

## Układy zasilania zakładów przemysłowych w aspekcie niezawodności i pewności dostawy energii elektrycznej

*W artykule przedstawiono układy zasilania zakładów przemysłowych w aspekcie niezawodności i pewności dostawy energii elektrycznej. Przedstawiono zasady zasilania zakładów przemysłowych oraz przeanalizowano wybrane układy zasilania o wysokiej niezawodności oraz oceniono rozwiązania układów w aspekcie technicznym i ekonomicznym. Ponadto przeanalizowano i oceniono środki pozwalające na uzyskanie odpowiedniego poziomu niezawodności.*

### 1. ZASADY ZASILANIA ZAKŁADÓW PRZEMYSŁOWYCH

W kraju występuje duża różnorodność układów zasilania zakładów przemysłowych. Wynika to w głównej mierze z różnych wartości zapotrzebowanych mocy zakładów przemysłowych, różnych wymagań dotyczących niezawodności i pewności ich zasilania, różnych konfiguracji sieci elektroenergetycznej, odległości od stacji energetyki zawodowej oraz technicznych i ekonomicznych możliwości realizacji określonych rozwiązań. Szczególnie istotny wpływ na poziom napięcia zasilania zakładu przemysłowego ma wielkość jego mocy zapotrzebowanej. W tabeli 1 wyszczególniono moce zapotrzebowane oraz wartości napięć nasilania.

**Tabela 1**  
**Napięcie zasilania zakładu przemysłowego**  
**w zależności**  
**od mocy zapotrzebowanej zakładu [2]**

Moc zapotrzebowana zakładu	Napięcie zasilania
< 250 kW	nn
250 kW ÷ 5 MW	SN (6 kV, 10 kV, 15 kV (preferowane), 20 kV (preferowane), 30 kV)
5 ÷ 15 MW	SN (6 kV, 10 kV, 15 kV (preferowane), 20 kV (preferowane), 30 kV) lub 110 kV
15 ÷ 50 MW	110 kV
50 ÷ 150 MW	110 kV (preferowane) lub 20 kV lub 400 kV
> 150 MW	220 kV lub 400 kV

Duże zakłady przemysłowe wymagające dużej niezawodności zasilają się z sieci o napięciu 110 kV. W takich przypadkach stosuje się dwie linie zasilające lub więcej, jeśli są zwiększone wymagania w zakresie niezawodności. Główna stacja zasilająca zakład przemysłowy jest przeważnie realizowana w układzie pełnym mostkowym (H5) i zasilana z dwóch niezależnych stacji Głównego Punktu Zasilania (GPZ) lub jednej stacji GPZ wyposażonej w układ szynowy. Układ takiej stacji jest zasilany w układzie magistralnym, promieniowym lub pętlowym. Przy zasilaniu obiektów przemysłowych o mocach zapotrzebowania większych niż 50 MW zaleca się stosowanie większej liczby linii zasilających i większej liczby stacji głównych wyposażonych w układ szynowy. Niekiedy przy zasilaniu zakładów przemysłowych stosuje się zasilanie kombinowane: z jednej linii 110 kV i jednej linii średniego napięcia (SN).

Zakłady przemysłowe średniej wielkości zasilają się na napięciu SN. Stosowane układy zasilania na tym napięciu zależą głównie od obciążalności i wymaganego poziomu pewności i niezawodności zasilania. Przy obciążeniu prądowym obiektu przemysłowego nieprzekraczającym wartości 80 A i mocy zapotrzebowanej do 2,7 MW stosuje się układy wielostopniowe promieniowe, magistralne lub pętlowe. Natomiast przy obciążeniu prądowym o wartości 350 A stosuje się układy promieniowe jednostronnie zasilane. Układy nierezzerwowane są zasilane z układów magistralnych lub promienio-

wych. Układy o średnim poziomie niezawodności zasila się z układów pętlowych lub promieniowych wyposażonych w dwie niezależne linie zasilające. Układy o wysokim poziomie niezawodności wymagają zasilania z układu promieniowego wyposażonego w minimum dwie niezależne linie oraz odpowiedniej automatyki.

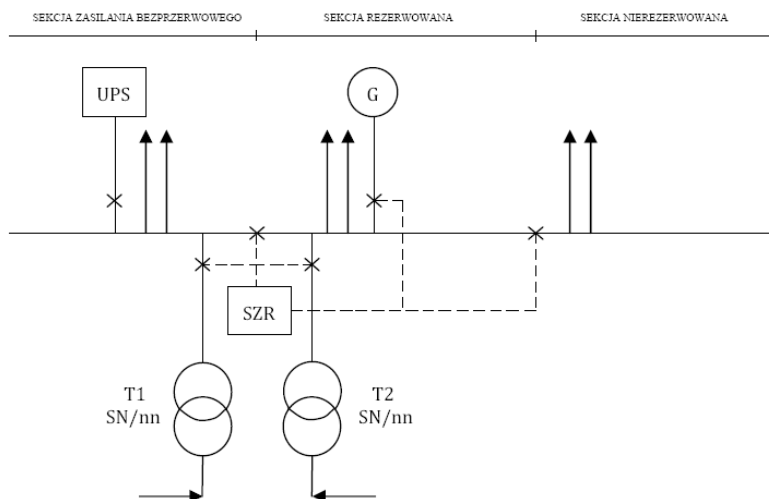
Małe zakłady przemysłowe zasilane są z sieci niskiego napięcia. Układy zasilania stosowane na tym poziomie napięć zależą głównie od mocy zapotrzebowanej. Zasilanie może być realizowane tak z jednej stacji jednotransformatorowej SN/nn, jednej stacji dwutransformatorowej SN/nn, jak również z dwóch różnych stacji SN/nn jedno- lub dwutransformatorowych. Należy podkreślić, że dla obiektów wymagających dużej pewności zasilania układ jest realizowany w oparciu o zasilanie z jednej stacji dwutransformatorowej, która jest rezerwowana po stronie SN poprzez linie SN z jednej stacji GPZ i linię połączoną z inną stacją lub przez dwie niezależne linie SN z dwóch różnych stacji GPZ. Natomiast obiekty wymagające bardzo wysokiego poziomu niezawodności dostaw energii elektrycznej są przeważnie zasilane z dwóch różnych stacji dwu-transformatorowych, które rezerwowane są każda z osobna przez dwie niezależne stacje GPZ.

Niskonapięciowe układy zasilania posiadają duże ograniczenia, związane z odległością obiektu zasilanego od stacji energetyki zawodowej. Zasilanie obiektów, których obciążenie nie przekracza 350 A (140 kW), realizowane jest za pomocą układów promieniowych jednostronnie zasilanych, przy czym długość linii zasilającej nie powinna przekraczać 1000 m. Natomiast zasilanie obiektów, których obciążenie sięga 80 A (32 kW), realizuje się w układach sieci magistralnej, przy czym długość samej magistrali nie powinna przekraczać 500 m.

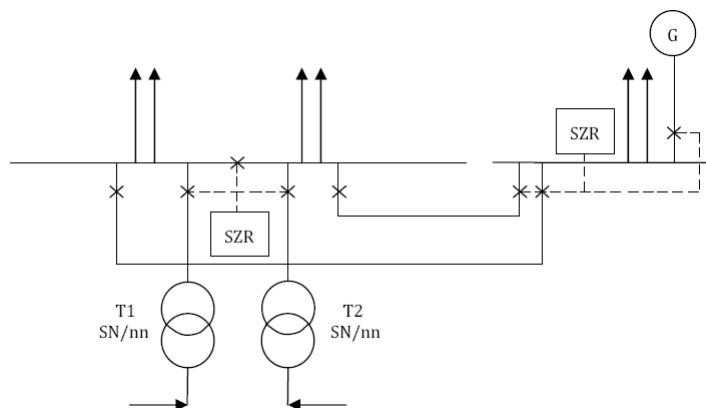
## 2. WYBRANE UKŁADY ZASILANIA OBIEKTÓW PRZEMYSŁOWYCH

Obiekty przemysłowe mają bardzo zróżnicowane wymagania w zakresie pewności i niezawodności zasilania. Zapewnienie całemu obiektowi bezprzerwowego zasilania wiąże się z bardzo dużymi kosztami. W celu ograniczenia tych kosztów powszechnie stosuje się podział na kategorie zasilania poszczególnych odbiorników. Zakwalifikowanie urządzeń do danej kategorii odbiorników pozwala na stworzenie przejrzystego układu zasilania i zminimalizowanie kosztów związanych z zapewnieniem wymaganego poziomu niezawodności.

Powszechnie stosowanym sposobem jest podział układu zasilającego na sekcje o zróżnicowanych poziomach niezawodności. Z racji dużej mocy zapotrzebowanej obiekty przemysłowe posiadają własną stację elektroenergetyczną, wyposażoną w jeden lub dwa transformatory i zasilaną z dwóch niezależnych stacji energetyki zawodowej. Najczęściej odbywa się to poprzez stacje pracujące w układzie pętlowym lub magistrali dwustronnie zasilanej. W wielu przypadkach zachodzi konieczność stosowania układów, w których można wydzielić sekcję o podwyższonym poziomie niezawodności. Dlatego stosuje się w układach zasilania podział i wydzielenie sekcji na sekcje: zasilania podstawowego nierezerwowanego, zasilania podstawowego rezerwowanego i o bezprzerwowym zasilaniu, co ilustruje rysunek 1. Zapewnia to wysoką niezawodność zasilania dla odbiorów, które tego bezwzględnie wymagają i jednocześnie pozwala na optymalizację kosztów całego układu zasilania, przy czym koszt takiego rozwiązania jest wysoki, a prawidłowa eksploatacja układu wymaga wysoko wykwalifikowanej obsługi [1].



Rys. 1. Sekcjonowany (trójsekcyjny) układ zasilania



Rys. 2. Sekcjonowany (trójsekcyjny) układ zasilania z wydzieloną sekcją

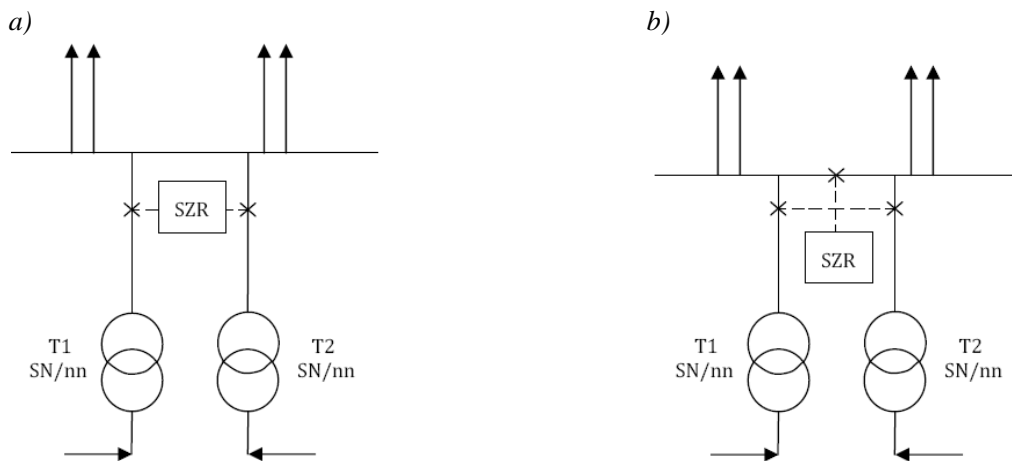
Oprócz rozwiązania przedstawionego na rysunku 1 stosuje się często zbliżone rozwiązanie techniczne, przedstawione na rysunku 2. Wydzielona sekcja jest wyposażona w dodatkowy generator, a ponadto jest ona rezerwowana przez dwie sekcje zasilane z dwóch niezależnych punktów. Układ posiada dodatkowy trzeci wyłącznik sekcyjny. Rozwiązanie to pozwala na wybór sekcji, która ma rezerwować wydzieloną sekcję układu zasilania. Takie rozwiązanie podwyższa poziom niezawodności układu, przy jednoczesnym zwiększeniu kosztu rozwiązania i utrudnieniu eksploatacji.

Powszechnie stosuje się również rozwiązania prostsze, tańsze i łatwiejsze w eksploatacji, jak np. układy zasilania przedstawione na rysunku 3. Układy te odznaczają się również dużą niezawodnością. Układ 1a posiada rezerwę jawną, natomiast 1b, stosowany najczęściej, posiada rezerwę utajoną. Praca w stanie normalnej pracy odbywa się przy otwartym łączniku sekcyjnym. Oba transformatory pracują w pobliżu swoich optymalnych mocy obciążeniowych i wzajemnie się rezerwują.

W praktyce często spotykanym układem zasilania obiektów przemysłowych o mniejszej mocy przyłączeniowej i obniżonych wymogach niezawodnościowych jest układ z zasilaniem podstawowym uzupełniany dodatkowym agregatem. Moc agregatu powinna być tak dobrana, aby zaspokoić potrzeby energetyczne całego obiektu lub przynajmniej pokryć potrzeby odbiorców, które bezwzględnie wymagają zasilania. Rozwiązanie to realizowane jest w oparciu o układ automatyki SZR lub tzw. przełącznik „sieć-agregat”. Pierwsze rozwiązanie stosowane jest w przypadku, kiedy dopuszczalna przerwa ma być maksymalnie krótka, natomiast drugie rozwiązanie dopuszcza dłuższą przerwę w zasilaniu.

### 3. OCENA UKŁADÓW ZASILANIA OBIEKTÓW PRZEMYSŁOWYCH

Prawidłowy dobór układu zasilania obiektu przemysłowego wymaga przeprowadzenia wszechstron-



Rys. 3. Układ zasilania z pojedynczą szyną zbiorczą i układ sekcjonowany wyłącznikiem sekcyjnym

nej analizy obejmującej: warunki przyłączeniowe wydane przez operatora systemu dystrybucyjnego, wielkości mocy przyłączeniowej, poziom wymaganej niezawodności dla całego obiektu lub poszczególnych urządzeń, koszty rozwiązania układu w stosunku do poziomu niezawodności i jakości zasilania.

Jednym z najważniejszych elementów analizy i oceny techniczno-ekonomicznej układu jest struktura sieci energetyki zawodowej w otoczeniu obiektu przemysłowego i jego usytuowanie względem stacji GPZ. Sieć zasilająca jest punktem wyjścia do podjęcia decyzji o doborze układu zasilania dla obiektu przemysłowego i ewentualnych środkach i zabiegach technicznych, które poprawią pewność i niezawodność zasilania [1].

Koszty układów zasilania różnią się znacząco w sytuacji, gdy układy są budowane w mieście lub na terenach wiejskich lub podmiejskich. W mieście sieć energetyki zawodowej jest dobrze rozwinięta, a stacje 110/SN zlokalizowane są w niewielkich odległościach od zakładów. Na terenach podmiejskich i wiejskich sieć dystrybucyjna energetyki zawodowej jest słabo rozwinięta i przyłączenie obiektu o dużej mocy szczytowej stwarza wiele problemów. W takiej sytuacji szczególnie istotny jest wymagany poziom mocy przyłączeniowej zakładu i jego odległość od istniejącej stacji energetyki zawodowej.

Przy doborze układów zasilania istotna jest korelacja pomiędzy kosztami rozwiązania a niezawodnością. Niewielkie zwiększenie nakładów inwestycyjnych w sieci o małej niezawodności w wyraźny sposób zwiększy jej niezawodność. W przypadku sieci o wysokiej niezawodności dalsze zwiększanie kosztów w celu jej poprawy przynosi niewielki procentowy stopień poprawy. Wzrost kosztów jest niewspółmierny do wzrostu poziomu niezawodności. Dlatego najbardziej efektywnym rozwiązaniem są inwestycje w rezerwowe źródła zasilania (sieć elektroenerge-

tyczna, agregaty prądotwórcze, zasilacze UPS). Źródła te są niezbędne w przypadku braku możliwości zapewnienia odpowiednio krótkiego czasu przerwy zasilania przez sieć energetyki zawodowej tak, aby utrzymać ciągłość pracy w zakładzie przemysłowym zgodnie z zastosowaną technologią.

Zapewnienie zatem odpowiedniego poziomu zasilania wymaga zastosowania dwóch niezależnych linii kablowych lub napowietrznych, przy czym należy unikać zasilania długimi liniami napowietrznymi z powodu dużej wrażliwości na warunki atmosferyczne. Natomiast w przypadku układów, gdzie czas przerw w zasilaniu musi być skrócony do kilku sekund, układy pozwalające zapewnić takie działanie są złożone i drogie w realizacji.

#### 4. WNIOSKI

Niezawodność i pewność dostawy energii elektrycznej ma kluczowe znaczenie dla zdecydowanej większości zakładów przemysłowych.

Odpowiedni poziom niezawodności uzyskuje się przez: zwiększanie liczby linii zasilających, stosowanie rezerwy utajonej, sekcjonowanie szyn zbiorczych lub stosowanie rezerwowych źródeł zasilania (agregatów prądotwórczych, zasilaczy UPS) wyposażonych w automatykę SZR, przy czym efektywne ekonomicznie rozwiązanie wymaga podziału układu zasilania obiektu przemysłowego na sekcje o zróżnicowanych poziomach niezawodności.

#### Literatura

1. *Dolega W.*: Stacje elektroenergetyczne. Wrocław, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej 2007.
2. *Dolega W., Kobusiński M.*: Projektowanie instalacji elektrycznych w obiektach przemysłowych. Zagadnienia wybrane. Wrocław, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej 2009.

*Recenzent: dr inż. Zenon Okraszewski*

#### POWER SUPPLY SYSTEMS FOR INDUSTRIAL PLANTS WITH RESPECT TO THE RELIABILITY OF ELECTRICAL ENERGY SUPPLY

The article presents power supply systems for industrial plants with respect to the reliability of electrical energy supply. The author described the principles of industrial plants power supply, analyzed the selected high-reliability power supply systems, and evaluated the systems in their technological and technical aspects. Additionally, the means enabling to obtain a suitable level of reliability were analyzed and evaluated.

#### СХЕМЫ ПИТАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ БЕЗОТКАЗНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ ПОСТАВКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

В статье представлены схемы питания промышленных предприятий с точки зрения безотказности и надёжности поставки электрической энергии. Представлены принципы питания промышленных предприятий, проанализированы некоторые схемы питания с высокой надёжностью, а также выполнена оценка решений схем с технической и экономической точки зрения. Кроме этого проанализированы и выполнена оценка средств, позволяющих достигнуть надёжность на соответствующем уровне.