

Zastosowanie zespołów prądowórczych do awaryjnego zasilania obiektów budowlanych

mgr inż. Julian Wiatr
CKSI i UE SEP

1. Podział odbiorników energii elektrycznej na kategorie zasilania i układy zasilania obiektu budowlanego

Przystępując do opracowania układu zasilania obiektu budowlanego projektant musi przeprowadzić szczegółową analizę w zakresie wymagań pewności zasilania przez poszczególne odbiorniki planowane do zainstalowania w projektowanym obiekcie budowlanym.

Zróznicowane wymagania dotyczące pewności zasilania wymusiły wprowadzenie klasyfikacji odbiorników energii elektrycznej na kategorie zasilania, które można sklasyfikować zgodnie z kryterium przyjętym w gospodarce energetycznej:

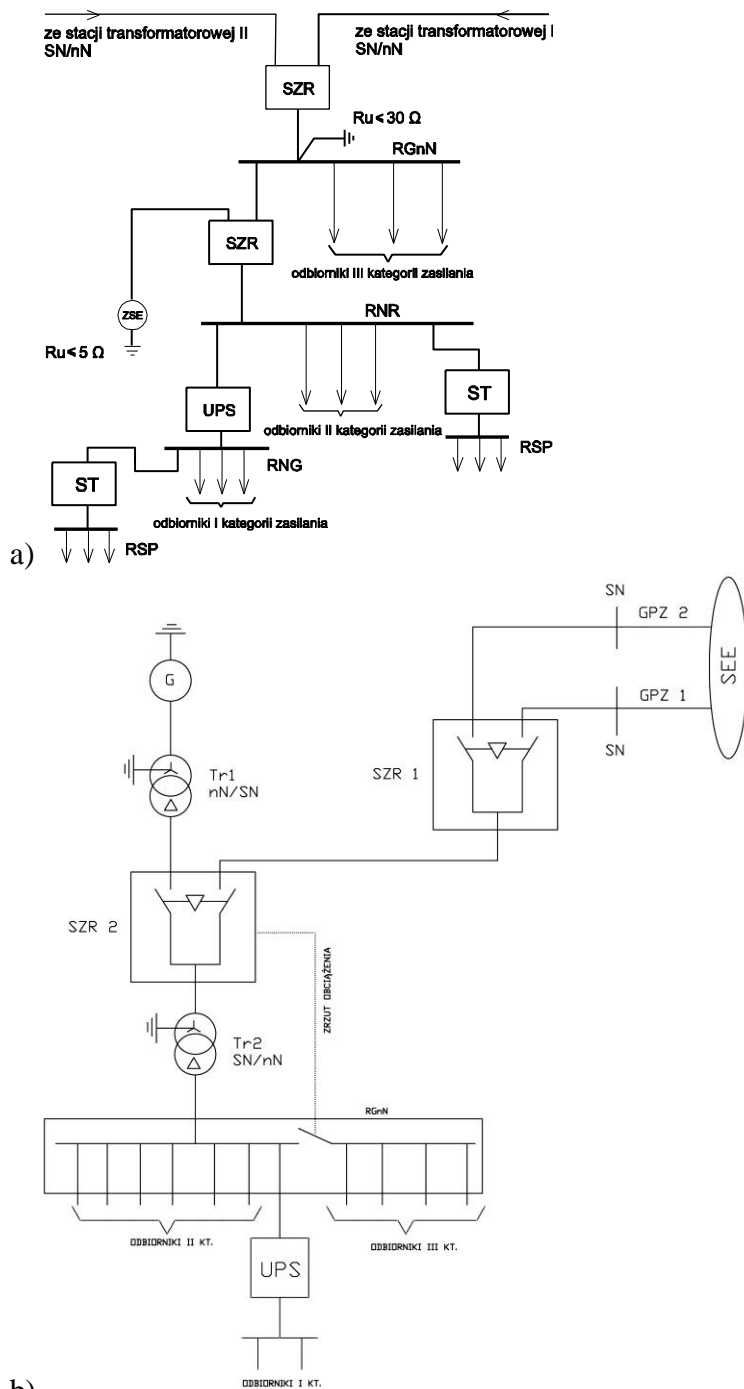
- a) **odbiorniki III kategorii zasilania** – odbiorniki, w których dowolnie długa przerwa w dostawie energii elektrycznej nie spowoduje żadnych negatywnych skutków,
- b) **odbiorniki II kategorii zasilania** – odbiorniki, w których krótka przerwa w dostawie energii elektrycznej (do kilku minut) nie spowoduje negatywnych skutków,
- c) **odbiorniki I kategorii zasilania** – odbiorniki, w których nawet krótka przerwa w dostawie energii elektrycznej może spowodować zagrożenie życia ludzi lub znaczne straty materialne spowodowane np. przerwaniem procesu produkcyjnego.

Przykładowy układ zasilania obiektu budowlanego, w którym występują wszystkie kategorie zasilania przedstawia **rys. 1**.

W przypadku gdy zespół prądowórczy musi zostać posadowiony w dużej odległości od zasilanego obiektu, zasadnym wydaje się budowa układu przedstawionego na **rys. 1a**. Jednak w takim przypadku konieczna jest instalacja stacji transformatorowej nN/SN.

Przedstawione na **rys. 1** układy zasilania stanowią koncepcję zgodną z wymaganiami Rozporządzenia Ministra Łączności z dnia 21 kwietnia 1995 roku w sprawie warunków technicznych zasilania w energię elektryczną obiektów budowlanych łączności [Dz. U. Nr 50 poz. 271]. Układ zasilania właściwy dla obiektów budowlanych łączności może zostać przyjęty dla dowolnego obiektu budowlanego w zależności od jego stopnia skomplikowania oraz wymagań w zakresie niezawodności dostaw energii elektrycznej.

Każde ze źródeł zasilania awaryjnego (zespół prądowórczy) lub źródeł zasilania gwarantowanego (zasilacz UPS lub siłownia telekomunikacyjna) może pracować w układzie równoległym lub redundantnym w zależności od potrzeb.



b)

Rys.1: Przykład zasilania obiektu łączności

- a) zespół prądotwórczy zainstalowany w pobliżu obiektu
- b) zespół prądotwórczy zainstalowany w znacznej odległości od obiektu

2. Zespoły prądotwórcze (ZP)

Zespół prądotwórczy jest powszechnie stosowanym źródłem zasilania awaryjnego obiektów budowlanych.

Podstawowymi elementami składowymi zespołu prądotwórczego są:

- silnik spalinowy, który zamienia energię chemiczną paliwa na energię mechaniczną,
- generator służący do zamiany energii mechanicznej na energię elektryczną,

- regulator prędkości obrotowej,
- regulator napięcia generatora,
- układ wzbudzenia generatora,
- układ sterowania,
- układ rozruchu,
- aparatura łączeniowa.

Na rynku dostępne są zespoły o mocach od kilku kVA do 6 MVA przeznaczone do różnych sposobów eksploatacji, do zabudowy w pomieszczeniu lub w zabudowane w wolnostojącym kontenerze.

Sposób eksploatacji zespołu prądowórczego ma wpływ na szereg czynników, takich jak: żywotność, ekonomiczność, niezawodność pracy itp. W związku z tym przed podjęciem decyzji o zakupie zespołu prądowórczego należy uzgodnić z producentem sposób eksploatacji zespołu.

Do podstawowych sposobów eksploatacji zespołów prądowórczych należy zaliczyć:

- **eksploatację ciągłą** podczas której zespół prądowórczy pracuje non-stop a przerwy w pracy są spowodowane koniecznością prowadzenia napraw lub obsługi serwisowej,
- **eksploatacja czasowa** podczas której zespół prądowórczy pracuje w określonych, ograniczonych przedziałach czasu.

Zespół prądowórczy może pracować samodzielnie, w układzie równoległym gdzie współpracują ze sobą dwa lub więcej zespołów lub synchronicznie z siecią elektroenergetyczną.

W przypadku synchronicznej pracy zespołu prądowórczego z siecią elektroenergetyczną należy uzyskać zgodę od zarządcy sieci elektroenergetycznej oraz uzgodnić warunki tej współpracy.

W tabeli 1 zostały podane najważniejsze wymagania graniczne wartości eksploatacyjnych przebiegów napięcia i częstotliwości dla poszczególnych klas wymagań zgodnie z wymaganiami normy PN-ISO 8528-5 Zespoły prądowórcze prądu przemiennego napędzane silnikiem tłokowym. Zespoły prądowórcze.

Tabela 1: Najważniejsze wymagane graniczne wartości eksploatacyjnych przebiegów napięcia i częstotliwości dla poszczególnych klas wymagań zespołów prądowórczych [1]

Parametr	Jednostka	Graniczna wartość eksploatacyjna, dla klasy wymagań			
		G1	G2	G3	G4
Spadek częstotliwości	%	≤ 8	≤ 5	≤ 3	Wartości parametrów należy uzgodnić z producentem zespołu
pasmo względnych zmian częstotliwości w stanach ustalonych	%	≤ 2,5	≤ 1,5	≤ 0,5	
Prześciowa odchyłka częstotliwości od wartości znamionowej	100% nagłego spadku mocy	≤ +18	≤ +12	≤ +10	
	Nagły wzrost mocy	≤ -15	≤ -10	≤ -7	
Czas odbudowania częstotliwości	s	≤ 10	≤ 5	≤ 3	

Odchyłka napięcia w stanie ustalonym		%	$\leq \pm 5^{1)}$	$\leq \pm 2,5$	$\leq \pm 1$	
Prześciowa odchyłka napięcia	100% nagłego spadku mocy	%	$\leq +35$	$\leq +25$	$\leq +20$	
	Nagły wzrost mocy	%	≤ -25	≤ -20	≤ -15	
Czas odbudowania napięcia		s	≤ 10	≤ 6	≤ 4	
Uwaga: Pełny zestaw wymagań został określony w normie PN-ISO 8528-5						
¹⁾ dla zespołów o mocy do 10 kVA: $\leq \pm 10$ %						

Zgodnie z **PN-ISO 8528-1** Zespoły prądowców prądu przemiennego napędzane silnikiem spalinowym tłokowym. Zastosowanie, klasyfikacja i wymagania eksploatacyjne, występują cztery klasy wymagań eksploatacyjnych:

klasa wymagań G1 - dotyczy odbiorników, które wymagają spełnienia podstawowych parametrów w zakresie napięcia oraz częstotliwości takich jak np. oświetlenie ogrzewanie elektryczne itp.

klasa wymagań G2 - dotyczy zasilania odbiorników, dla których wymagania w zakresie jakości dostarczanej energii elektrycznej są zbliżone do wymagań określonych w odniesieniu do publicznych sieci elektroenergetycznych. W przypadku zmian w obciążeniu dopuszczalne są chwilowe odchylenia od znamionowych wartości napięcia i częstotliwości. Do odbiorników spełniających wymagania tej klasy należy zaliczyć: oświetlenie, pompy, wentylatory, dźwigi itp.

klasa wymagań G3 - dotyczy zasilania odbiorników o zwiększonych jakościowych wymaganiach w zakresie dostarczanej energii elektrycznej. Przykładem takich urządzeń mogą być zasilacze UPS, systemy telekomunikacyjne itp.

klasa wymagań G4 - dotyczy zasilania odbiorników o wysokich wymaganiach w zakresie dostarczanej energii elektrycznej

Zespoły prądowców dzieli się również ze względu na czas rozruchu tj. czas, jaki upływa od chwili zaniku napięcia w sieci elektroenergetycznej do chwili jego podania z generatora zespołu prądowcowego:

- z długotrwałym zanikiem napięcia,
- z krótkotrwałym zanikiem napięcia,
- bez zaniku napięcia.

Zespoły z długotrwałym zanikiem napięcia są urządzeniami powszechnie stosowanymi w układach zasilania awaryjnego. Zespół taki wyposażony jest w **automatykę samorozruchu i samozatrzymania**.

Po zaniku napięcia w sieci elektroenergetycznej automatyka zespołu uruchamia procedurę rozruchu zespołu.

Zespoły te dla ułatwienia rozruchu są wyposażone w grzałki przeznaczone do ogrzewania bloku silnika napędowego. Grzałki te są zasilane w układzie wyposażonym w termostat dzięki czemu utrzymywana jest stała temperatura bloku silnika. Moc grzałek jest uzależniona od

mocy zespołu prądotwórczego i jest określana przez producenta zespołu. Zasilanie grzałek jest realizowane z rozdzielnic potrzeb własnych zespołu.

Załączenie odbiorów zasilanych z zespołu odbywa się automatycznie przez układ automatyki SZR i może być realizowane jednocześnie lub sekwencyjnie.

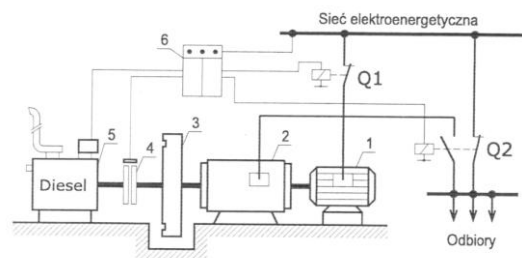
Automatyka zespołu po zaniku napięcia w sieci elektroenergetycznej wypracowuje procedury uruchomienia zespołu z kilkusekundowym opóźnieniem. Takie rozwiązanie jest konieczne dla uniknięcia zbędnych rozruchów powodowanych zapadami lub krótkotrwałymi zanikami napięcia.

Opóźnienie te wynosi na ogół 5 – 10 sekund. Czas jaki upływa od zaniku napięcia w sieci elektroenergetycznej do podania go ze źródła awaryjnego na ogół nie przekracza 1 minuty.

Po powrocie napięcia w sieci elektroenergetycznej automatyka SZR powoduje przełączenie zasilania na tor zasilania podstawowego nie wyłączając zespołu.

Po przełączeniu zespół prądotwórczy pracuje na biegu jałowym około 3 minuty w celu wychłodzenia generatora.

Na **rys. 2** został przedstawiony schemat zespołu prądotwórczego z krótkim czasem rozruchu.



Rys.2: Schemat zespołu prądotwórczego z krótkim czasem rozruchu [2]:

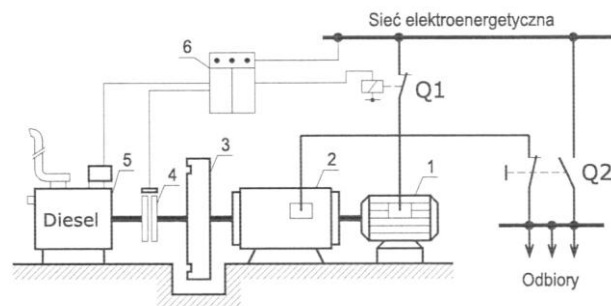
1 – silnik elektryczny do napędu generatora i koła zamachowego, 2 – generator, 3 – koło zamachowe; 4 – sprzęgło elektromagnetyczne, 5 – silnik spalinowy; 6 – szafa sterująca i rozdzielnica potrzeb własnych

W normalnych warunkach zasilania silnik elektryczny synchroniczny (1) pobiera energię z sieci elektroenergetycznej i napędza generator (2) oraz koło zamachowe (3). Sprzęgło (4) jest rozłączone. Generator pracuje na biegu jałowym. Z chwilą zaniku napięcia w sieci elektroenergetycznej następuje otwarcie łącznika Q1 oraz automatyczne zamknięcie sprzęgła (4). Zgromadzona energia kinetyczna w kole zamachowym powoduje szybki rozruch silnika spalinowego (5), który w krótkim czasie przejmuje napęd generatora (2).

Podanie napięcia z generatora powoduje automatyczne przełączenie łącznika Q2 na zasilanie ze źródła awaryjnego i podanie napięcia do odbiorników.

Czas w którym odbiorniki pozostają bez dostawy energii elektrycznej na ogół nie przekracza 2 s.

Na **rys. 3** został przedstawiony schemat zespołu prądotwórczego z zerowym czasem przełączenia na zasilanie awaryjne.



Rys. 3: Schemat zespołu prądotwórczego z zerowym czasem przełączenia na zasilanie awaryjne [2]

1 – silnik elektryczny do napędu generatora i koła zamachowego, 2 – generator, 3 – koło zamachowe; 4 – sprzęgło elektromagnetyczne, 5 – silnik spalinowy; 6 – szafa sterująca i rozdzielnica potrzeb własnych

W układzie przedstawionym na **rys. 3** zastosowano silnik elektryczny synchroniczny o mocy równej mocy generatora zespołu prądotwórczego. Zasilanie odbiorników jest realizowane w sposób ciągły nie z sieci elektroenergetycznej lecz z generatora zespołu prądotwórczego.

W normalnym stanie pracy silnik elektryczny (1) jest zasilany z sieci elektroenergetycznej i napędza generator zespołu (2) wraz z kołem zamachowym (3).

W przypadku zaniku napięcia w sieci elektroenergetycznej, sprzęgło (4) łączy koło zamachowe z silnikiem spalinowym (5). Zgromadzona w kole zamachowym energia kinetyczna jest w stanie spowodować szybki rozruch silnika spalinowego, który przejmuje napęd generatora zespołu.

Łącznik Q2 w tym przypadku spełnia jedynie rolę serwisową.

Zespół prądotwórczy pracujący w układach zasilania awaryjnego może być instalowany w kontenerze ustawianym na fundamencie betonowym poza budynkiem lub specjalnie do tego celu przygotowanym pomieszczeniu, powszechnie nazywanym agregatornią.

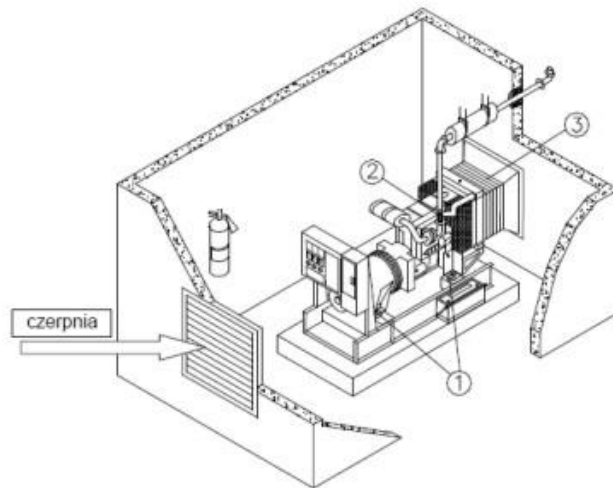
Zarówno w jednym, jak też drugim przypadku instalacja zespołu wymaga czepni powietrza oraz odprowadzenia spalin i odpowiedniej wentylacji pomieszczenia.

Problem ten powinien zostać rozwiązany przez projektanta instalacji sanitarnych na podstawie wymagań określonych przez producenta zespołu i nie będzie w niniejszej publikacji szerzej omawiany.

Zespół instalowany przez producenta w kontenerze stanowi kompletne urządzenie pod względem elektrycznym oraz sanitarnym.

Natomiast w przypadku adaptowania pomieszczenia dla celów instalacji zespołu prądotwórczego należy spełnić wszelkie wymagania określone przez producenta.

Na **rys. 4** został przedstawiony przykład instalacji zespołu prądotwórczego w pomieszczeniu. Pomieszczenie, w którym zostanie zainstalowany zespół prądotwórczy należy wyposażać w Rozdzielnicę Potrzeb Własnych, oświetlenie, gniazda odbiorcze oraz instalację elektryczną sterowania wentylacją oraz innymi urządzeniami projektowanymi w zależności od potrzeb.



Rys. 4: Typowa instalacja zespołu prądotwórczego w pomieszczeniu - elementy elastyczne[4]

- 1 - izolatory antywibracyjne
- 2 - połączenie giętkie w układzie wydechowym
- 3 - połączenie giętkie w układzie wyrzutu ogrzanego powietrza

Na **rys. 4** pokazano przykładowe pomieszczenie z zamontowanym zespołem prądotwórczym wyposażonym w ścienną czerpnię i wyrzutnię powietrza. Zespół prądotwórczy wytwarza ciepło pochodzące z następujących źródeł:

- silnika;
- prądnicy (alternatora);
- chłodnicy;
- rury wydechowej i tłumika wydechu.

Nieodpowiednia wentylacja pomieszczenia z pracującym ZP może spowodować niepożądany wzrost temperatury w pomieszczeniu może to doprowadzić do spadku mocy silnika, a w konsekwencji do unieruchomienia. W takim przypadku należy zastosować chłodzenie wymuszone np.: wentylatorami.

Najkorzystniejszy przepływ powietrza w pomieszczeniu powinien być w kierunku:
prądnica => silnik=> chłodnica

Rozwiązanie takie, pozwala nie tylko na usunięcie ciepła wytworzonego przez ZP, ale również dostarcza niezbędną ilość świeżego powietrza do spalania.

3. Dobór mocy zespołu prądotwórczego

Za podstawę doboru mocy zespołu prądotwórczego należy przyjąć wartość mocy czynnej zapotrzebowanej oraz mocy biernej przez odbiorniki, które mają zostać objęte systemem zasilania awaryjnego.

Moc czynną zapotrzebowaną należy wyznaczyć z następującego wzoru:

$$P_z = \sum_{i=1}^n k_z * P_i \quad (1)$$

gdzie:

P_z - moc czynna zapotrzebowana czynna, w [kW]

k_z - współczynnik zapotrzebowania, w [-]

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

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

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

gdzie:

Q_z - moc bierna zapotrzebowana, w [kvar]

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

Uwaga!

W przypadku projektowania układu zasilania z przyłączonym zespołem prądotwórczym zgodnie z **rys. 1b**, w obliczeniach należy uwzględnić moc strat transformatorów po wczesniejszym dobraniu ich mocy zgodnie z ogólnymi zasadami.

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

$$\cos \varphi_z = \frac{P_z}{\sqrt{P_z^2 + Q_z^2}} \quad (3)$$

gdzie:

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

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

Moc pozorna generatora wyznaczona na podstawie mocy czynnej zapotrzebowanej oraz mocy biernej zapotrzebowanej ze wzoru:

$$S_G \geq \sqrt{P_z^2 + Q_z^2} \quad (4)$$

może prowadzić do błędnych wyników.

Ponieważ generator zespołu prądotwórczego musi pokryć zapotrzebowanie mocy czynnej P_z oraz mocy biernej Q_z , w przypadku gdy generator wytwarza energię przy współczynniku mocy $\cos \varphi_z < \cos \varphi_{ng}$, zmniejsza się zdolność wykorzystania mocy czynnej generatora ze względu na obciążalność cieplną stojana.

Silnik spalinowy napędzający generator jest dostosowany do mocy czynnej generatora, czyli do pracy generatora przy znamionowym współczynniku mocy $\cos \varphi_{ng}$, zatem w przypadku wytwarzania energii elektrycznej przy współczynniku $\cos \varphi_z < \cos \varphi_{ng}$ skutkuje zmniejszeniem jego wykorzystania.

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

$$p = \frac{\cos \varphi_z}{\cos \varphi_{ng}} \quad (5)$$

Wymagana minimalna moc czynna zespołu prądotwórczego musi spełniać następującą nierówność:

$$P_{Gmin} \geq \frac{P_z}{p} \quad (6)$$

Obliczony ze **wzoru (5)** współczynnik wykorzystania **p**, należy podstawić do **wzoru (6)**. W przypadku gdy $p \geq 1$, do **wzoru (6)** 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:

$$S_{nG} \geq \frac{P_{Gmin}}{\cos\varphi_z} \quad (7)$$

gdzie:

P_{Gmin} - 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 obciążenie.

Jeżeli generator oddaje większą moc bierną niż znamionowa, ze względu na konieczność utrzymania napięcia znamionowego i nie przeciążanie 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 i w konsekwencji może doprowadzić do przedwczesnego zniszczenia kondensatorów.

W przypadku gdy zespół prądotwórczy służy do zasilania silników elektrycznych, za podstawę doboru mocy należy przyjmować prądy rozruchowe silników, które nie mogą przekraczać wartości prądu znamionowego generatora z uwzględnieniem jego chwilowego przeciążenia określonego w DTR producenta.

Natomiast, gdy zespół prądotwórczy zasila odbiorniki nieliniowe **powstają zniekształcenia prądu pobieranego ze źródła**. Zniekształcenia te powodują pojawianie się w sieci zasilającej oraz instalacji odbiorczej harmonicznych, interharmonicznych i subharmonicznych, które na ogół nie są w fazie z napięciem.

Zjawisko wyższych harmonicznych powoduje, że oprócz mocy czynnej i biernej pojawia się moc deformacji **V**, co oznacza, że moc pozorna nie może być określona jako iloczyn prądu i napięcia podstawowej harmonicznej. Wartość mocy deformacji **V** zależy od stopnia odkształcenia przebiegów napięcia i prądów, czyli od zawartości wyższych harmonicznych, a w układach wielofazowych również od stopnia asymetrii.

W przypadku obciążeń asymetrycznych współczynnik mocy $\cos\varphi$ nie jest jednakowy dla poszczególnych faz. W każdej fazie jego wartość może być różna i uzależniona od wartości mocy czynnej i biernej obciążającej fazę.

Niepożądanym skutkiem niesymetrycznego obciążenia jest wzrost wartości napięcia ponad wartość znamionową w fazie najmniej obciążonej.

Oszacowanie wartości mocy deformacji powodowanej niesymetrycznym obciążeniem jest dość trudne, zatem zgodnie z zaleceniami producentów zespołów prądotwórczych podczas projektowania układu zasilania awaryjnego należy zadbać by przy zasilaniu odbiorników z przez awaryjny zespół prądotwórczy asymetria obciążenia nie przekraczała 20%.

Moc pozorną zapotrzebowaną przez odbiornik nieliniowy należy określić wzorem:

$$S^2 = P^2 + Q^2 + V^2 \quad (8)$$

Moc czynna przebiegu odkształconego jest sumą mocy czynnych harmonicznych napięcia i prądu o tej samej częstotliwości, czyli:

$$P = \sum_{k=1}^{\infty} U_k * I_k * \cos\varphi_k \quad (9)$$

Natomiast moc bierną przebiegu odkształconego obliczamy z powszechnie akceptowanego wzoru (16):

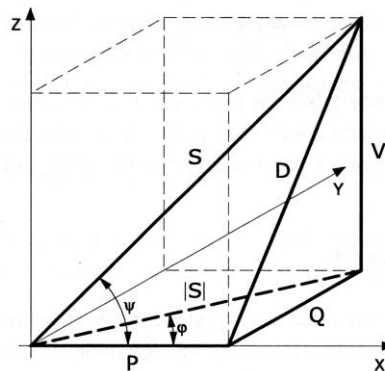
$$Q = \sum_{k=1}^{\infty} U_k * I_k * \sin\varphi_k \quad (10)$$

Natomiast, moc pozorną obwodu liniowego jest określona następującym wzorem:

$$|S|^2 = P^2 + Q^2 \quad (11)$$

W tym przypadku moc deformacji $V = 0$.

Ilustrację graficzną mocy $P, Q, V, |S|$ i S przedstawia **rys. 5**.



Rys. 5. Czworokąt mocy dla układu o odkształconych przebiegach napięcia i prądu [2]

P – moc czynna, w [kW]; Q – moc bierna, w [kvar]; $|S|$ – moc pozorną części liniowej obwodu w [kVA]; S – moc pozorną obwodu nieliniowego, w [kVA]; V – moc deformacji, [kVA]; D – moc dystorsji, definiowana jako $D^2 = Q^2 + V^2$.

Rys. 5 wyjaśnia również, że dla obwodów nieliniowych współczynnik mocy nie może zostać określony **wzorem (3)**, który jest słuszny dla obwodów liniowych:

$$\cos\varphi = \frac{P}{|S|} \quad (12)$$

W obwodach nieliniowych współczynnik mocy jest definiowany jako (patrz **rys. 6**):

$$\cos \Psi = \frac{P}{S} = \frac{I_1}{I} * \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \frac{P}{\sqrt{3} * U_n * \sqrt{\sum_{k=0}^{\infty} I_k^2}} \quad (13)$$

gdzie:

φ_k – przesunięcie fazowe pomiędzy napięciem i prądem dla harmonicznej rzędu k , $\sin \varphi_k = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_k}$

Prąd znamionowy urządzenia trójfazowego pobierającego prąd odkształcony należy wyrazić poniższym wzorem:

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} * U_n * \cos \Psi} \quad (14)$$

Z równań (13) oraz (14) wynika, że przy ustalonej wartości prądu znamionowego I_n urządzenia i wroście odkształcenia prądu rzeczywiście przepływającego przez to urządzenie zmniejsza się moc znamionowa czynna, którą można je obciążyć.

Zatem odbiorniki nieliniowe pobierające prąd zniekształcony z generatora powodują zmniejszenie możliwości wykorzystania mocy czynnej generatora zespołu prądotwórczego. w celu pokrycia mocy zapotrzebowanej przez te odbiorniki moc generatora musi ulec zwiększeniu.

Minimalną moc czynną generatora niezbędną do pokrycia mocy zapotrzebowanej przez te odbiorniki należy wyznaczyć ze wzoru:

$$P_{Gmin} \geq \frac{P_z}{p * W} \quad (15)$$

gdzie:

p – współczynnik wykorzystania określony **wzorem 5**, w [-],

P_z – moc czynna zapotrzebowana przez odbiorniki objęte systemem zasilania awaryjnego, w [kW]

P_{Gmin} – wymagana minimalna moc czynna generatora zespołu prądotwórczego, w [kW]

$W \approx \left(\frac{100}{100 + THD_{i\%}}\right)^2$ - współczynnik zniekształcenia, w [-], w którym:

$THD_{i\%}$ - współczynnik odkształcenia prądu, w [-].

Natomiast moc zespołu prądotwórczego określamy zgodnie ze **wzorem (7)**.

Wartość współczynnika **THD_i%** zawartości harmonicznych w odkształconym przebiegu prądu, należy wyznaczyć z poniższego wzoru:

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} (I_k)^2}}{I_1} * 100\% \quad (16)$$

gdzie:

I_k – wartość skuteczna k -tej harmonicznej prądu, w [A]

I_1 – wartość skuteczna harmonicznej podstawowej prądu, w [A]

k – rząd harmonicznej, w [-].

Przykładowe wartości współczynnika **W**, w zależności od wartości współczynnika **THD_i%** przedstawia **tabela 2**.

Tabela 2: Wartości współczynnika zniekształcenia W , w zależności od wartości współczynnika $THD_{i\%}$

$THD_{i\%}$	W
3 %	0,95
5 %	0,91
8%	0,86
10 %	0,83
15 %	0,76
20 %	0,70
30 %	0,60
40 %	0,51

Wraz ze wzrostem współczynnika $THD_{i\%}$, maleje współczynnik zniekształceń W , a zatem moc generatora niezbędna do pokrycia mocy zapotrzebowanej ulega zwiększeniu.

4. Tandem UPS-zespół prądowórczy

W celu uzyskania większej niezawodności do systemu zasilania gwarantowanego wprowadza się dodatkowe źródła zasilania awaryjnego tj. zespół prądowórczy. Taki układ daje bardzo duże bezpieczeństwo i pewność, że w razie awarii sytemu zasilania podstawowego urządzenia o znaczeniu krytycznym będą zasilane bez przerw co uchroni odbiorców od wielu, niejednokrotnie poważnych strat a tym samym strat spowodowanych przerwami w dostawie energii elektrycznej.

Zasilacz UPS powinien być dobierany do oszacowanej mocy odbiorników. Należy pamiętać by sumaryczna moc odbiorników nie przekraczała ani wyjściowej mocy czynnej, ani wyjściowej mocy pozornej zasilacza. Wskazane jest niewielkie przewymiarowanie zasilacza (10 - 20 %), które stanowiłoby rezerwę na okresowy wzrost lub błędy w szacowaniu mocy odbiorników.

UPS przeznaczony do współpracy z zespołem prądowórczym powinien stanowić barierę między odbiorami a zespołem. Chodzi o maksymalne wyeliminowanie wpływu na zespół odkształconych prądów pobieranych przez odbiory nieliniowe (np. urządzenia komputerowe). Powinien to być UPS, który nie wiąże kształtu prądu wejściowego z kształtem prądu pobieranego przez odbiory.

Zespół prądowórczy powinien bezpiecznie pokrywać zapotrzebowanie zasilacza UPS i odbiorników kategorii II. Jego moc jest sumą mocy pobieranej przez UPS w stanie pełnego obciążenia i mocy odbiorników kategorii II.

$$P_{GEN} = P_{UPSwe} + P_{II} \quad (17)$$

gdzie:

P_{UPSwe} - moc wejściowa zasilacza UPS, w [kW],

P_{II} - moc sumaryczna odbiorników kategorii II, w [kW].

Moc wejściową zasilacza UPS obliczamy korzystając z zależności

$$P_{\text{UPSwe}} = \frac{P_{\text{UPSwy}}}{\eta \cdot W} + \frac{P_B}{W} = \frac{P_{\text{UPSwy}}}{\eta W} + \frac{0,25 \cdot P_{\text{UPSwy}}}{W} \quad (18)$$

gdzie:

P_{UPSwy} - wyjściowa moc czynna zasilacza UPS, w [kW],

η - sprawność zasilacza UPS, w [-],

W - współczynnik przewymiarowania agregatu biorący pod uwagę między innymi odkształcenie prądu wejściowego zasilacza UPS

P_B - dodatkowa moc wejściowa zasilacza związana z ładowaniem baterii (co najmniej 25 % mocy znamionowej zasilacza), w [kW].

Jeżeli zasilacz UPS ma możliwość rozbudowy (zwiększenie mocy wyjściowej przewidziane w konstrukcji urządzenia) należy brać pod uwagę największą moc wyjściową zasilacza.

Zalecane jest też stosowanie zasilaczy wyposażonych w specjalny interfejs do współpracy z zespołem prądowórczym, pozwalający aktywnie ograniczyć prąd wejściowy przez zablokowanie funkcji ładowania baterii do chwili powrotu napięcia sieci. Wówczas można zrezygnować z 25-procentowej nadwyżki mocy zespołu, niezbędnej do ewentualnego ładowania baterii.

Do współpracy z zespołem prądowórczym zaleca się stosowanie zasilaczy UPS wyposażonych w filtr redukujący zawartość harmonicznych w prądzie wejściowym do poziomu około 10 % (głębsza redukcja jest bezcelowa, nie wpływa znacząco na poprawę charakterystyki współpracy zasilacza z agregatem, nie jest więc uzasadniona ekonomicznie). Nie powinno się stosować innych topologii zasilaczy niż *online*, gdyż tylko taka gwarantuje, że poprawność współpracy zasilacza UPS z zespołem prądowórczym nie zachwieje się w wyniku zmiany charakterystyki odbiorników.

Zalecane jest stosowanie zespołów prądowórczych wyposażonych w elektroniczne regulatory prędkości obrotowej, z nowoczesnymi prądnicami przystosowanymi do nieliniowych obciążeń. Generalnie poleca się stosowanie urządzeń sprawdzonych we współpracy i zapewniających stabilność zasilania w każdych warunkach.

Uwaga!

W przypadku zastosowania zespołu prądowórczego wyposażonego w generator przystosowany do obciążeń nieliniowych, stopień przewymiarowania zespołu może być mniejszy, jednak powinien on być uzgodniony z producentem lub dostawcą.

5. Układy współpracy sieć-zespół prądowórczy

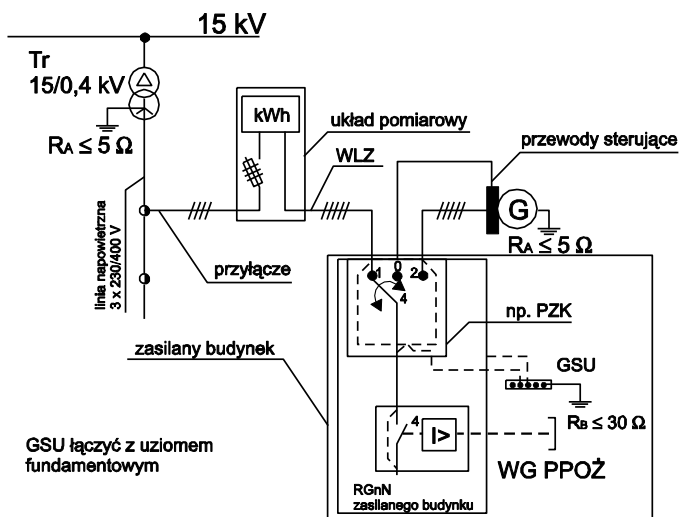
Zespół prądowórczy stanowi źródło zasilania awaryjnego, które nie może dostarczać energii do sieci elektroenergetycznej. Powoduje to konieczność projektowania układów uniemożliwiających wsteczne podanie napięcia do sieci podczas gdy została ona wyłączona spod napięcia. Z rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 roku w sprawie szczególnych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego [Dz.U. Nr 93/2007, poz. 623 z późn. zmianami] wynika, że zespół prądowórczy należy uznać za urządzenie przyłączane do sieci pomimo tego, że znajduje się ono w majątku użytkownika oraz jest instalowane za układem pomiarowym.

Właściciel publicznej sieci elektroenergetycznej musi posiadać informacje o przyłączonych zespołach prądowórczych oraz mieć pełną gwarancję zabezpieczenia przed wstecznym podaniem napięcia z pracującego ZP do wyłączonej spod napięcia sieci elektroenergetycznej. Nieprawidłowo wykonany układ współpracy z siecią elektroenergetyczną stwarza zagrożenie dla ludzi pracujących na linii wyłączonej spod napięcia wskutek podania napięcia ze źródła

awaryjnego (ZP). Jeżeli zespół prądowórczy będzie pracować na publicznej sieci elektroenergetycznej nN nie tylko zasila tą sieć, ale również sieć SN. Przyłączenie pracującego zespołu prądowórczego do elektroenergetycznej linii nN spowoduje, że na górnych zaciskach transformatora pojawi się napięcie o wartości stanowiącej iloczyn napięcia nominalnego generatora i przekładni transformatora.

Automatyczny układ współpracy zespołu prądowórczego z siecią musi być zgodny z wymaganiami PN-EN 60947-6-1:2001 Aparatura rozdzielcza i sterownicza nisko napięciowa. Łączniki wielozadaniowe. Automatyczne urządzenia przełączające.

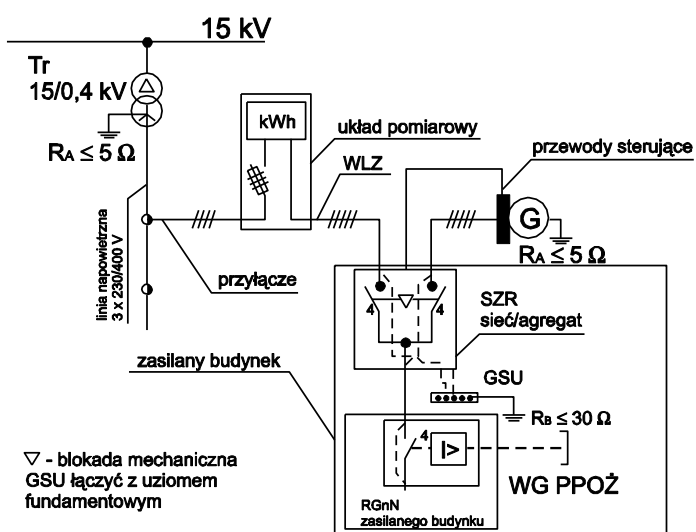
W przypadku ZP uruchamianych ręcznie należy stosować ręczne przełączniki (rys. 6).



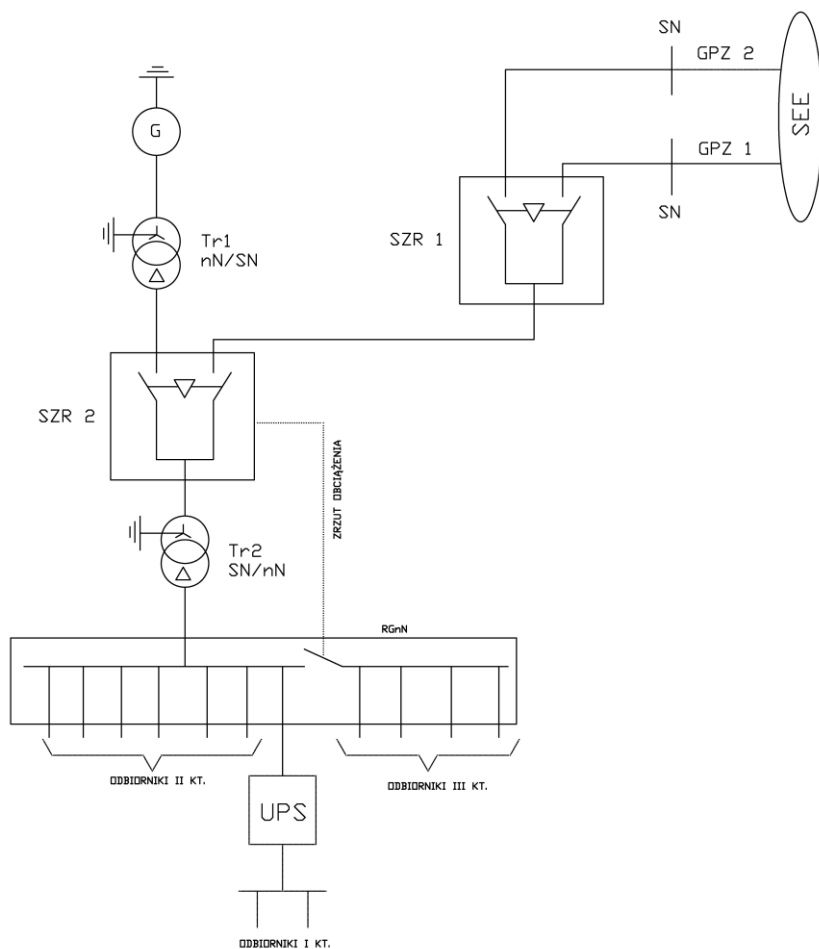
Rys. 6: Ręczny przełącznik sieć/zespół prądowórczy [5]

Natomiast zespoły wyposażone w układy samorozruchu i samozatrzymania należy wyposażyć w układy automatyki SZR z blokadą mechaniczną i elektryczną. Przykład takiego układu został przedstawiony na rys. 7.

Natomiast na rys. 8 został przedstawiony układ współpracy ZP przyłączonego do sieci SN.



Rys. 7: Układ automatyki SZR sieć/zespół prądowórczy [5]



Rys. 8. Układ automatyki SZR od strony SN

W przypadku zespołów prądotwórczych wyposażonych w automatykę samorozruchu i samozatrzymania należy pamiętać, że część układów automatyki zainstalowana jest w zespole i w przypadku pozostawiania zespołu w warunkach gotowości do pracy wymaga zasilania z sieci elektroenergetycznej (grzałki, detektor zaniku faz itp.). Obwody te należy zabezpieczyć od przeciążeń, przepięć oraz porażień i wykonać w układzie TN-S.

Literatura:

1. PN – ISO 8528-5 Zespoły prądotwórcze. Zespoły prądotwórcze zasilane silnikiem tłokowym.
2. T. Sutkowski – Rezerwowe i bezprzerwowe zasilanie w energię elektryczną. Urządzenia i układy – COiW SEP 2007
3. J. Wiatr; M. Orzechowski – Poradnik projektanta elektryka – DW Medium 2008
4. Materiały szkoleniowe firmy Fast Group
5. J. Wiatr – Zespoły prądotwórcze w układach zasilania awaryjnego – DW Medium 2008
6. R. Kacejko; J. Machowski – Zwarcia w systemach elektroenergetycznych – WNT 2001
7. Ochrona przeciwporażeniowa w warunkach polowych – MON Inż. 349/72

8. Praca zbiorowa pod redakcją J. Wiatr – Poradnik Projektanta systemów zasilania awaryjnego i gwarantowanego – EATON POWER QUALITY 2008
9. A. Sowa – Kompleksowa ochrona odgromowa i przepięciowa – COSiW SEP 2006
10. Wieloarkuszowa norma PN-IEC 60364 – Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych
11. J. Wiatr; M. Miegoń – Zasilacze UPS i baterie akumulatorów w układach zasilania gwarantowanego –DW Medium 2008
12. Katalogi firmy SDMO
13. L. Danielski; R. Zacirka – Badanie ochrony przeciwporażeniowej w obiektach z przemiennikami częstotliwości – Elektro.info nr 12/2005
14. R. Matla – Gospodarka elektroenergetyczna – OW PW 1988