



Jakość energii

Wykorzystanie zespołów prądotwórczych do tymczasowego zasilania elektroenergetycznych sieci nn

mgr inż. Julian Wiatr, mgr inż. Marcin Orzechowski

Zasady obliczania mocy zapotrzebowanej w budynkach mieszkalnych

Dla mieszkań w budynkach wielorodzinnych lub budynków jednorodzinnych o podstawowym wyposażeniu zgodnie z wymaganiami **N SEP-E 002 „Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Instalacje elektryczne w budynkach mieszkalnych. Podstawy planowania.”** należy przyjmować wartości mocy zapotrzebowanej P_{M1} nie niższe niż:

- 12,5 kVA, dla mieszkań posiadających zaopatrzenie w ciepłą wodę z zewnętrznej centralnej sieci grzewczej,
- 30 kVA, dla mieszkań nie posiadających zaopatrzenia w ciepłą wodę z zewnętrznej sieci grzewczej,
- 7 kVA w przypadku instalacji modernizowanych.

Oprócz mocy zapotrzebowanej przez mieszkania, występuje zapotrzebowanie mocy przez odbiorniki administracyjne (do tych odbiorników należy również zaliczyć urządzenia poż. instalowane w budynku).

Moc zapotrzebowana przez wielorodzinny budynek mieszkalny, zgodnie z **N SEP-E-002 „Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Instalacje elektryczne w budynkach mieszkalnych. Podstawy planowania.”**, należy obliczyć ze wzoru:

$$P_z = k_j * n * P_{M1} + P_A \quad (1)$$

gdzie:

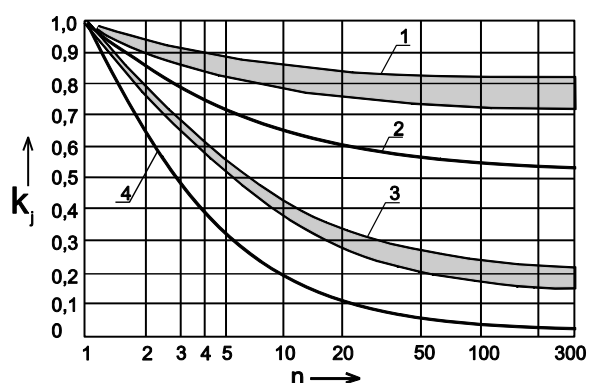
P_{M1} - moc zapotrzebowana przez pojedyncze mieszkanie, w [kW],

n – liczba mieszkań zasilanych z jednego WLZ-tu, w [-],

k_j – współczynnik jednoczesności określony w **N SEP-E 002** lub odczytany z rysunku 1 w [-],

P_A – moc zapotrzebowana przez odbiorniki administracyjne, ustalona w uzgodnieniu z inwestorem (administratorem budynku), w [kW].

W praktyce nie zawsze spełnienie wymagań normy jest możliwe. Norma dotyczy budynków wznoszonych po 2002 roku. Jej zalecenia są stosowane w praktyce projektowej pomimo tego, że nie jest normą przeznaczoną do obowiązkowego stosowania. Rozbieżności w mocach przyjmowanych w praktyce wynikają głównie z możliwości technicznych eksploatowanych sieci elektroenergetycznych. W przypadku sieci znajdujących się w eksploatacji najbardziej wiarygodne wyniki dają pomiary obciążeń, które są wykonywane przez spółki dystrybucyjne.



Rysunek 1: Wartości współczynnika jednoczesności k_j dla wybranych grup odbiorników energii elektrycznej w budynkach mieszkalnych, w zależności od liczby mieszkań wg przepisów niemieckich [H. Markiewicz; A. Klajn - Instalacje elektryczne w budynkach mieszkalnych. Podstawy planowania i obliczeń – podręczniki INPE dla elektryków – zeszyt 7 – 2005 r.]

1 – ogrzewanie akumulacyjne, 2 - ogrzewanie bezpośrednie, 3 – odbiorniki ogólnego przeznaczenia, 4 - przepływowe ogrzewacze wody

W warunkach awaryjnych moce zapotrzebowane muszą zostać zmniejszone do niezbędnych potrzeb społecznych pozwalających na korzystanie z oświetlenia, lodówki oraz telewizora lub radia. Skutkuje to zmniejszeniem mocy szczytowej możliwej do pobrania przez pojedyncze mieszkanie lub budynek jednorodzinny do wartości **(2-3) kW**.

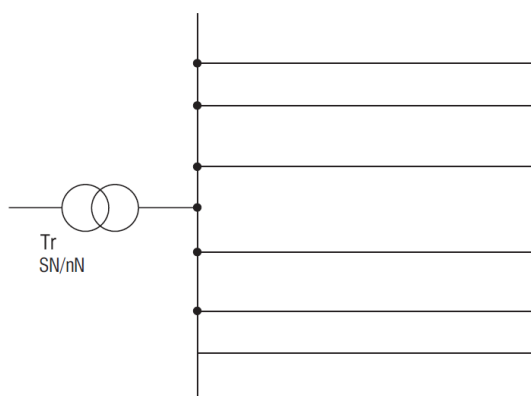
Przy takim założeniu, należy korzystając z charakterystyki odzwierciedlającej współczynnik jednoczesności funkcji liczby odbiorców przedstawionej na rysunku 1 dla odbiorników ogólnego przeznaczenia i wyznaczyć wartość mocy zapotrzebowanej dla sieci elektroenergetycznej objętej tymczasowym zasilaniem realizowanym z wykorzystaniem zespołu prądotwórczego.

Układy sieci elektroenergetycznych nn, zasilające odbiory komunalne

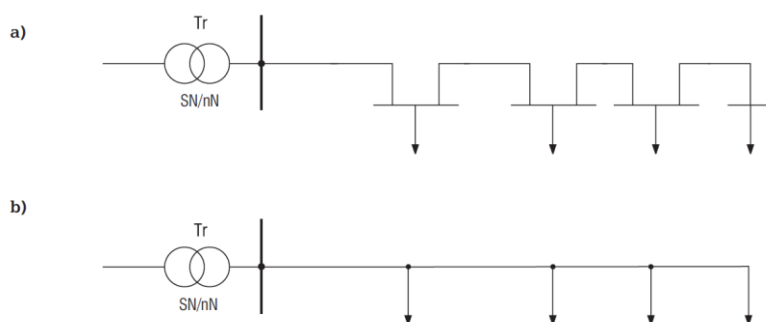
Stosowane w praktyce układy sieci elektroenergetycznych nn umożliwiają przyłączenie generatora zespołu prądotwórczego do szyn rozdzielnic niskiego napięcia stacji transformatorowej. Układ współpracy zespołu prądotwórczego z siecią elektroenergetyczną musi uniemożliwiać:

- równoległą pracę zespołu prądotwórczego z systemem elektroenergetycznym (SEE),
- wsteczne podanie napięcia z generatora zespołu prądotwórczego do SEE.

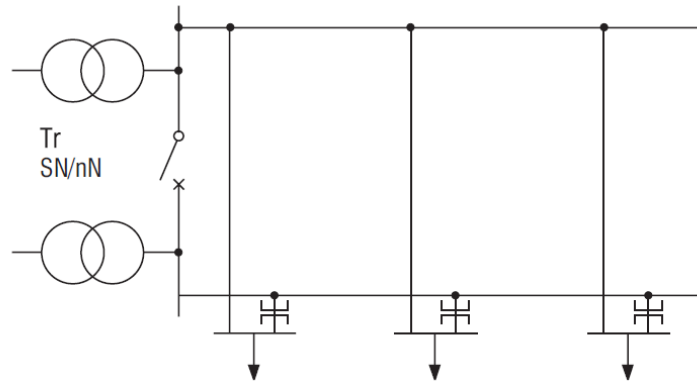
Na rysunkach 2 – 4, zostały przedstawione schematy sieci elektroenergetycznych nn, stosowane w praktyce.



Rysunek 2: Schemat sieci promieniowej

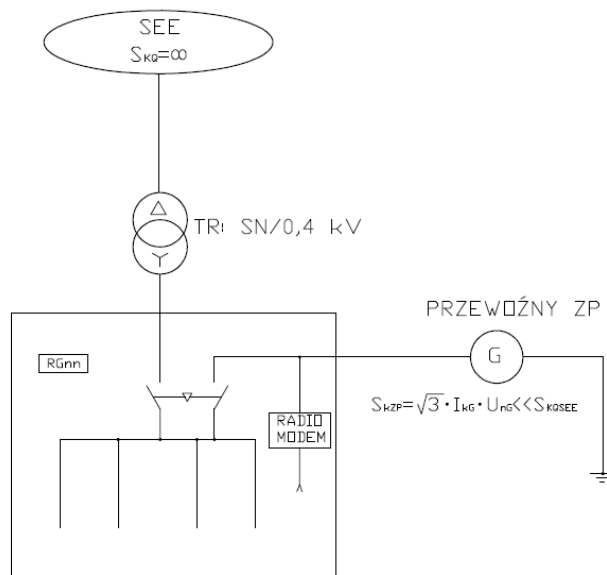


Rysunek 3: Schemat sieci magistralnej: a) kablowej; b) napowietrznej

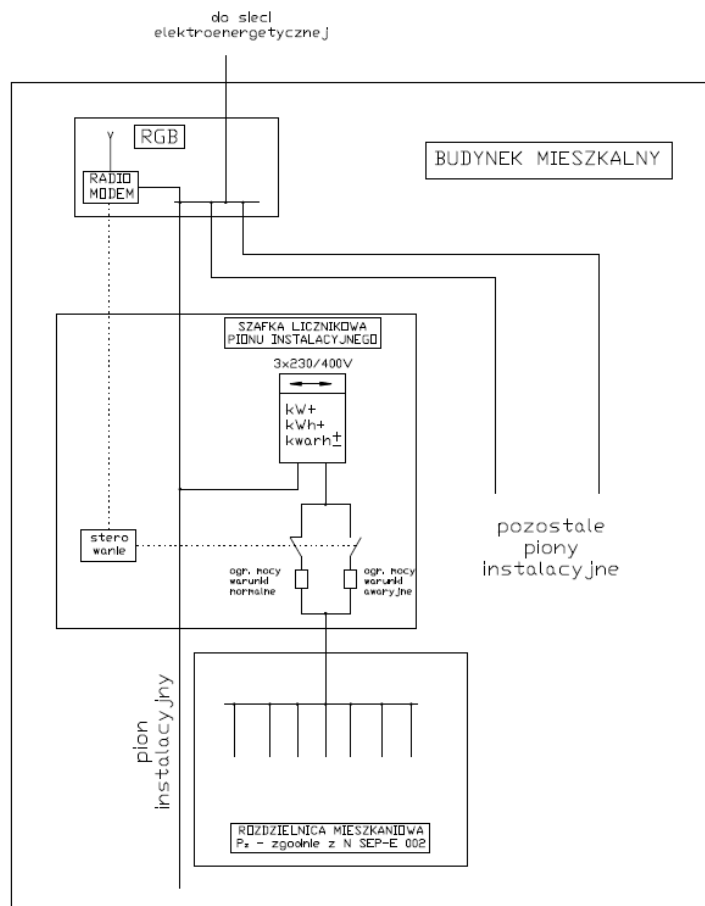


Rysunek 4: Schemat sieci dwupromieniowej

Sposób przyłączenia zespołu prądowórczego przedstawia rysunek 5. W takim przypadku instalacje elektryczne przyłączonych budynków muszą zostać przygotowane do zasilania tymczasowego. W tym celu w instalacjach elektrycznych budynków należy wykonać układ automatyki umożliwiającej przełączenie zasilania poszczególnych odbiorców na tor zasilania tymczasowego, w którym należy zainstalować aparat ograniczający moc do wartości minimum socjalnego. Przykładowe rozwiązanie układu zasilania odbiorców umożliwiające automatyczne przejście na warunki zasilania tymczasowego przedstawia rysunek 6.



Rysunek 5: sposób przyłączenia zespołu prądowórczego do tymczasowego zasilania sieci elektroenergetycznej nn



Rysunek 6: Przykład układu sterowania umożliwiającego automatyczne przełączenie odbiorników mieszkaniowych na warunki zasilania tymczasowego

Generator zespołu prądowórczego należy uziemić. Można do tego celu wykorzystać istniejące uziemienie transformatora, pod warunkiem spełniania przez nie warunku $R \leq 5 \Omega$.

Przyłączenie zespołu prądowórczego należy wykonać w sposób gwarantujący niemożliwość podania napięcia z dwóch źródeł jednocześnie oraz podania napięcia z generatora zespołu prądowórczego do Systemu Elektroenergetycznego (SEE).

Dobór mocy zespołu prądowórczego

Bardzo istotnym problemem jest dobór mocy zespołu prądowórczego tak by zagwarantować pokrycie mocy zapotrzebowanej przez zasilane odbiorniki.

Za podstawę doboru mocy zespołu prądowórczego należy przyjąć wartość mocy czynnej zapotrzebowanej oraz mocy bierniej zapotrzebowanej przez zasilane odbiorniki.

Moc czynną zapotrzebowaną należy wyznaczyć z następującego wzoru:

$$P_Z = \sum_{i=1}^n k_j * P_i \quad (2)$$

gdzie:

P_z - moc czynna zapotrzebowana czynna, w [kW]

k_j - współczynnik jednoczesności, w [-]

P_i - moc czynna i-tego odbiornika objętego systemem zasilania awaryjnego, w [kW].

Kolejnym krokiem jest obliczenie mocy bierniej zapotrzebowanej, którą należy wyznaczyć w następujący sposób:

$$Q_z = \sum_{i=1}^n k_j * \operatorname{tg} \varphi_i * P_i = \sum_{i=1}^n k_j * \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \varphi_i} - 1} * P_i \quad (3)$$

gdzie:

Q_z - moc bierna zapotrzebowana, w [kvar]

$\cos \varphi_i$ - współczynnik mocy – tego odbiornika objętego systemem zasilania gwarantowanego, w [-].

Na podstawie obliczonej wartości mocy czynnej zapotrzebowanej oraz mocy bierniej zapotrzebowanej należy obliczyć współczynnik mocy $\cos \varphi_z$:

$$\cos \varphi_z = \frac{P_z}{\sqrt{P_z^2 + Q_z^2}} \quad (4)$$

gdzie:

$\cos \varphi_z$ - współczynnik mocy obliczony na podstawie mocy czynnej zapotrzebowanej oraz mocy bierniej zapotrzebowanej, w [-].

Kolejnym krokiem jest obliczenie minimalnej mocy czynnej jaką musi dysponować generator zespołu prądotwórczego.

Wyznaczenie mocy pozornej na podstawie mocy czynnej zapotrzebowanej oraz mocy bierniej zapotrzebowanej ze wzoru:

$$S_G \geq \sqrt{P_z^2 + Q_z^2} \quad (5)$$

może prowadzić do błędnych wyników.

Względne obciążenie generatora mocą czynną można określić współczynnikiem wykorzystania, który należy obliczyć z poniższego wzoru:

$$p = \frac{\cos \varphi_z}{\cos \varphi_{nG}} \quad (6)$$

Wymagana minimalna moc czynna zespołu prądotwórczego musi spełniać następującą nierówność:

$$P_{G \min} \geq \frac{P_z}{p} \quad (7)$$

Obliczony ze wzoru (6) współczynnik wykorzystania p , należy podstawić do wzoru (7). W przypadku gdy $p \geq 1$, do wzoru (7) należy wstawić wartość 1. Wartość współczynnika mocy $\cos \varphi_{nG}$ należy przyjąć zgodnie z DTR zespołu prądotwórczego.

W przypadku braku informacji w tym zakresie można przyjmować $\cos \varphi_{nG} = 0,8$. Moc pozorna zespołu prądotwórczego musi spełniać następującą nierówność:

$$S_{nG} \geq \frac{P_{G\min}}{\cos \varphi_z} \quad (8)$$

gdzie:

$P_{G\min}$ - minimalna mocy czynna jaką musi pokryć generator zespołu prądotwórczego, w [kW].

Mała wartość współczynnika mocy $\cos \varphi_z$ powoduje zmniejszenie siły elektromotorycznej generatora wskutek rozmagnesowującego działania składowej biernej prądu obciążenia.

Jeżeli generator oddaje większą moc bierną niż znamionowa, ze względu na konieczność utrzymania napięcia znamionowego i nieprzeciążanie wirnika należy zmniejszyć moc czynną obciążenia. W dopuszczalnych dla prądów wirnika granicach, automatyka zespołu prądotwórczego reguluje wartość prądu wzbudzenia utrzymując na stałym poziomie wartość napięcia wyjściowego generatora.

Zatem wytwarzanie energii elektrycznej przez generator zespołu prądotwórczego przy współczynniku mocy $\cos \varphi_z < \cos \varphi_{nG}$ skutkuje koniecznością zwiększenia jego mocy do wartości umożliwiającej pełne pokrycie mocy czynnej zapotrzebowanej P_z oraz mocy biernej zapotrzebowanej Q_z .

Wprowadzanie układów kompensacji mocy biernej (szczególnie indukcyjnej) jest niewskazane ze względu na charakter pracy źródła zasilającego. W konsekwencji może doprowadzić do przedwczesnego zniszczenia kondensatorów.

Ponieważ projektowane zasilanie tymczasowe dotyczy istniejących sieci nn, istnieje możliwość wykonania pomiarów po wymuszeniu przejścia przez przełączane odbiory na warunki zasilania tymczasowego. Pozwoli to na bardzo precyzyjne oszacowanie mocy zespołu prądotwórczego niezbędnego do zasilania tymczasowego określonej sieci elektroenergetycznej nn. Uzyskane w wyniku pomiarów wartości mocy czynnej oraz mocy biernej i współczynnika mocy posłużą wówczas do obliczenia wymaganej mocy zespołu z wykorzystaniem wzorów (4) – (8).

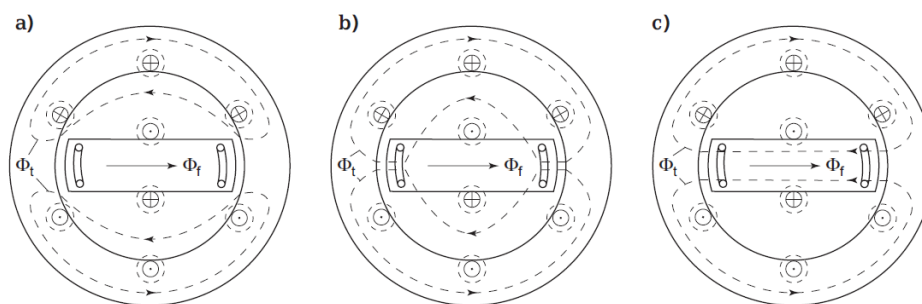
Ochrona przeciwporażeniowa w warunkach zasilania z generatora zespołu prądotwórczego

Oprócz problemów z mocą, która może zostać pobrana w czasie funkcjonowania układu zasilania tymczasowego, pojawiają się problemy z zachowaniem skutecznej ochrony przeciwporażeniowej zgodnie z wymaganiami normy PN HD 60364-4-41:2009 Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Część 4-41: ochrona przed porażeniem elektrycznym.

Problemy te wynikają z fizyki pracy generatora zespołu prądotwórczego, w którym podczas zwarcia występuje zmienność drogi strumieni magnetycznych, skutkująca zmiennością parametrów obwodu zwarcowego w znacznych granicach.

Zespół prądotwórczy w stosunku do systemu elektroenergetycznego jest źródłem „miękkim”, w którym impedancja obwodu zwarcowego ulega szybkim zmianą w czasie zwarcia (przyjmuje się, że system elektroenergetyczny charakteryzuje się stałą impedancją obwodu zwarcowego z uwagi na dużą wartość mocy zwarcowej).

W chwili wystąpienia zwarcia ulega zmianie rozptył strumieni magnetycznych w generatorze zespołu prądotwórczego. Rozptyły strumieni w generatorze podczas zwarcia przedstawia rysunek 7.



Rysunek 7: Przebieg wypychanego poza wirnik strumienia stojana: a) stan podprzejsciowy, b) stan przejściowy, c) stan ustalony [2]

W początkowej fazie zwarcia nazywanej stanem podprzejsciowym, wskutek działania klatki tłumiącej, strumień główny wytwarzany przez prądy płynące w uzwojeniu stojana jest wypychany poza wirnik (rys. 7a). W stanie tym reaktancja generatora charakteryzuje się małą wartością, wynoszącą przeciętnie (10 – 15)% wartości reaktancji generatora w stanie statycznym.

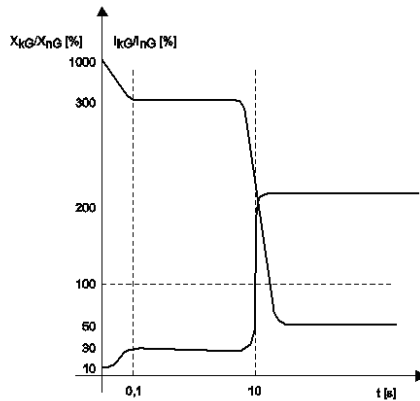
Stan ten trwa bardzo krótko ze względu na małą wartość elektromagnetycznej stałej czasowej T , wynoszącej dla generatorów nn, średnio 0,01 s.

Działanie klatki tłumiącej ze względu na małą wartość jej rezystancji szybko ustaje, co skutkuje powolnym wchodzeniem strumienia głównego w wirnik. Stan ten nazywany stanem przejściowy charakteryzuje wzrost reaktancji generatora, która dla generatorów nN wynosi średnio (30- 40)% wartości reaktancji znamionowej generatora.

Generator w krótkim czasie przechodzi w stan ustalony zwarcia, co objawia się dalszym wzrostem reaktancji obwodu zwarciego. W stanie ustalonym zwarcia strumień główny oraz strumień wzbudzenia zamykają się przez wirnik generatora. Ponieważ kierunki tych strumieni są przeciwne, strumień wypadkowy ulega silnemu zmniejszeniu. Zjawisko to prowadzi do gwałtownego wzrostu reaktancji generatora, która dla generatorów nn wynosi (200 – 300)% wartości reaktancji statycznej generatora.

W zespołach prądowców konstruowanych obecnie, instalowany jest regulator prądu wzbudzenia wyposażony w układ forsowania, który pozwala podczas zwarcia na utrzymanie określonej wartości reaktancji generatora.

Wartość ta charakteryzowana jest krotnością prądu znamionowego generatora, utrzymywaną przez czas nie dłuższy niż 10 s. Ograniczenie czasowe utrzymywania określonej wartości reaktancji generatora podczas zwarcia wynika z warunku wytrzymałości izolacji uzwojeń generatora. Wydłużenie tego czasu może skutkować zniszczeniem izolacji uzwojeń generatora. Na rysunku 8 przedstawiono uproszczone charakterystyki zmienności reaktancji zwarciego w generatorze nowoczesnego zespołu prądowcowego oraz zmienności prądu zwarciego na jego zaciskach. Parametry obwodu zwarciego ulegają szybkiej zmianą, co powoduje trudności w uzyskaniu skutecznej ochrony przeciwporażeniowej w odległej instalacji odbiorczej.



Rysunek 8: Unormowane charakterystyki: a) zmienności reaktancji zwarciowej generatora

$\frac{X_{k1G}}{X_{nG}} * 100\% = f(T_k)$; b) zmienności prądu zwarciowego generatora, przy zwarciu na jego zaciskach

$$\frac{I_{k1G}}{I_{nG}} * 100\% = f(T_k) \quad [2]$$

gdzie:

X_{nG} – znamionowa reaktancja generatora (wartość w stanie statycznym), w $[\Omega]$

X_{k1G} – reaktancja generatora dla zwarć jednofazowych, $[\Omega]$

I_{nG} – prąd znamionowy generatora, w $[A]$

I_{k1G} – prąd zwarcia jednofazowego dla zwarć na zaciskach generatora, w $[A]$

T_k – czas trwania zwarcia , w $[s]$

W nowoczesnych zespołach prądowców, producent zapewnia (wskutek działania układów automatyki) utrzymanie prądu zwarciowego na zaciskach generatora o wartości $3 \cdot I_n$ przez 10 s (dłuższe utrzymywanie takiego stanu grozi zniszczeniem izolacji uzwojeń). Dzięki czemu do obliczeń skuteczności samoczynnego wyłączenia można przyjmować wartość reaktancji zwarciowej generatora X_{k1G} (na jego zaciskach) wyliczoną ze wzoru (11):

$$X_{k1G} = 0,33 * X_{nG} = 0,33 * \frac{U_{nG}^2}{S_{nG}} \quad (11)$$

gdzie:

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

S_{nG} – moc znamionowa generatora zespołu prądowców, w $[MVA]$.

Dla porównania tych wartości w tabeli 1 zostały przedstawione impedancje wybranych transformatorów oraz generatorów.

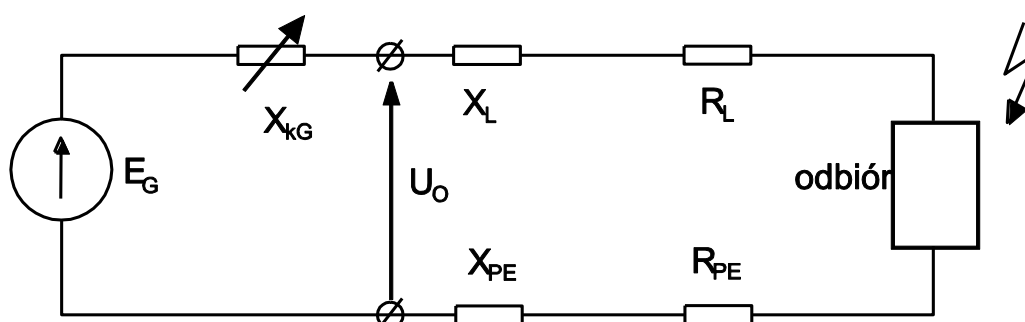
Tabela 1: Zestawienie impedancji transformatora i generatora o tej samej mocy [2]

Moc transformatora lub generatora Zespołu prądowórczego, w [kVA]	Impedancja transformatora na jego zaciskach, w [Ω]	Reaktancja generatora na jego zaciskach przyjmowana dla obliczania skuteczności samoczynnego wyłączenia (rezystancja uzwojeń stanowi zaledwie $0,03 \cdot X_{nG}$ i może zostać pominięta w obliczeniach praktycznych), w [Ω]
100	0,072	0,528
160	0,045	0,330
250	0,028	0,211
400	0,018	0,132
500	0,014	0,106

Porównując dane przedstawione w tabeli 1 widać jak duże rozbieżności występują w wartościach impedancji zwarciovych obydwu źródeł ($Z_{k1G}/Z_{kT} \approx 7,33$).

W przypadku, gdy zespół prądowórczy jest oddalony o kilkanaście metrów od zasilanej rozdzielnicy, wartość impedancji obwodu zwarciovego w dalszym ciągu rośnie i powoduje dalsze zmniejszanie się prądów zwarciovych. Znaczna wartość reaktancji obwodu zwarciovego zasilanego przez generator zespołu prądowórczego może być powodem nieskutecznej ochrony przeciwporażeniowej w instalacji, w której zastosowano samoczynne wyłączenie.

Obwód zwarciovyy dla potrzeb ochrony przeciwporażeniowej przedstawia rysunek 9.



Rysunek 9: Schemat jednofazowego obwodu zwarcia w instalacji zasilającej z zespołu prądowórczego [2]

Odmienność warunków zasilania z zespołu prądowórczego w odniesieniu do Systemu Elektroenergetycznego

System Elektroenergetyczny (SEE) jest zasilany przez kilkadziesiąt generatorów przyłączonych za pośrednictwem transformatorów blokowych do sieci elektroenergetycznych WN pracujących w systemie zamkniętym. Moc zwarciova SEE w uproszczeniu jest określana jako nieskończona, podczas gdy w odniesieniu do zespołu prądowórczego posiada ona wartość ograniczoną (patrz rysunek 2). Wartość jej w różnych punktach sieci przyłączonych do SEE posiada wartości skończone ale wartości ich są dość duże. Przeciętnie wartość mocy zwarciovej odniesiona do strony SN w GPZ, kształtuje się na poziomie (150 –250) MVA. Zespół prądowórczy po przejęciu zasilania stanowi jedyne źródło zasilania odbiorników objętych systemem zasilania awaryjnego. Dysponowana przez jego generator moc zwarciova zależy od mocy generatora i posiada wartość skończoną. Dla przykładu dla wybranych generatorów niskiego napięcia, moc zwarciova została przedstawiona w tabeli 2.

Tabela 2: Moc zwarciova na zaciskach wybranych generatorów

Moc zespołu prądowórczego [kVA]	Moc zwarciova na zaciskach generatora [MVA]
100	1,0
200	2,0
500	5,0
1000	10,0
2000	20,0
6000	60,0

Zasady projektowania ochrony przeciwporażeniowej

Z pośród trzech układów sieci: TT, IT i TN (TN-C; TN-C-S i TN-S), przy zasilaniu obiektów budowlanych najbardziej nadaje się układ TN-S lub TN-C-S. Układ IT może być stosowany tylko w ograniczonym zakresie po spełnieniu określonych warunków.

Warunek samoczynnego wyłączenia w sieci TN, należy uznać za spełniony jeżeli:

$$Z_S \leq \frac{U_o}{I_a} \quad (11)$$

$$Z_S = \sqrt{(X_{k1G} + X_L)^2 + (R_{kG} + R_L)^2} \quad (12)$$

W praktyce korzysta się z innej postaci tego wzoru:

$$I_{k1} = \frac{0,8 * U_o}{Z_S} \quad (13)$$

w którym został uwzględniony wzrost rezystancji przewodów pętli zwarciovej wynikający z prawa Wiedemanna-Franza oraz uwzględniający trudne do analitycznego uwzględnienia rezystancje łączy występujących w obwodzie zwarciowym.

gdzie:

Z_S – impedancja pętli zwarciovej obejmującej źródło zasilania, przewód roboczy, aż do punktu zwarcia i przewód ochronny między punktem zwarcia a źródłem, w $[\Omega]$

I_a – prąd powodujący samoczynne zadziałanie urządzenia wyłączającego, w czasie zależnym od napięcia znamionowego U_o podanego w tabeli 3.

R_{kG} - rezystancja uzwojeń generatora ($R_{kG} = 0,03 \frac{U_{nG}^2}{S_{nG}}$), w $[\Omega]$

X_{k1G} – reaktancja generatora dla zwarć jednofazowych, (wg wzoru 11) w $[\Omega]$

R_L – rezystancja kabla zasilającego oraz przewodów instalacji odbiorczej, w $[\Omega]$

X_L – reaktancja kabla zasilającego oraz przewodów instalacji odbiorczej, w $[\Omega]$

U_o – napięcie pomiędzy przewodem fazowym a uziemionym przewodem ochronnym (PE) lub ochronno-neutralnym (PEN), w $[V]$

Tabela 3: Maksymalne czasy wyłączenia dla normalnych warunków środowiskowych [10]

Układ sieci	50 V < U _o ≤ 120 V		120 V < U _o ≤ 230 V		230 V < U _o ≤ 400 V		U _o > 400 V	
	a.c.	d.c.	a.c.	d.c.	a.c.	d.c.	a.c.	d.c.
TN	0,8	Wyłączenie może być wymagane z innych przyczyn niż ochrona przeciwporażeniowa	0,4	5	0,2	0,4	0,1	0,1
TT	0,3		0,2	0,4	0,07	0,2	0,04	0,1

U_o- nominalne napięcie a.c. lub d.c. przewodu liniowego względem ziemi

Uwagi:

1. Dłuższe czasy wyłączenia mogą być dopuszczone w sieciach rozdzielczych oraz elektrowniach i w sieciach przesyłowych systemów.
2. Krótsze czasy wyłączenia mogą być wymagane dla specjalnych instalacji lub lokalizacji objętych arkuszami normy PN-IEC (HD) 60364 grupy 700.
3. Dla układu sieci IT samoczynne wyłączenie zasilania nie jest zwykle wymagane po pojawieniu się pojedynczego zwarcia z ziemią.
4. Maksymalne czasy wyłączenia podane w tabeli 3 powinny być stosowane do obwodów odbiorczych o prądzie znamionowym nieprzekraczającym 32 A.
5. Jeżeli w układzie sieci TT wyłączenie jest realizowane przez zabezpieczenia nadprądowe, a połączenia wyrównawcze ochronne są przyłączone do części przewodzących obcych znajdujących się w instalacji, to mogą być stosowane maksymalne czasy wyłączenia przewidywane dla układu sieci TN.
6. W układach sieci TN czas wyłączenia nieprzekraczający 5 s jest dopuszczony w obwodach rozdzielczych i w obwodach niewymienionych w pkt. 4.
7. W układach sieci TT czas wyłączenia nieprzekraczający 1 s jest dopuszczony w obwodach rozdzielczych i w obwodach niewymienionych w pkt. 4.
8. Jeżeli samoczynne wyłączenie zasilania nie może być uzyskane we właściwym czasie, to powinny być zastosowane dodatkowe połączenia wyrównawcze ochronne.

W normie **PN-HD 60364-4-481:1994** podane są maksymalne czasy wyłączenia dla warunków środowiskowych o zwiększonym zagrożeniu. Dotyczą one specjalnych instalacji lub lokalizacji objętych arkuszami normy PN-IEC (HD) 60364 grupy 700. Czasy te podano w tabeli 4.

Tabela 4: Maksymalne czasy wyłączenia dla warunków środowiskowych o zwiększonym zagrożeniu w układzie sieci TN [11]

U _o	Dla napięcia dotykowego dopuszczalnego długo-trwale U _L ≤ 25 V ~ ; U _L ≤ 60 V =
V	s
120	0,35
230	0,20
277	0,20
400	0,05
480	0,05
580	0,02

W układach a.c. powinna być zastosowana ochrona uzupełniająca za pomocą urządzeń ochronnych różnicowoprądowych o znamionowym prądzie różnicowym nieprzekraczającym 30 mA:

- w obwodach odbiorczych gniazd wtyczkowych o prądzie znamionowym nieprzekraczającym 20 A, które są przewidziane do powszechnego użytkowania i do obsługi przez osoby niewykwalifikowane, oraz

- w obwodach zasilających urządzenia ruchome o prądzie znamionowym nieprzekraczającym 32 A, używane na zewnątrz.

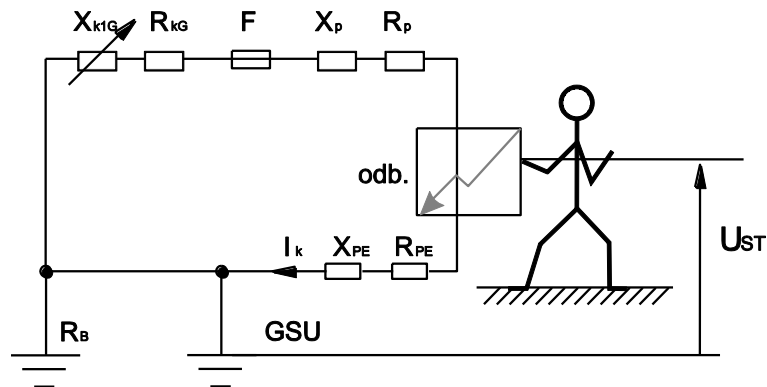
W przypadku gdy spełnienie warunku samoczynnego wyłączenia w instalacji zasilanej z zespołu prądowórczego jest niemożliwe, należy przeprowadzić ocenę skuteczności ochrony przeciwporażeniowej przy uszkodzeniu (przed dotykem pośrednim) przez sprawdzenie, czy w czasie zwarcia doziemnego o prądzie zwarciovym równym I_a wystąpiłoby na częściach przewodzących dostępnych napięcie dotykowe o wartości nie przekraczającej napięcia dotykowego, dopuszczalnego długotrwale w danych warunkach środowiskowych (U_L).

Sprawdzenie to można wykonać przez obliczenie spodziewanych wartości napięć dotykowych, jakie wystąpią na objętych ochroną częściach przewodzących dostępnych

Największa spodziewana wartość napięcia dotykowego U_{ST} będzie równa:

$$U_{ST} = I_a * Z_{PE} \quad (14)$$

Zależność określona wzorem (14) wynika bezpośrednio z rysunku 10.



Rysunek 10: Napięcie dotykowe na obudowie uszkodzonego odbiornika przy zwarciu jednofazowym z ziemią [1]

(I_k – prąd zwarciovowy; R_{kG} – rezystancja uzwojenia generatora; X_{k1G} – reaktancja generatora przyjmowana do obliczania zwarc jednofazowych; R_p – rezystancja przewodów zasilających odbiornik; X_p – reaktancja przewodów zasilających odbiornik; R_{PE} – rezystancja przewodu ochronnego; X_{PE} – reaktancja przewodu ochronnego; F – zabezpieczenie; GSU – główna szyna uziemiająca; R_B – rezystancja uziemienia generatora zespołu prądowórczego)

Zgodnie z wymaganiami określonymi w **PN – HD 60364-4-41** uważa się, że ochrona jest skuteczna, jeżeli napięcie dotykowe U_{ST} jest mniejsze od dopuszczalnego długotrwale w danych warunkach środowiskowych, czyli:

$$U_{ST} = I_a * Z_{PE} \leq U_L \quad (15)$$

gdzie:

I_a – prąd wyłączający głównego urządzenia zabezpieczającego w zespole prądowórczym, w czasie określonym w tabeli 3, w [A]

Z_{PE} – wartość impedancji przewodu ochronnego PE między rozpatrywaną częścią przewodzącą dostępną a głównym połączeniem wyrównawczym, w [Ω]

U_L – dopuszczalna długotrwale w danych warunkach środowiskowych wartość napięcia dotykowego, w [V].

Jeżeli określony wzorem warunek nie może zostać spełniony, to należy wykonać połączenie wyrównawcze dodatkowe (miejscowe), łączące części przewodzące jednocześnie dostępne. Skuteczność wykonanego połączenia wyrównawczego dodatkowego sprawdza się przez obliczenie spodziewanej wartości napięcia dotykowego zgodnie ze wzorem (PN – HD 60364 4-41):

$$U_{ST} = I_a * R_{PE} \leq U_L \quad (16)$$

gdzie:

I_a – prąd wyłączający urządzenia zabezpieczającego (w obwodzie zasilania zespołu prądotwórczego lub urządzenia odbiorczego) w czasie określonym w tabeli 3, w [A]

R_{PE} – wartość rezystancji przewodu połączenia wyrównawczego miejscowego PE pomiędzy częściami przewodzącymi dostępnymi jednocześnie, w [Ω]

U_L – dopuszczalna długotrwale w danych warunkach środowiskowych wartość napięcia dotykowego, w [V].

Wartość rezystancji R_{PE} należy ustalić na drodze obliczeniowej zgodnie ze wzorem:

$$R = \frac{L}{\gamma * S} \quad (17)$$

gdzie:

L – długość przewodu wyrównawczego, w [m]

γ – przewodność elektryczna materiału żyły przewodu wyrównawczego, w [$m / (\Omega * mm^2)$]

S – przekrój żyły przewodu wyrównawczego, w [mm^2].

Prowadzi to przy znanych odległościach części przewodzących jednocześnie dostępnych do określenia następującego warunku dotyczącego minimalnego przekroju przewodu wyrównawczego, przy określonej wartości napięcia dopuszczalnego długotrwale (U_L):

$$S \geq \frac{I_a * L}{U_L * \gamma} \quad (18)$$

Wnioski:

Zespoły prądotwórcze mogą zostać wykorzystane do tymczasowego zasilania sieci elektroenergetycznych nn pod warunkiem przystosowania instalacji elektrycznych w zasilanych budynkach do tymczasowych warunków zasilania. Należy również przystosować układ przyłączenia zespołu prądotwórczego do sieci elektroenergetycznej tak by niemożliwe było dostarczanie energii z SEE oraz generatora zespołu prądotwórczego oraz podanie napięcia z ZP do SEE. W przypadku występowania obiektów użyteczności publicznej przyłączonych do wspólnej sieci, należy zablokować możliwość poboru energii z zespołu prądotwórczego instalowanego doraźnie. Budynki użyteczności publicznej należy wyposażyć w indywidualne zespoły prądotwórcze o mocy dobranej do potrzeb.

W instalacjach elektrycznych objętych układem zasilania tymczasowego należy zapewnić ochronę przeciwporażeniową gwarantującą spełnienie warunków określonych w normie [10] w warunkach normalnych oraz w warunkach zasilania tymczasowego z generatora zespołu prądotwórczego.

Literatura

- [1] J. Wiatr; M. Orzechowski – Poradnik projektanta elektryka – DW Medium 2012
- [2] J. Wiatr – Zespoły prądowórcze w układach zasilania awaryjnego – DW Medium 2008
- [3] R. Kacejko; J. Machowski – Zwarcia w systemach elektroenergetycznych – WNT 2001
- [4] Ochrona przeciwporażeniowa w warunkach polowych – MON Inż. 349/72
- [5] Praca zbiorowa pod redakcją J. Wiatr – Poradnik Projektanta systemów zasilania awaryjnego i gwarantowanego – EATON POWER QUALITY 2008
- [6] J. Wiatr; M. Miegoń – Zasilacze UPS i baterie akumulatorów w układach zasilania gwarantowanego – DW Medium 2008
- [7] L. Danielski; R. Zacirka – Badanie ochrony przeciwporażeniowej w obiektach z przemiennikami częstotliwości – elektro.info nr 12/2005
- [8] R. Matla – Gospodarka elektroenergetyczna – OW PW 1988
- [9] J. Marzecki – Miejskie sieci rozdzielcze – OWPW
- [10] PN-HD 60364-4-41: 2009 Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Część 4 –41. Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przeciwporażeniowa
- [11] J. Wiatr, A. Boczkowski, M. Orzechowski – Ochrona przeciwporażeniowa i dobór przewodów w instalacjach elektrycznych niskiego napięcia oraz ich zabezpieczeń – DW MEDIUM 2010
- [12] J. Wiatr, M. Orzechowski - Dobór przewodów i kabli elektrycznych niskiego napięcia (zagadnienia wybrane) – Dom Wydawniczy MEDIUM 2011 – wydanie II