC

Wyjście prądu zmiennego AC agregatu prądowórczego jest podłączane do zainstalowanych w terenie przewodów, o przekroju wymaganym przez prądy obciążenia, zastosowanie i przepisy. Przewody od przyłączy generatora do pierwszego urządzenia nadprądowego są traktowane jako przewody wyprowadzenia i mogą przebiegać na krótkich odległościach bez zabezpieczenia przed zwarciami. Na końcu przewodów zasilania generatora może być przewidziany automatyczny odłącznik obwodu generatora (na przykład odłączników równoległych w równoległym pulpicie rozdzielczym lub główny odłącznik w pulpicie rozdzielczym), który nadal zapewnia zabezpieczenie nadprądowe przewodów.

Jeżeli agregat prądowórczy nie jest fabrycznie wyposażony z automatyczny odłącznik obwodu linii, obciążalność prądowa (amperaż) przewodów fazowych prądu zmiennego AC od przyłączy wyjściowych generatora do pierwszego urządzenia nadprądowego powinien wynosić co najmniej 115 procent znamionowego prądu pełnego obciążenia, bez zmniejszania dopuszczalnego obciążenia z powodu temperatury lub wysokości geograficznej (nad poziomem morza). Obciążalność prądowa (amperaż) przewodów może wynosić 100 procent znamionowego prądu pełnego obciążenia, jeżeli agregat

prądowórczy jest wyposażony w Power Command. Producent agregatu prądowórczego podaje wartości prądu linii danego agregatu prądowórczego przy danym wymaganym napięciu. Jeżeli te wartości są nieznane, obliczyć je przy pomocy jednego z następujących wzorów:

$$I_{LINE} = \frac{kW \cdot 1000}{V_{L-L} \cdot 0.8 \cdot 1.73} \text{ LUB } I_{LINE} = \frac{kVA \cdot 1000}{V_{L-L} \cdot 1.73}$$

gdzie:

$I_{LINE}$  = Prąd linii (ampery).

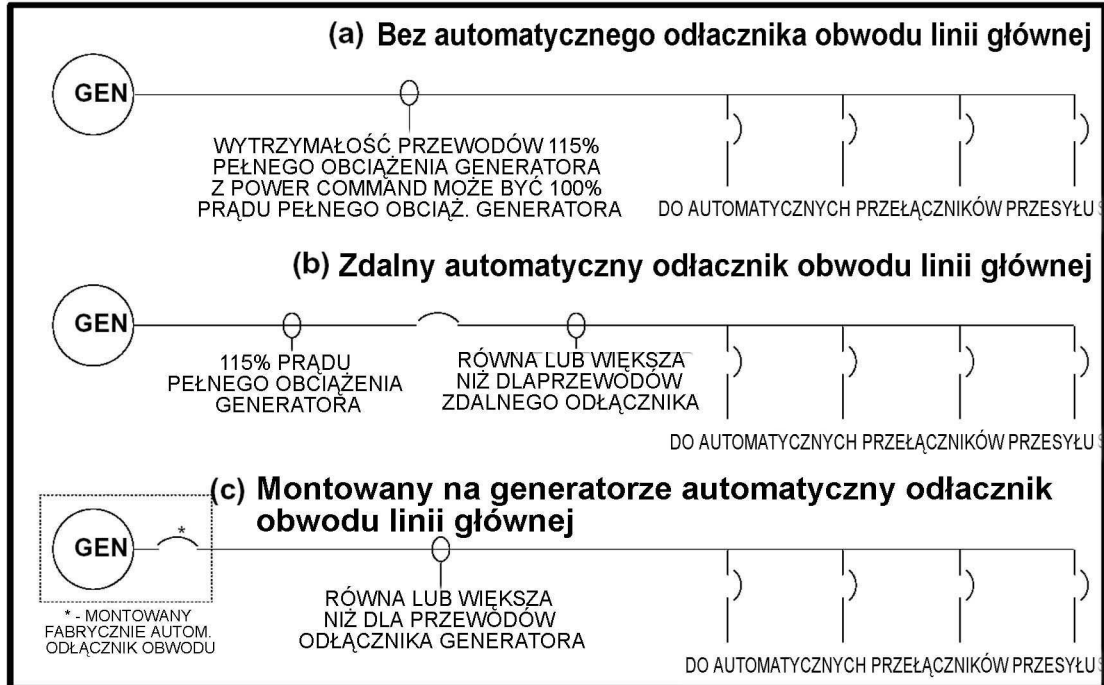
kW = Moc znamion. kW agregatu prądowórczego.

kVA = Moc znam. kVA agregatu prądowórczego.

$V_{L-L}$  = Znamionowe napięcie L-L.

Patrz schematy (a) i (b) na **Rysunku 5-2**. Długość przebiegu przewodów wyprowadzeniowych generatora do pierwszego urządzenia nadprądowego powinna być utrzymywana możliwie najkrótsza (generalnie nie więcej, niż 25 – 50 stóp).

**UWAGA:** Jeżeli generator jest wyposażony w przewody, przekrój przewodów może być mniejszy, niż wymagany dla przewodów zainstalowanych w terenie, ponieważ przewody generatora są typu CCXL lub podobnego, o odporności izolacji na wysokie temperatury, 125°C lub wyżej.



**Rysunek 5-2.** Obciążalność prądowa przewodów zasilania

Jeżeli agregat prądowórczy jest fabrycznie wyposażony w automatyczny odłącznik obwodu linii głównej, obciążalność prądowa zainstalowanych w terenie przewodów faz AC podłączonych do przyłączy obciążenia automatycznego odłącznika obwodu powinna być równa lub większa, niż wartość znamionowa odłącznika obwodu. Patrz (c) na **Rysunku 5-2**.

Minimalna obciążalność prądowa przewodu zerowego (neutralnego) jest generalnie dozwolona jako równa lub większa, niż obliczone maksymalne niezrównoważenie obciążenia jednej fazy. Gdy znaczna część obciążenia jest nie-liniowa, przewód zerowy powinien być dobierany zgodnie z przewidywanym prądem przewodu zerowego, ale nigdy nie mniej, niż 100% znamionowego. Przewód zerowy (neutralny) generatora dostarczanego przez Cummins Power Generation jest równy pod względem obciążalności prądowej przewodom fazowym.

*Uwaga: Kabel średniego napięcia (wyższego, niż 600 V AC) musi być instalowany i podłączany dokładnie tak, jak zaleca producent kabla, przez osoby, które nauczyły się procedur poprzez szkolenie i praktykę pod ścisłym nadzorem.*

**Obliczenia spadku napięcia:** Impedancja przewodu z powodu rezystancji i reaktancji powoduje spadek napięcia w obwodzie prądu zmiennego AC. W celu uzyskania oczekiwanych osiągnięć urządzeń odbiorczych, przewody zwykle powinny mieć takie rozmiary, by to napięcie nie spadało więcej, niż w sumie 3 procent w gałęzi lub obwodzie zasilanym, lub nie więcej, niż w sumie 5 procent pomiędzy wyjściem ze źródła a urządzeniem odbiorczym. Podczas gdy dokładne obliczenia są skomplikowane, można dokonać uzasadnienia znacznych przybliżeń używając następującego wzoru:

$$V_{\text{DROP}} = \frac{(I_{\text{PHASE}} \cdot Z_{\text{CONDUCTOR}})}{V_{\text{RATED}}}$$

Przykład obliczeń: Obliczyć procentowy spadek napięcia w kablu miedzianym 1/0 AWG o długości 500 stóp w osłonie stalowej, przesyłającym prąd obciążenia 3-fazowy, 100 kW, 480 V (międzyfazowo) wywołujący współczynnik mocy (PF) 0,91.

$$Z(\text{omy}) = \frac{L}{(1000 \cdot N)} [(R \cdot \text{pf}) + X \sqrt{(1 - \text{pf}^2)}]$$

Gdzie:

Z = Impedancja przewodnika  
R = Rezystancja przewodnika  
X = Reaktancja przewodnika

L = długość przewodnika w stopach

N = Liczba przewodów na fazę

pf = współczynnik mocy

R = 0,12 oma /1000 stóp (NEC Rozdział 9, Tabela 9, Rezystancja przewodów miedzianych 1/0 AWG w osłonie stalowej).

X = 0,055 oma / 1000 stóp (NEC Rozdział 9, Tabela 9, Reaktancja przewodów miedzianych 1/0 AWG w osłonie stalowej).

$$Z = \frac{500}{(1000 \cdot 1)} [0.12 \cdot 0.91 + 0.055 \sqrt{(1 - 0.91^2)}]$$

= 0.066 procent

$$I_{\text{PHASE}} = \frac{\text{kW}}{\text{kV} \cdot 1.73} = \frac{100}{0.48 \cdot 1.73}$$

= 120.3 ampery

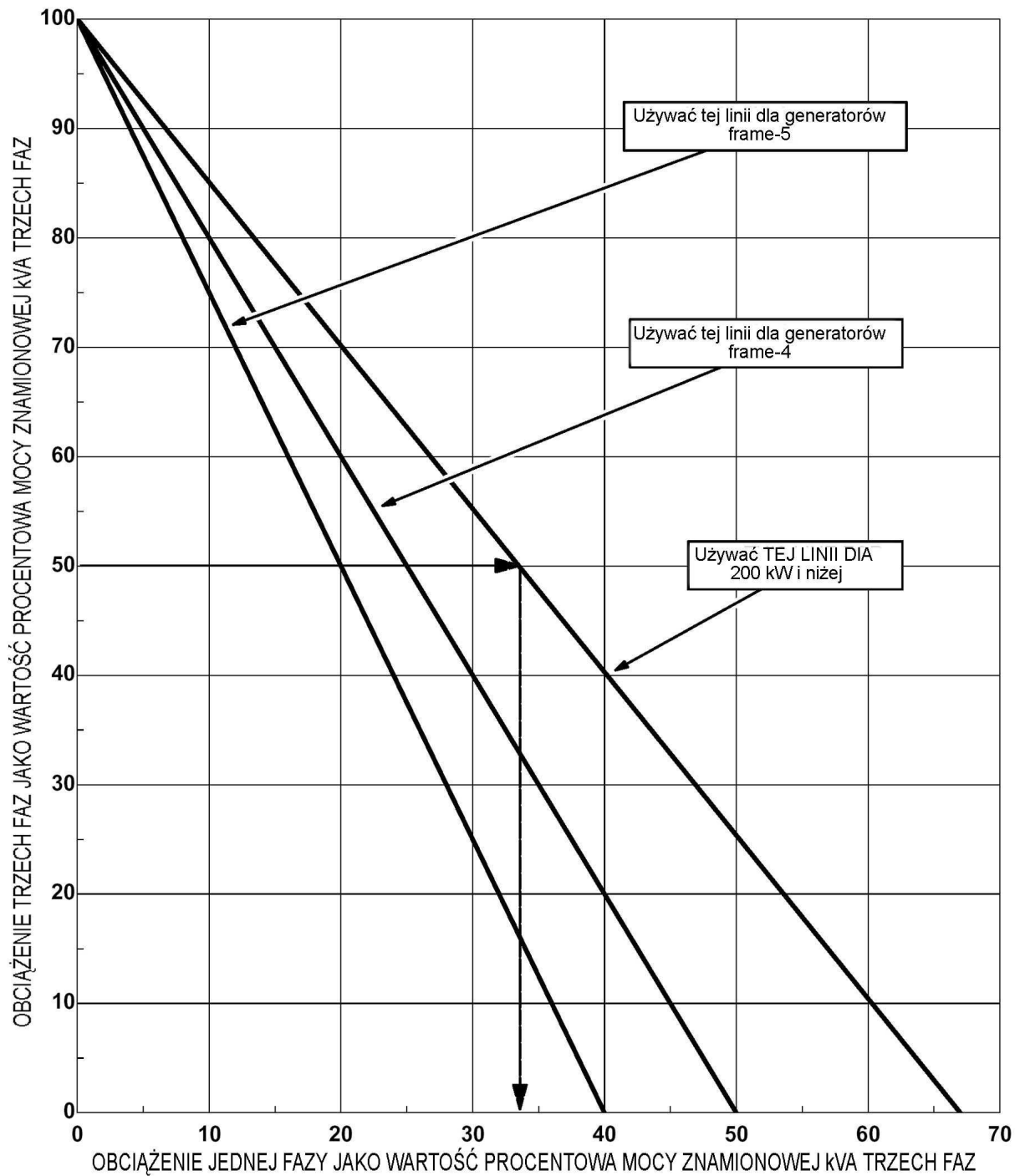
$$V_{\text{DROP}} (\%) = 100 \cdot \frac{120.3 \cdot 0.066}{480}$$

= 1.65 procent

**Dopuszczalne niezrównoważenie obciążenia jednej fazy:** W celu pełnego wykorzystania znamionowej wydajności (kVA i kW) agregatu i dla ograniczenia niezrównoważenia napięć, obciążenia jedno-fazowe powinny być rozdzielane możliwie najbardziej równo pomiędzy trzy fazy agregatu prądowórczego. Jak pokazano w przykładzie obliczeń, do określania maksymalnej dopuszczalnej wartości procentowej niezrównoważonego obciążenia jednej fazy może być wykorzystany **Rysunek 5-3**.

Moc jednej fazy może być pobierana aż do 67 procent mocy znamionowej agregatów prądowórczych Cummins Power Generation, do 200/175 kW.

Generalnie, Im większy agregat prądowórczy, tym niższa wartość procentowa mocy jednej fazy może być pobierana. **Rysunek 5-3** zawiera wartości procentowe linii jednej fazy dla generatorów wielkości pośredniej Ramy 4 (Frame-4) i Ramy 5 (Frame-5) Cummins Power Generation. Potwierdzić wielkość ramy sprawdzając w odpowiednim Arkuszu Danych Alternatora przywoływanym w Arkuszu Specyfikacji agregatu prądowórczego. Niezrównoważenie obciążenia jednej fazy nie powinno przekraczać 10 procent.



**Rysunek 5-3.** Dopuszczalne niezrównoważenie obciążenia jednej fazy (typowy generator z Cummins Power Generation).

Przykład obliczeń: Znaleźć maksymalne obciążenie jednej fazy, które może być zasilane w połączeniu z całkowitym obciążeniem trójfazowym 62 kVA przez agregat prądowórczy o mocy znamionowej 100 kW / 125 kVA.

1. Znaleźć obciążenie trójfazowe jako wartość procentowa mocy znamionowej kVA generatora:

$$\text{Wart. procentowa obciążenia trzech faz} = \left( \frac{62 \text{ kVA}}{125 \text{ kVA}} \right) \cdot 100\% = 50\%$$

2. Znaleźć wartość procentową dopuszczalnego obciążenia jednej fazy, jak pokazano strzałkami na Rysunku 5-3. W tym przypadku, jest to około 34 procent mocy znamionowej trzech faz.
3. Znaleźć maksymalne obciążenie jednej fazy:

$$\text{Max. obciążenie jednej fazy} = \left( \frac{125 \text{ kVA} \cdot 34\%}{100\%} \right) = 42.5 \text{ kVA}$$

4. Zwrócić uwagę jak niżej, że suma obciążenia trzech faz i maksymalne dopuszczalne obciążenie jednej fazy jest mniejsza, niż moc znamionowa kVA agregatu prądowórczego:

$$62 \text{ kVA} + 42.5 \text{ kVA} = 104.5 \text{ kVA}$$

oraz

$$104.5 \text{ kVA} < 125 \text{ kVA} \left( \text{Wart. znamion. agregatu prądow.} \right)$$

*UWAGA: Niezrównoważone obciążenie agregatu prądowórczego powoduje niezrównoważone napięcia faz. Poziomy niezrównoważenie obciążenia przyjęte w tych wytycznych nie powinny powodować szkód w samym agregacie prądowórczym. Jednak odpowiadające im poziomy niezrównoważenie napięcia mogą nie być dopuszczalne dla takich odbiorników obciążenia, jak silniki trójfazowe.*

Z powodu niezrównoważonych napięć faz, krytycznie ważne obciążenia powinny być podłączane do tej fazy, którą regulator napięcia wykorzystuje jako napięcie odniesienia (L1 – L2, jak zdefiniowano na schemacie agregatu prądowórczego), gdy jako wartość odniesienia jest używana tylko jedna faza.

### Obciążenie ze współczynnikiem mocy pojemnościowym

Trójfazowe agregaty prądowórcze są klasyfikowane dla pracy ciągłej ze współczynnikiem mocy (PF) 0,8 (indukcyjnym) i mogą działać przez krótkie okresy czasu z niższymi współczynnikami mocy, na przykład podczas rozruchu silników. Obciążenia reaktywne, które powodują pojemnościowy współczynnik mocy mogą dostarczać energię wzbudzenia do alternatora, i jeżeli są wystarczająco wysokie, mogą

powodować niekontrolowany wzrost napięcia alternatora, uszkadzając alternator, lub odbiorniki lub wyzwalając urządzenia zabezpieczające. Rysunek 5-4 jest typowym wykresem wydajności mocy reaktywnej (kVAR) alternatora. Rozsądnym wskazaniem jest, aby agregat prądowórczy mógł znosić do 10 procent swojej znamionowej wydajności kVAR przy obciążeniach ze współczynnikiem mocy pojemnościowym bez uszkodzeń lub utraty kontroli napięcia wyjściowego.

Najpopularniejszymi źródłami pojemnościowego współczynnika mocy są lekko obciążone systemy UPS z filtrami wejściowymi i urządzenia korekcji współczynnika dla silników. Obciążanie agregatu prądowórczego obciążeniami o indukcyjnym współczynnikiem mocy, przed obciążaniem obciążeniami o pojemnościowym współczynnikiem mocy może poprawić stabilność. Zaleca się również włączać i wyłączać kondensatory korekcji współczynnika mocy wraz z obciążeniem. Dla skorygowania tego problemu generalnie nie jest praktyczne przewymiarować agregat prądowórczy (redukując w ten sposób wartość procentową obciążenia nie-liniowego).

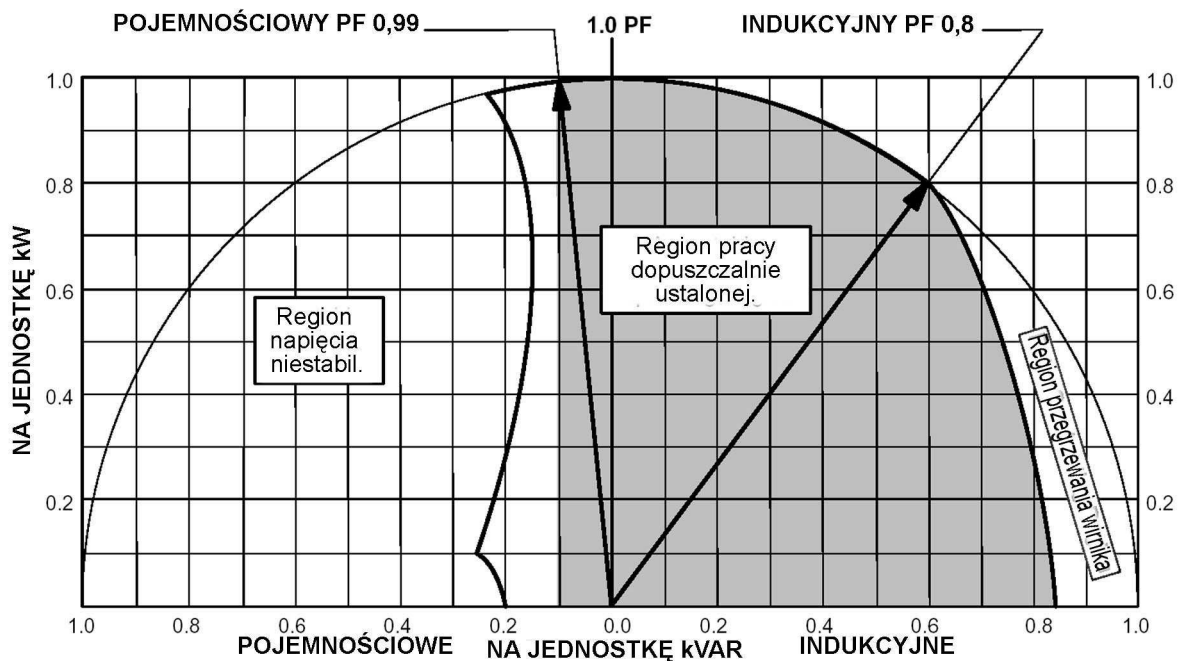
### Uziemienie systemu i urządzeń

poniżej znajduje się opis ogólny uziemienia systemu i urządzeń dla generatorów prądu zmiennego AC zainstalowanych trwale w obiekcie. Są to wskazówki, ważne jest przestrzegać miejscowych przepisów elektrycznych.

Masa (uziemienie) systemu: masa (uziemienie) systemu jest zamierzonym połączeniem z masą zerowego (neutralnego) punktu generatora połączonego w systemie wye (gwiazda), wierzchołka generatora o połączeniu w trójkąt, lub punktu środkowego uzwojenia jednej fazy generatora połączonego w trójkąt, do masy (ziemi). Najczęściej podłącza się do masy zerowy punkt generatora o połączeniach wye (gwiazda) i wyprowadza zero (podłączony do masy przewód obwodu) do trójfazowego, cztero-przewodowego systemu.

System trójkąt z podłączonym do masy wierzchołkiem posiada połączony z masą przewód obwodu, który nie jest zerowy. Posiada on również 'dzięką odnogę' która musi być oznakowana kolorem pomarańczowym i podłączona do środkowego bieguna urządzenia trójfazowego.

Uziemienie stałe: System uziemiony na stałe jest uziemiony bezpośrednio przez przewód (przewód elektrody uziemiającej) bez zamierzonej impedancji w stosunku do ziemi (elektroda uziemiająca). Ta metoda jest zwykle stosowana i wymagana przez przepisy elektryczne we wszystkich systemach niskiego napięcia (600 V i poniżej) z przewodem obwodu uziemiającego (najczęściej zerowy), który obsługuje obciążenia L-N.



**Rysunek 5-4.** Typowy wykres wydajności mocy reaktywnej alternatora w stanie ustalonym

Prawidłowe uziemienie w systemach czuwających, które są trwale uziemione, jest funkcją zastosowanych urządzeń przełączania przesyłu (trwale zero lub przełączane zero). Patrz **Rysunek 5-5**.

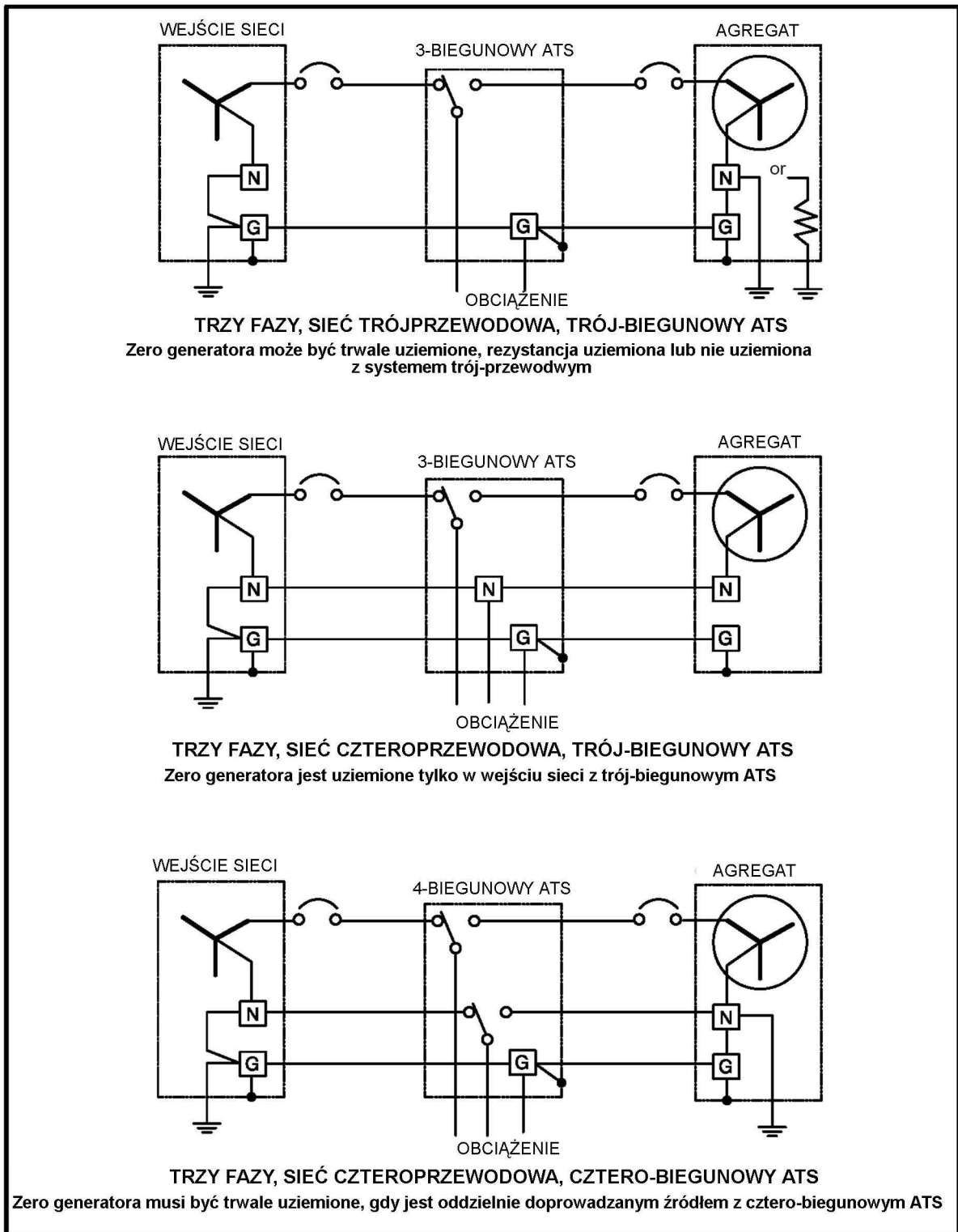
W stanie dostawy, przyłączy zerowe generatora Cummins Power Generation nie jest podłączone do masy (ziemi). Jeżeli generator jest oddzielnie doprowadzany źródłem (tzn. 4-biegunowy przełącznik przesyłu), wtedy, zero będzie musiało być podłączone do masy, a przewód elektrody uziemniającej podłączony do systemu elektrody uziemniającej przez elektryka instalującego.

Jeżeli zero generatora jest podłączane do uziemionego zera zasilania sieciowego, zwykle w bloku zerowym 3-biegunowego przełącznika przesyłu, wtedy zero generatora nie powinno być podłączane do masy w generatorze. W tym przypadku przepisy elektryczne mogą wymagać umieszczenia znaku przy zasilaniu sieciowym, wskazującego, że w tym miejscu jest podłączone do masy zero generatora.

**Uziemienie impedancyjne (rezystancyjne):** Na drodze od punktu zerowego generatora do elektrody uziemniającej zainstalowany jest trwale rezystor. Ta metoda jest czasami stosowana w systemach trójfazowych, trójprzewodowych (bez przewodu obwodu uziemniającego) pracujących z napięciem 600 V lub poniżej, gdzie pożądane jest zachowanie ciągłości zasilania przy pierwszej i tylko przypadkowej niesprawności uziemienia. W celu doprowadzenia zera do urządzenia o obciążeniu faza-zero, w systemie rozdzielczym mogą być stosowane transformatory trójkąt-gwiazda

Zwykle, system niskiego napięcia z uziemieniem o wysokiej rezystancji wykorzystuje rezystor uziemiaczy dobrany rozmiarem do ograniczenia prądu błędu uziemienia, przy napięciu faza-zero, znamionowo do 25, 10 lub 5 A (trwającego w czasie). Zwykle są również zainstalowane systemy wykrywania błędu uziemienia i alarmu.





Rysunek 5-5. Typowe jedno-liniowe schematy alternatywnych metod systemu uziemiania.

Rezystor uziemiający dobierać na podstawie:

1. Wielkości napięcia: napięcie międzyfazowe (napięcie systemu) podzielone przez pierwiastek kwadratowy z trzech (1,73).
2. Wielkości prądu: dostatecznie niski dla ograniczenia uszkodzenia, ale dostatecznie wysoki dla niezawodnego działania zabezpieczeń.
3. Wielkości czasu: Najczęściej 10 sekund dla systemów zabezpieczanych, oraz dłuższy czas dla systemów niezabezpieczanych.

*Uwaga: Uziemienie o niskiej rezystancji jest zalecane dla systemów generatorów działających od 601 do 15.000 V, w celu ograniczenia poziomu prądu błędu uziemienia (najczęściej 200-400 A) i czasu umożliwiającego selektywną koordynację zabezpieczeń. Patrz **Rysunek 5-6** oraz **Uziemienie dla Średniego Napięcia**.*

***Nie uziemione:*** Nie jest wykonane zamierzone połączenie pomiędzy generatorem prądu zmiennego AC a ziemią. Ta metoda jest czasami stosowana w systemach trójfazowych, trój-przewodowych (bez przewodu obwodu uziemienia) pracujących z napięciem 600 V lub poniżej, w których jest pożądanym lub wymagane utrzymanie ciągłości zasilania przy pojedynczym błędzie uziemienia, oraz wykwalifikowani elektrycy serwisowi są na miejscu. Przykładem może być zasilanie odbiorników dla krytycznie ważnego procesu. W celu doprowadzenia zera do urządzenia o obciążeniu faza-zero, w systemie rozdzielczym mogą być stosowane transformatory trójką-gwiazda

***Podłączanie do masy (Uziemienie) urządzeń:*** Masy (uziemienia) urządzeń są połączone razem i podłączone do masy (ziemi) wszystkich nie przenoszących prądu przewodników metalicznych, obudów urządzeń, ramy generatora, itp. Masa urządzeń zapewnia trwałą, ciągłą, o niskiej impedancji elektryczną drogę powrotną do źródła zasilania. Prawidłowe podłączenie do masy praktycznie eliminuje „potencjał dotykowy” i ułatwia kasowanie urządzeń zabezpieczających podczas błędów uziemienia. Główna łącząca zwora przy źródle łączy system masy urządzeń do przewodu masowego obwodu (zerowego) systemu prądu zmiennego AC w jednym punkcie. Miejsce podłączenia masy znajduje się na ramie alternatora, lub, jeżeli przewidziany jest montowany na agregacie automatyczny odłącznik obwodu,

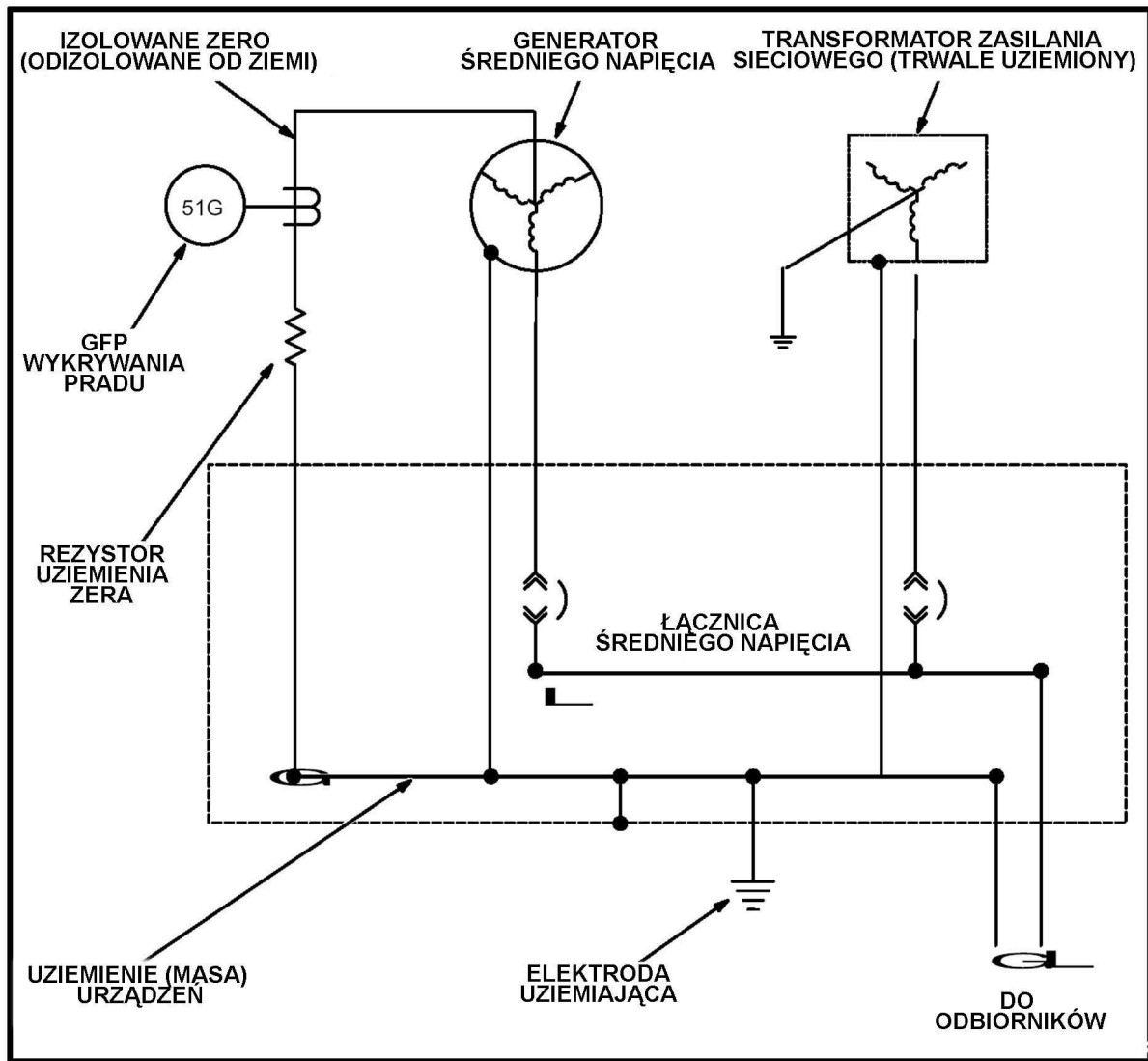
wewnątrz obudowy tego odłącznika znajduje się przyłączy masy. Patrz **Rysunek 5-7**.

### Selektywna koordynacja

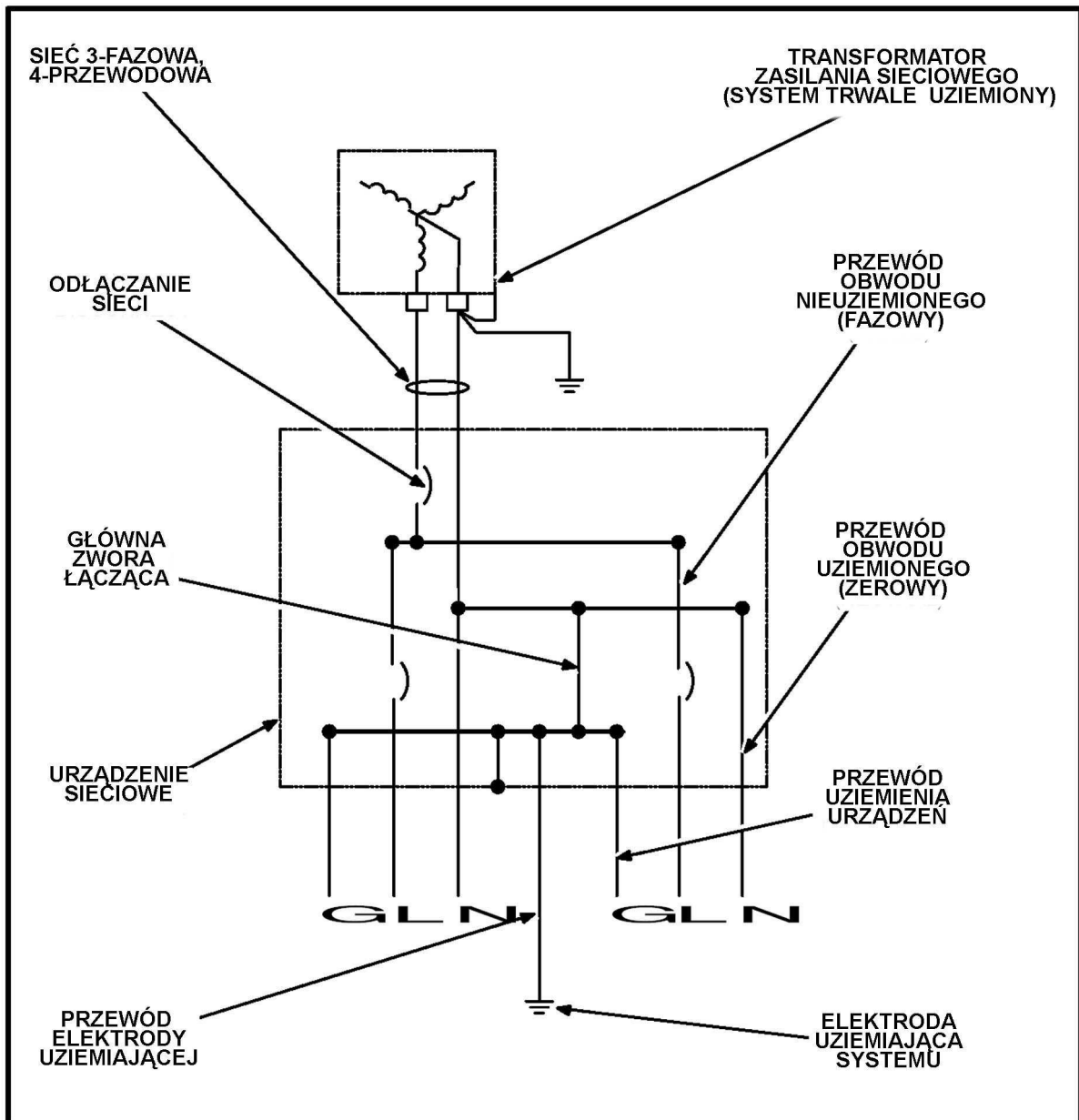
***Selektywna koordynacja:*** jest pozytywnym kasowaniem błędu zwarcia na wszystkich poziomach prądu błędu przez urządzenie nadprądowe bezpośrednio po stronie błędu linii, i tylko przez to urządzenie. „Nieżnośne kasowanie” błędu przez urządzenia nadprądowe za urządzeniem nadprądowym najbliższym błędowi powoduje niepotrzebne zakłócanie nieuszkodzonych gałęzi systemu rozdzielczego i może powodować niepotrzebne uruchamianie systemu awaryjnego.

Niesprawności zasilania elektrycznego obejmują niesprawności zewnętrzne, takie, jak przerwy zasilania sieciowego lub ograniczenia energii, oraz niesprawności wewnętrzne wewnątrz systemu rozdzielczego budynku, takie, jak błąd zwarcia lub przeciążenie, co powoduje, że nadprądowe urządzenie zabezpieczające rozłącza obwód. Ponieważ awaryjne i czuwające systemy generatorów są przeznaczone do utrzymywania zasilania dla wybranych krytycznie ważnych obciążeń, system rozdzielczy energii powinien być zaprojektowany dla zmaksymalizowania ciągłości zasilania w przypadku niesprawności w systemie. System zabezpieczenia nadprądowego powinien być więc selektywnie skoordynowany.

Zabezpieczenie nadprądowe dla urządzeń i przewodów, które są częścią awaryjnego lub czuwającego systemu zasilania, włącznie z miejscowym generatorem, powinny być zgodne z obowiązującymi przepisami elektrycznymi. Jednakże, gdy awaryjny system zasilania obsługuje odbiorniki, które są krytycznie ważne dla zabezpieczenia życia, jak na przykład w szpitalach lub budynkach wysokościowych, wyższy priorytet powinien być nadawany utrzymaniu ciągłości zasilania, niż zabezpieczeniu systemu awaryjnego. Na przykład, bardziej odpowiednie byłoby posiadanie tylko alarmowej sygnalizacji przeciążenia lub błędu uziemienia, niż zadziałanie automatycznego odłącznika obwodu dla zabezpieczenia urządzenia, jeżeli wynikiem tego byłaby utrata zasilania awaryjnego odbiorników krytycznie ważnych dla zabezpieczenia życia.



**Rysunek 5-6.** Typowy nisko-rezystancyjny system uziemienia dla agregatu prądowórczego średniego napięcia i urządzeń przesyłu zasilania.



Rysunek 5-7. Typowy system i równoważne połączenia uziemienia urządzeń zasilanych z sieci

W celach koordynacji, ważny jest możliwy prąd zwarcia w pierwszych kilku cyklach agregatu prądowórczego. Ten prąd jest niezależny od systemu wzbudzenia i jest wyłącznie zależny od magnetycznej i elektrycznej charakterystyki samego generatora. Maksymalny trójfazowy symetryczny prąd zwarcia ( $I_{sc}$ ) dostępny dla generatora na jego przyłączach wynosi:

$$I_{sc} \text{ P.U.} = \frac{1}{X''_d}$$

EAC jest napięciem zwarcia, a  $X''_d$  jest reaktancją przejściową wstępną osi bezpośredniej generatora dla danego zespołu. Typowy agregat prądowórczy Cummins Power Generation będzie dostarczał 8 do –12 razy większy prąd od znamionowego przy błędzie zwarcia trójfazowego, niezależnie od zastosowanego rodzaju systemu wzbudzenia. ( $X''_d$  - Patrz Arkusze Specyfikacji agregatu prądowórczego i arkusze danych alternatora.)

Reaktancje generatora są opublikowane dla danego zespołu dla podanej podstawowej mocy znamionowej alternatora. Jednakże agregaty prądowórcze posiadają różne podstawowe moce znamionowe. W związku z tym należy przekształcić reaktancje danego zespołu z podstawy alternatora do podstawy agregatu prądowórczego, za pomocą następującego wzoru:

$$P.U.Z_{nowe} = P.U.Z_{dane} \left( \frac{\text{base kV}_{dane}}{\text{base kV}_{nowe}} \right)^2 \left( \frac{\text{base kVA}_{nowe}}{\text{base kVA}_{dane}} \right)$$

Przykład obliczeń: Znaleźć  $X''_d$  (reaktancję przejściową wstępną) dla agregatu prądowórczego Cummins Power Generation Model 230DFAB napędzanego silnikiem wysokoprężnym o danych znamionowych 230 kW/288 kVA przy 277/480 V AC. Biuletyn S-1009a dla tego modelu podaje Arkusz Danych Alternatora Nr 303. Arkusz Danych Alternatora Nr 303 podaje, że  $X''_d = 0,13$  dla alternatora w punkcie pełnego obciążenia 335 kW/419 kVA i 277/480 V AC (wzrost temperatury 125°C). Podstawiając te dane do poprzedniego równania:

$$X''_{d(Agregatu)} = X''_{d(ADS)} \left( \frac{kV_{ADS}}{kV_{Agregatu}} \right)^2 \left( \frac{kVA_{Agregatu}}{kVA_{ADS}} \right)$$

$$X''_{d(Agregatu)} = 0.13 \left( \frac{0.48}{0.48} \right)^2 \left( \frac{288}{419} \right) = 0.089$$

**Zalecenia dotyczące lokalizacji urządzeń:** Dla selektywnej koordynacji zaleca się, aby przełączniki przesyłu były umieszczane po stronie obciążenia urządzenia zabezpieczenia nadprądowego odgałęzienia obwodu, gdzie to możliwe, po stronie linii pulpitu rozdzielczego odgałęzienia obwodu. Gdy przełącznik przesyłu znajduje się po stronie obciążenia urządzenia zabezpieczenia nadprądowego odgałęzienia obwodu, to niesprawności po stronie obciążenia przełącznika przesyłu nie będą powodować, przekazywania sprawnych odgałęzień systemu awaryjnego do generatora wraz z odgałęzieniem niesprawnym.

To zalecenie jest spójne z zaleceniami dla całkowitej niezawodności, aby fizycznie umieszczać przełączniki przesyłu możliwie najbliżej urządzeń odbiorczych, oraz aby dzielić obciążenia (odbiorniki) systemu awaryjnego na praktycznie najmniejsze obwody, używając wiele przełączników przesyłu.

Drugie zalecenie, to stosowanie generatora podtrzymującego (wzbudzenie PMG) do pozytywnego kasowania kompaktowych odłączników obwodu odgałęzienia. Generator podtrzymujący może być korzystny dla kasowania kompaktowych odłączników obwodów o tym samym prądzie znamionowym, ale o różnych charakterystykach czasowo-prądowych.

## Zabezpieczenie przed niesprawnością i nadprądowe agregatów prądowórczych

### Dobór wielkości automatycznego odłącznika głównego linii generatora

Dobór rozmiaru automatycznego odłącznika obwodu głównego linii generatora zwykle przebiega według jednego z trzech podejść:

Najpopularniejszym podejściem jest dobór rozmiaru odłącznika obwodu równego lub następnego większego, niż prąd znamionowy pełnego obciążenia generatora. Na przykład, 800-ampereowy odłącznik obwodu mógłby być wybierany dla generatora o znamionowym prądzie pełnego obciążenia 751 amperów. Zaletą tego podejścia jest przede wszystkim koszt; kable i pulpit rozdzielczy lub przełącznik przesyłu mogą być dobrane do wartości odłącznika obwodu 800 amperów. Jeżeli odłącznik obwodu jest klasy standardowej (80% ciągłego), może on rozłączać się automatycznie przy poziomach poniżej prądu pełnego obciążenia generatora. Jednakże jest mało prawdopodobne, aby agregat prądowórczy pracował w pobliżu lub z pełnym obciążeniem kW i przy znamionowym współczynniku mocy dostatecznie długo, aby wyzwolić odłącznik. Alternatywnie może być zastosowany automatyczny odłącznik obwodu 800-ampereowy klasy 100%, który wytrzymuje 800 A w sposób ciągły.

Drugie podejście wykorzystywania standardowej klasy (80% ciągłe) automatyczne odłączniki obwodu jest przewymiarowanie automatycznego odłącznika obwodu do 1,25 razy prąd pełnego obciążenia generatora. Na przykład, 1000-amperowy automatyczny odłącznik obwodu byłby wybierany dla generatora o prądzie pełnego obciążenia 751 A ( $751 \text{ A} \times 1,25 = 939 \text{ A}$ , następny wyższy standardowy automatyczny odłącznik obwodu to 1000 A). Odłącznik wybrany w ten sposób nie powinien zadziałać poniżej pełnego obciążenia kW przy znamionowym współczynniku mocy (znamionowej mocy kVA). Wadą tego podejścia jest fakt, że kable i pulpit rozdzielczy lub przełącznik przesyłu musiałyby być dobrane rozmiarem do co najmniej 1000 A.

Trzecie podejście to dobieranie rozmiaru automatycznego odłącznika obwodu w wyniku obliczeń konstrukcyjnych zasilania i jego urządzenia zabezpieczenia nadprądowego – uznając, że głównym celem automatycznego odłącznika obwodu jest zabezpieczanie przewodów zasilania. Obciążalność prądowa zasilania i klasa urządzenia zabezpieczenia nadprądowego są obliczane poprzez zsumowanie prądów obciążeń obwodów odgałęźnych i pomnożenie przez odpowiednie współczynniki zapotrzebowania (DF), które są dopuszczalne przez odpowiednie przepisy elektryczne. *Nie zakładając przyszłego wzrostu wydajności*, minimalna wymagana wytrzymałość prądowa zasilania dla typowego zastosowania agregatu prądotwórczego obejmującego zarówno obciążenia silnikami, jak i inne, musi być równa lub wyższa:

- 1,25 x prąd ciągłego obciążenia nie silnikowego, plus
- 1,00 x DF (współczynnik zapotrzebowania) x prąd nie ciągłego, nie silnikowego obciążenia, plus
- 1,25 x największy prąd pełnego obciążenia silnikowego, plus
- 1,00 x suma prądów pełnego obciążenia wszystkich innych silników.

Ponieważ agregat prądotwórczy jest dobierany rozmiarem zarówno do prądów rozruchowych (udarów) i prądów pracy, i mogą być również dobierane dla uwzględnienia przyszłej wydajności, prąd pełnego obciążenia agregatu prądotwórczego może być większy, niż obliczona wytrzymałość prądowa przewodów zasilania generatora i automatycznego odłącznika obwodu. Jeżeli tak jest, należy rozważyć zwiększenie zarówno wytrzymałości prądowej przewodów zasilania, jak i klasy automatycznego odłącznika obwodu, tak, by automatyczny odłącznik obwodu nie zadziałał przy pełnym prądzie znamionowym generatora. Zapewniłoby to również przyszłą wydajność dodatkowych obwodów odgałęźnych.

*Uwaga: Wytrzymałość prądowa przewodów zasilania jest regulowana i określana w przepisach, takich, jak*

*NFPA lub CSA. Chociaż jest to oparte na wydajności generatora i odłącznika obwodu (CB), wykorzystywane są również inne krytycznie ważne czynniki. Prawidłowe dobieranie rozmiarów przewodów – patrz odpowiednie przepisy.*

*UWAGA: Przedłużone testowanie pełnym obciążeniem może wyzwać automatyczny odłącznik obwodu głównego linii dobrany rozmiarem do pełnego obciążenia agregatu prądotwórczego, lub mniejszy.*

### Źródła agregatowe

Gdy energia dla systemu awaryjnego jest zapewniana przez agregat prądotwórczy, konieczne jest zapewnienie gałęziowych automatycznych odłączników obwodu (zwykle typu kompaktowego) z wysokim prawdopodobieństwem wyzwania, niezależnie od rodzaju niesprawności, która może występować w obwodzie rozgałęźnym.

Gdy w agregacie prądotwórczym wystąpi niesprawność w obwodzie faza – masa, lub pewne niesprawności międzyfazowe, będzie on dostarczał prąd kilka razy większy od znamionowego, niezależnie od rodzaju systemu wzbudzenia. Generalnie, powoduje to wyzwolenie elementu magnetycznego gałęziowego automatycznego odłącznika obwodu i kasuje niesprawność. W agregacie samo-wzbudnym, występują przypadki niesprawności trójfazowych i pewne niesprawności międzyfazowe, w których prąd wyjściowy generatora początkowo wzrośnie do wartości około 10 razy wyższej od prądu znamionowego, a następnie gwałtownie spadnie do wartości znacznie poniżej prądu znamionowego w ciągu kilku cykli. W agregacie podtrzymywanym (PMG), początkowe prądy niesprawności są takie same, ale prąd spada do podtrzymywanego prądu zwarcia mieszczący się w zakresie od około 3 razy prąd znamionowy dla niesprawności trójfazowej, do około 7-1/2 razy prąd znamionowy dla niesprawności międzyfazowej.

Spadek prądu niesprawności agregatu samo-wzbudnego wymaga odblokowywania i kasowania automatycznych odłączników obwodu gałęzi w ciągu 0,025 sekundy, w którym to czasie przepływa prąd maksymalny. Automatyczny odłącznik obwodu gałęzi, który nie zadziała i nie skasuje niesprawności może spowodować zapaść generatora, zakłócając zasilanie gałęzi systemu awaryjnego, w których nie ma niesprawności. Agregat podtrzymywany (PMG) nie ulegnie zapaści i ma zaletę dostarczania prądu około trzykrotnie większego od znamionowego przez kilka sekund, co powinno być wystarczające do skasowania automatycznych odłączników zasilania gałęzi.

Wykorzystując prąd pełnego obciążenia agregatu prądowłórczego i automatycznego odłącznika obwodu gałęzi, poniższa metoda określa, czy odłącznik obwodu gałęzi zadziała przy niesprawności trójfazowej lub międzyfazowej. Ta metoda określa tylko, zadziałanie jest możliwe w warunkach zwarć a dostępnym prądem niesprawności, a nie gwarantuje zadziałania dla wszystkich wartości prądu niesprawności (na przykład przy zwarciach łukowych, w których impedancja zwarcia jest wysoka).

Ponieważ większość kart automatycznych odłączników obwodu wyraża prąd jako wartość procentową wartości znamionowej odłącznika, dostępny prąd zwarcia musi być przekształcony na wartość procentową wartości znamionowej odłącznika. Do określania dostępnego prądu zwarcia jako wartości procentowej odłącznika obwodu (CB), sklasyfikowanego dla generatora prądu zmiennego AC zdolnego dostarczać początkowo prądu 10 razy większego od znamionowego ( $X''_d = 0,10$ ), ignorując impedancję obwodu pomiędzy generatorem a odłącznikiem:

$$\text{Prąd błędu jako \% wart. znam. CB} = \left( \frac{10 \cdot \text{Prąd znam. generatora}}{\text{Wart. znam. CB (Ampery)}} \right) \cdot 100\%$$

Rozważyć wpływ niesprawności (zwarcia) na 100-ampereowy automatyczny odłącznik obwodu gałęzi, gdy zasilanie jest dostarczane przez agregat prądowłórczy posiadający znamionowy prąd 347 A. W tym przykładzie prąd niesprawności dostępny dla pierwszego 0,025 sekundy, niezależnie od układu wzbudzenia, wynosi:

$$\text{Prąd błędu jako \% wart. znam. CB} = \left( \frac{10 \cdot 347}{100} \right) \cdot 100\% = 3470\%$$

Jeżeli generator prądu zmiennego AC jest takiego typu, że może podtrzymywać prąd trzykrotnie większy od znamionowego, wykorzystać następujący wzór do określenia przybliżonego prądu dostępnego jako wartość procentowa wartości odłącznika obwodu:

$$\text{Prąd utrzymywany jako \% wartości CB} = \left( \frac{3 \cdot 347}{100} \right) \cdot 100\% = 1040\%$$

Rysunki 5-8 i 5-9 pokazują wyniki z dwoma 100-ampereowymi termiczno-magnetycznymi kompaktowymi automatycznymi odłącznikami obwodu posiadającymi różne charakterystyki wyzwalania „A” i „B”. Przy charakterystyce wyzwalania „A” (Rysunek 5-8), początkowy prąd niesprawności (zwarcia) 3470%

wyzwoli automatyczny odłącznik obwodu w ciągu 0,025 sekundy. Przy charakterystyce wyzwalania „B” (Rysunek 5-9), automatyczny odłącznik obwodu może nie zadziałać przy początkowo dostępnym prądzie 3470%, ale zadziała w ciągu około trzech sekund, jeżeli prąd zwarcia będzie utrzymywał się w wysokości 1040% wartości znamionowej odłącznika (trzy razy większej od wartości znamionowej generatora). Wniosek jest taki, że generator podtrzymywany (PMG) posiada zaletę dostarczania dostatecznego prądu niesprawności dla skasowania automatycznych odłączników obwodów gałęzi.

Zastosowanie generatora, jego system wzbudzenia, oraz napięcie pracy, określają zakres ochrony nadprądowej zapewnianej dla generatora i zastosowanych urządzeń zabezpieczających.

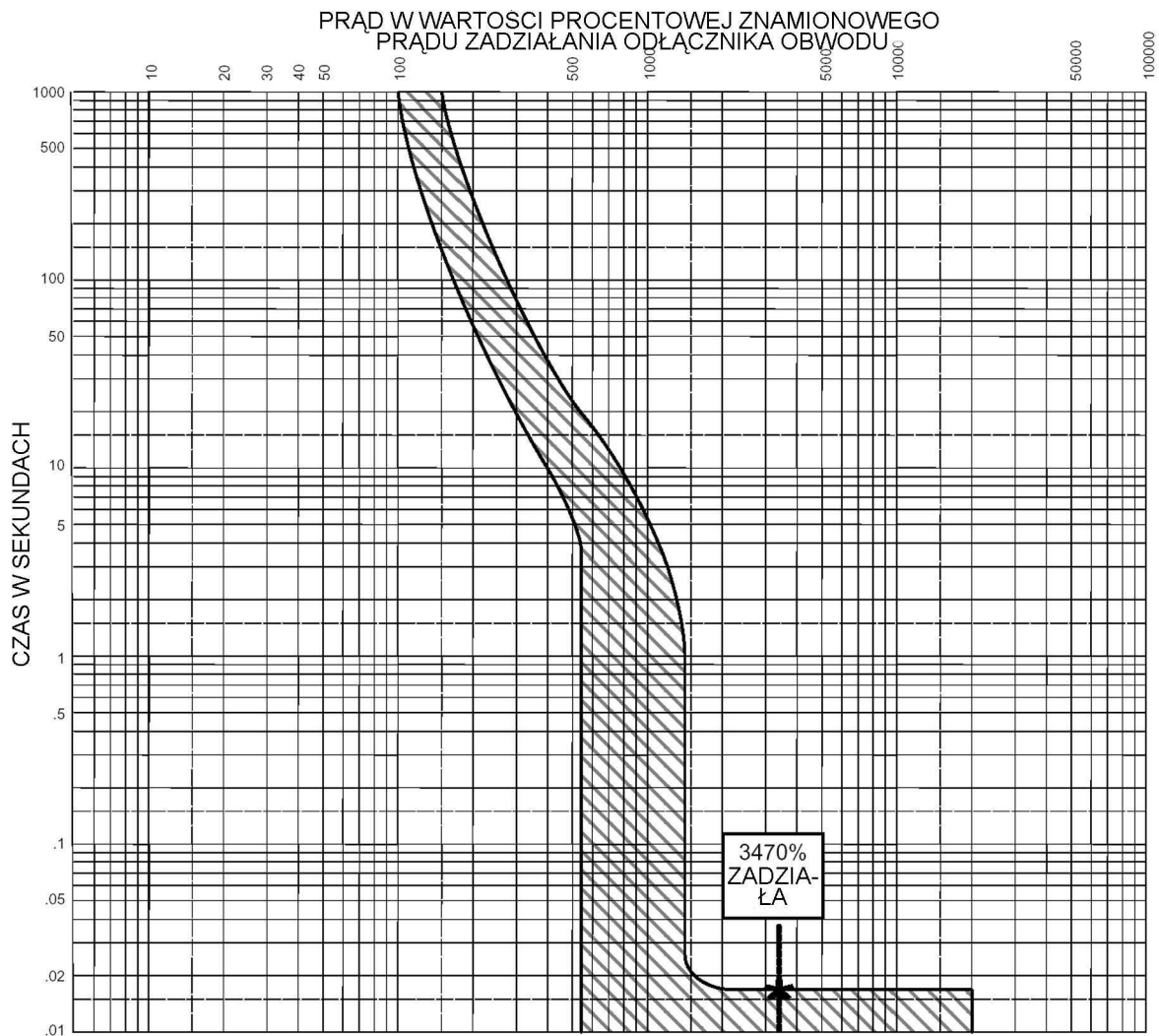
*UWAGA: Poniższe omówienie dotyczy instalacji pojedynczych zespołów, 2000 kW i poniżej. Wymagania zabezpieczeń wielu generatorów pracujących równolegle – patrz publikacja T-016, praca równoległa i Łącznica równoległa, Cummins Power Generation.*

### Zabezpieczenie nadprądowe generatorów

W zastosowaniach awaryjnych / czuwających niskiego napięcia (600 V i poniżej), w których obsługiwane są obciążenia krytyczne a agregat prądowłórczy pracuje przez stosunkowo małą liczbę godzin w roku, powinny być spełnione minimalne wymagania zabezpieczenia z odpowiednich przepisów elektrycznych. poza tym, inżynier projektujący powinien rozważyć kompromis pomiędzy urządzeniami zabezpieczającymi a ciągłością zasilania obciążeń krytycznych, i może zdecydować zapewnić większy, niż minimalny poziom zabezpieczenia.

W zastosowaniach głównego zasilania lub zasilania bezprzerwowego niskiego napięcia, utrata zasilania, która mogłaby wynikać z działania urządzeń zabezpieczających, może być tolerowana i w związku z tym odpowiedni byłby wyższy poziom zabezpieczenia urządzeń.

**Strefa zabezpieczenia:** Strefa zabezpieczenia dla generatorów obejmuje generator i przewody od przyłączy generatora do pierwszego urządzenia nadprądowego; urządzenia nadprądowego sieci-linii (jeżeli jest zastosowane), lub urządzenia nadprądowego szyny zasilania. Zabezpieczenie nadprądowe dla generatora obejmuje zabezpieczenie przed niesprawnością zwarcia w każdym miejscu wewnątrz strefy.



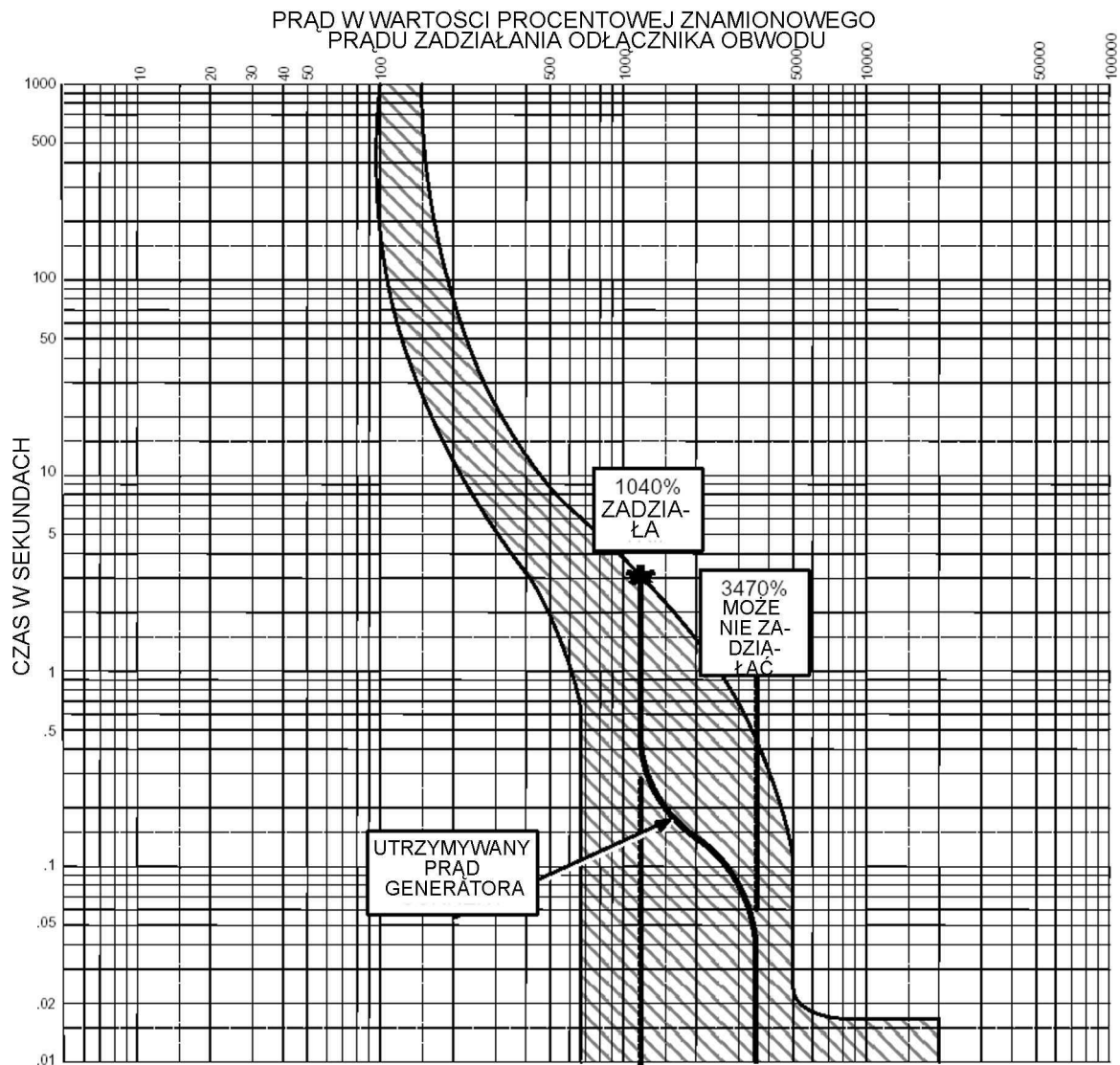
**Rysunek 5-8.** Wpływ niesprawności na 100-ampereow odłącznik obwodu z charakterystyką wyzwalania „A”.

Po stronie wyjściowej szyny zasilania, ma zastosowanie standardowa praktyka zabezpieczenia nadprądowego przewodów i urządzeń. Stosunek prądu znamionowego generatora do wartości znamionowej urządzeń nadprądowych na wyjściu, pomnożony przez prąd zwarcia dostępny z generatora w pierwszych kilku cyklach, powinien być dostateczny dla zadziałania tych urządzeń w ciągu jednego do dwóch cykli.

Systemy awaryjne/czuwające 600 V i poniżej: Dla zastosowań awaryjnych/czuwających 600 V i poniżej zalecane jest minimalne zabezpieczenie generatora przed przeciążeniem, wymagane przez odpowiednie

przepisy elektryczne. Zwykle oznacza to, że generatora powinien być wyposażony w urządzenia nadprądowe fazy, takie, jak bezpieczniki lub automatyczne odłączniki obwodu, lub powinny być zabezpieczone przez konstrukcję wbudowaną, taką, jak PowerCommand AmpSentry. W niektórych zastosowaniach przepisy elektryczne mogą również wymagać sygnalizacji niesprawności uziemienia.





**Rysunek 5-9.** Wpływ niesprawności na 100-ampereowy wyłącznik obwodu z charakterystyką wyzwalania „B”.

*Automatyczny odłącznik obwodu generatora:* tradycyjną praktyką dla generatorów bez naturalnego zabezpieczenia nadprądowego jest zapewnienie kompaktowego automatycznego odłącznika obwodu (MCCB), albo termiczno-magnetycznego, albo półprzewodnikowego, dobranego rozmiarem do zabezpieczenia przewodów zasilania generatora, w celu spełnienia wymagań przepisów elektrycznych pod względem zabezpieczenia przed przeciążeniem generatora. Jednakże, typowy termiczno-magnetyczny odłącznik MCCB dostosowany do przesyłania prądu znamionowego nie zapewnia skutecznego zabezpieczenia generatora. Generalnie, jeżeli do zabezpieczenia generatora są zastosowane automatyczne odłączniki obwodu, do koordynacji wykresu zabezpieczenia odłącznika wewnątrz wykresu termicznej wydajności generatora będzie wymagany półprzewodnikowy odłącznik obwodu z pełnymi regulacjami

(długotrwałą, krótkotrwałą i chwilową, LSI). Gdy generator jest zabezpieczony przez konstrukcję wbudowaną, jak generatory z PowerCommand Amp Sentry, zastosowanie odłącznika głównego linii dla zabezpieczenia przed przeciążeniem generatora nie jest wymagane.

Są inne powody do rozważenia zastosowania automatycznego odłącznika obwodu; objęcia zabezpieczeniem przewodów zasilania generatora, oraz posiadania środków odłączania. W celu poprawienia całkowitej niezawodności systemu, środki odłączania mogą być zapewnione przez kompaktowy przełącznik lub inne środki nie automatyczne.

Konstrukcyjne naturalne, niesprawności zrównoważone: generator samo-wzbudny (bocznikowy) może być uważany za zabezpieczony naturalnie przez konstrukcję, ponieważ nie jest on zdolny do utrzymania prądu zwarcia dla niesprawności trójfazowych dostatecznie długo dla wystąpienia poważnego uszkodzenia generatora. Uwzględniając potrzebę wysokiej niezawodności zasilania obciążeń krytycznych, stosowanie wzbudzania bocznikowego jest czasami uważane za wystarczające dla spełnienia minimalnego zabezpieczenia generatora wymaganego przez przepisy elektryczne i powoduje, że nadprądowe urządzenia zabezpieczające generatora (bezpieczniki lub automatyczne odłączniki obwodu) nie są konieczne.

*Uwaga: W Ameryce, przepisy elektryczne pozwalają, aby przewody zasilania generatora, dobrane rozmiarem dla 115 procent prądu znamionowego generatora, przebiegały na krótkich odległościach bez zabezpieczenia nadprądowego przewodów.*

Generator z wzbudaniem PMG, ale bez PowerCommand, jest zdolny do wytrzymywania prądu zwarcia z niezrównoważonej lub zrównoważonej niesprawności. Jeżeli urządzenia zabezpieczenia nadprądowego na wyjściu z generatora nie skasują **zrównoważonej** trójfazowej niesprawności zwarcia, system wzbudzania zawiera funkcję zatrzymywania przy nadmiernym wzbudzeniu, która będzie służyć jako „rezerwa”. Ta funkcja przekroczenia wzbudzania wyłączy regulator napięcia po około 8 – 10 sekundach. To zabezpieczenie rezerwowe nadaje się tylko dla niesprawności trójfazowych i może nie zabezpieczyć generatora przed uszkodzeniem z powodu niesprawności jednej fazy.

Stewowania PowerCommand i AmpSentry: PowerCommand wykorzystuje mikrokontroler (mikroprocesor) z czujnikami prądu trzech faz do ciągłego monitorowania prądu w każdej fazie. W warunkach niesprawności jedno- lub trójfazowej, prąd jest regulowany do około 300 procent zawartości znamionowej generatora. Mikrokontroler całkuje prąd w funkcji czasu i porównuje wynik z zapisanym wykresem termicznego uszkodzenia generatora. Przed osiągnięciem krzywej uszkodzenia, mikrokontroler zabezpiecza generator poprzez wyłączenie wzbudzania oraz silnika. Rysunek 5-10 pokazuje krzywą<sup>1</sup> zabezpieczenia AmpSentry jako dostępną do wykorzystania w badaniach zabezpieczania i koordynacji. Krzywa uszkodzenia termicznego alternatora jest pokazana po prawej stronie krzywej zabezpieczenia

<sup>1</sup> Wykres zabezpieczenia PowerCommand AmpSentry jest dostępny u przedstawicieli Cummins Power Generation, formularz zamówienia R-1053.

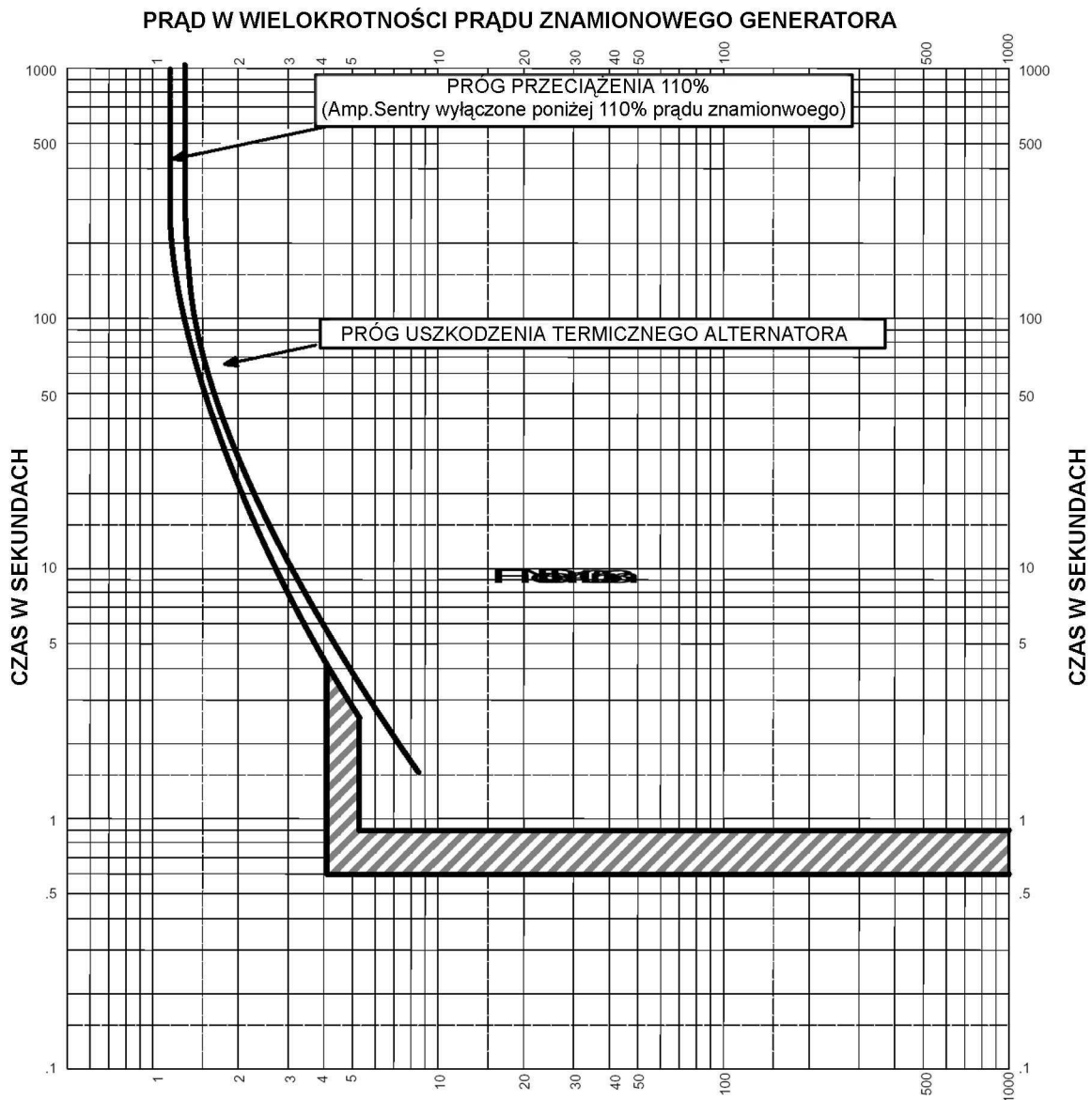
AmpSentry. Prąd przeciążenia 110 procent znamionowego przez 60 sekund powoduje alarm przeciążenia i zadziałanie styków obniżania obciążenia. Przeciążenie powyżej 110% spowoduje reakcję zabezpieczenia w czasie określonym przez krzywą zabezpieczania w funkcji czasu. Te regulacje zapewniają zabezpieczenie generatora w pełnym zakresie czasu i prądu, od chwilowych zwarć, zarówno jednej fazy, jak i trzech faz, do przeciążeń o czasie trwania kilku sekund. Pod względem selektywnej koordynacji, ważną zaletą AmpSentry w porównaniu z automatycznym odłącznikiem obwodu jest to, że Amp Sentry zawiera naturalną zwłokę około 0,6 sekund dla wszystkich prądów niesprawności powyżej 4 na jednostkę. To opóźnienie umożliwia natychmiastową reakcję kasowania niesprawności przez odłączniki obwodu na wyjściu bez wyłączenia generatora, zapewniając selektywną koordynację z pierwszym poziomem odłączników wyjściowych.

Sygnalizacja/ochrona przed niesprawnościami uziemienia: W Ameryce, przepisy elektryczne wymagają sygnalizowania niesprawności uziemienia generatorów awaryjnych i czuwających (bezpieczeństwo życia), które są trwale uziemione, pracujące z napięciem wyższym, niż 150 V względem ziemi, i z głównymi urządzeniami zabezpieczenia nadprądowego klasy 1000 A lub więcej. Jeżeli trzeba, w standardowych zastosowaniach awaryjnych/czuwających, standardową praktyką będzie zapewnienie tylko sygnalizacji blokującej niesprawności uziemienia, a nie zadziałanie automatycznego odłącznika obwodu. Chociaż może być zapewnione zabezpieczenie urządzeń przed niesprawnością uziemienia, które rozłącza główny automatyczny odłącznik obwodu generatora, nie jest on wymagany przez przepisy, ani zalecany dla generatorów awaryjnych (zabezpieczenia życia).

Prawidłowe działanie czujników niesprawności uziemienia w agregatach prądowców zwykle wymaga, aby generator miał oddzielne wyprowadzenia i wykorzystywał 4-biegunowy (przełączane zero) przełącznik przesyłu<sup>2</sup>.

Zasilanie główne i bezprzerwowe, 600 V i poniżej: Dla zastosowań zasilania głównego i bezprzerwowego 600 V i poniżej przepisy elektryczne Ameryki Północnej wymagają zabezpieczenia nadprądowego generatora. Zwykle oznacza to, że generator powinien być wyposażony w urządzenia zabezpieczenia nadprądowego fazy, takie, jak bezpieczniki lub automatyczne odłączniki obwodu, lub powinny być zabezpieczone przez samą konstrukcję.

<sup>2</sup> Patrz publikacja T-016, praca równoległa i łącznica równoległa, Cummins Power Generation.



**Rysunek 5-10.** Wykres charakterystyki czasu w funkcji prądu PowerCommand® Control AmpSentry™ plus Wykres Uszkodzenia alternatora. (Uwaga: Ten wykres stosuje się do wszystkich agregatów prądotwórczych Cummins Power Generation).

Zespoły wyposażone w sterowania PowerCommand z AmpSentry zapewniają to zabezpieczenie. Jeżeli wymagany jest wyższy poziom zabezpieczenia, PowerCommand zapewnia również następujące zabezpieczenia wszystkich faz:

- Zwarcie
- Zbyt wysokie napięcie (Przebieżenie)
- Zbyt niskie napięcie
- Utrata pola
- Odwrócenie mocy

Jak podano poprzednio, sterowanie PowerCommand z AmpSentry zapewnia naturalnie z konstrukcji zabezpieczenie nadprądowe i przed utratą pola.

#### Średnie napięcie, wszystkie zastosowania

W zastosowaniach średniego napięcia (601 – 15.000 V), standardową praktyką zapewnienia zabezpieczenia generatora nie będzie zwykle kompromis niezawodności zasilania, ponieważ osiągalna jest selektywność urządzeń.

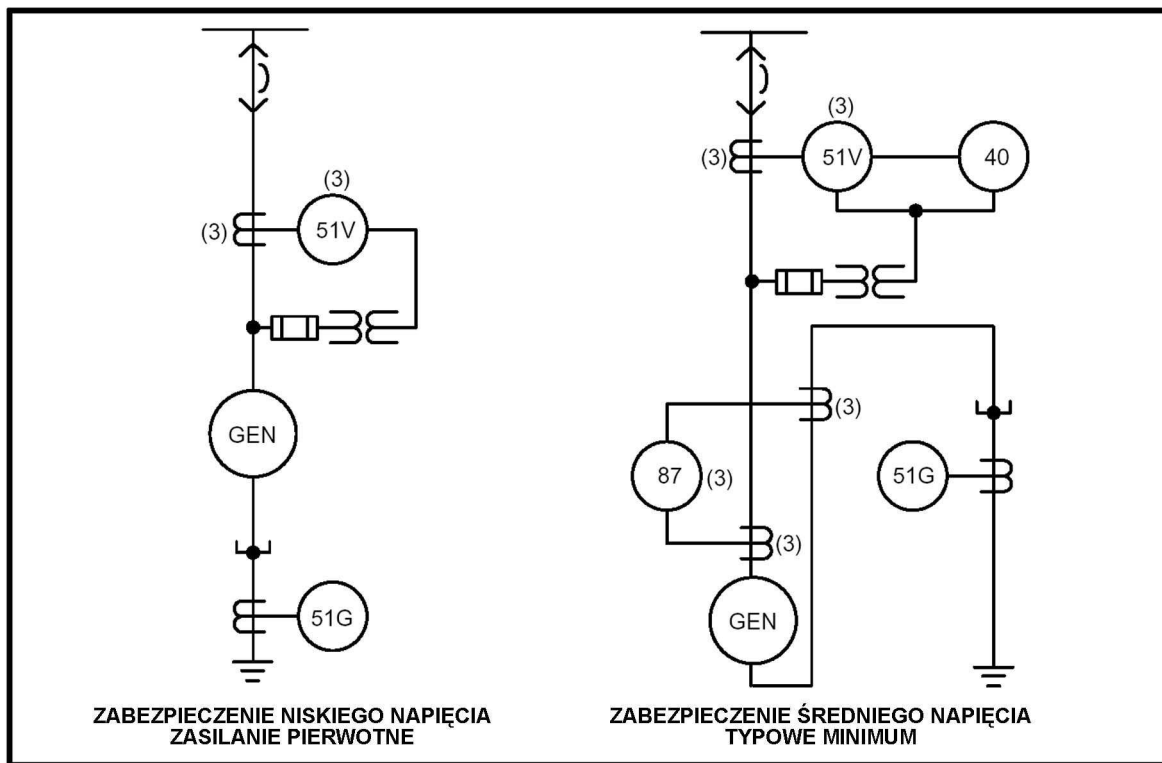
Koszt inwestowania w urządzenia również gwarantuje wyższy poziom zabezpieczenia. Podstawowe minimalne zabezpieczenie obejmuje (patrz **Rysunek 5-11**):

- Rezerwowe wykrywanie nadprądowe trzech faz (51V)
- Jeden rezerwowy przekaźnik czasowo-nadprądowy uziemienia (51G)
- Wykrywanie utraty pola ((40)
- Wykrywanie chwilowego przekroczenia prądu w trzech fazach dla zabezpieczenia różnicowego (87).

*Dodatkowe informacje o zabezpieczeniu nadprądowym tych generatorów – patrz Norma ANSI/IEEE Nr 242.*

Zabezpieczenie przeciwprzepięciowe generatorów średniego napięcia: Należy zwrócić uwagę na zabezpieczenie generatorów średniego napięcia przed przepięciami powodowanymi przez wyładowania atmosferyczne w liniach rozdzielczych oraz przez operacje przełączania. Minimalne zabezpieczenie – obejmuje:

- Wyłączniki linii na liniach rozprawdzających
- Wyłączniki przepięciowe na przyłączach generatora
- Ścisłe przestrzeganie dobrych praktyk uziemienia.



**Rysunek 5-11.** Typowy schemat zabezpieczeń.