
INSTALACJE ELEKTRYCZNE

część 5

ZAKRES WYKŁADU

1. Krajowy system elektroenergetyczny
2. Struktura systemu elektroenergetycznego
3. Schematy zastępcze elementów systemu
4. Sterowanie pracą systemu
5. Straty mocy i energii
6. Jakość dostawy energii elektrycznej
7. Zadania praktyczne z instalacji

KRAJOWY SYSTEM ELEKTROENERGETYCZNY

Współczesny system elektroenergetyczny (SEE) funkcjonujący na terenie kraju jest zbiorem powiązanych ze sobą elementów służących do wytwarzania, przetwarzania, przesyłu i rozdziału energii elektrycznej oraz ośrodków dyspozytorskich sterujących pracą systemu.

Główne elementy systemu elektroenergetycznego (elektrownie i sieci elektroenergetyczne), tworzą układ funkcjonalnych połączeń, współpracujące na ściśle określonych zasadach, zdolne do trwałego utrzymywania określonych parametrów niezawodnościowych i jakościowych w dostawach energii elektrycznej oraz spełniania warunków obowiązujących we współpracy z innymi połączonymi systemami.

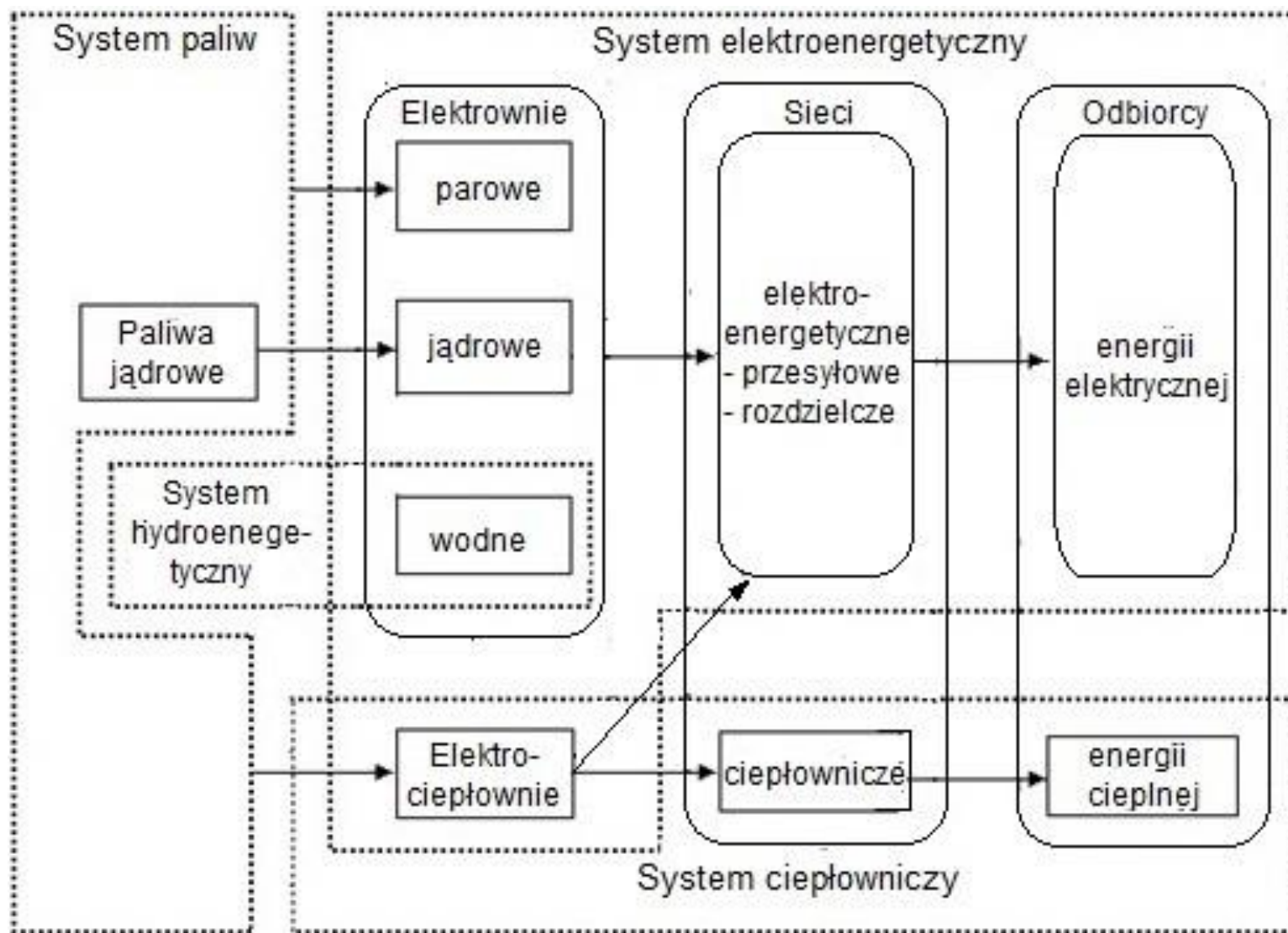
Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego [Dz.U.2007 Nr 93 poz.623], głównym celem systemu elektroenergetycznego jest niezawodne dostarczanie wytworzonej energii elektrycznej do odbiorców, przy zachowaniu określonych wymagań i norm jakościowych.

System elektroenergetyczny jest systemem rozległym terytorialnie, obejmuje cały kraj i jest powiązany z systemami elektroenergetycznymi innych krajów odpowiednimi połączeniami transgranicznymi. Współpracujące ze sobą systemy mogą być połączone:

- 1) galwanicznie liniami prądu przemiennego, zapewniając współpracę synchroniczną (częstotliwość jest jednakowa we wszystkich połączonych systemach) albo
- 2) za pomocą łączy prądu stałego (linii lub stacji przekształtnikowych), zapewniających współpracę asynchroniczną.

Z uwagi na realizowane funkcje system elektroenergetyczny dzieli się na dwa główne podsystemy:

- wytwórczy (elektrownie)
- przesyłowo-rozdzielczy (linie i stacje elektroenergetyczne).



Uproszczony schemat systemu elektroenergetycznego

WYTWARZANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Urządzenia przemieniające różne postacie energii na energię elektryczną nazywają się „przetwornikami”, zwane również generatorami (wytwornikami) energii elektrycznej. Generatory mogą być: proste (bezpośrednie), przemieniające daną postać energii jednostopniowo i złożone, oparte na kilkustopniowych przemianach energii w połączonych szeregowo przetwornikach prostych.

Do podstawowych rodzajów generatorów energii elektrycznej zalicza się:

a) **prądnice** – przetwarzają energię mechaniczną na energię elektryczną.

Stosowane są w elektrowniach:

- parowych klasycznych i jądrowych,
- z turbinami gazowymi,
- wodnych, – geotermalnych,
- wiatrowych;

b) **fotoogniwa**, w których energią wejściową jest promieniowanie słoneczne. Stosowane jako systemy fotowoltaiczne wykorzystujące bezpośrednio energię promieniowania świetlnego Słońca;

- c) **ogniwa galwaniczne i paliwowe**, przetwarzają energię chemiczną na energię elektryczną. Stosowane jako samodzielne źródła energii, przy czym:
- w ogniwach galwanicznych – energia musi być wcześniej zgromadzona w ogniwach,
 - w ogniwach paliwowych – po doprowadzeniu paliwa są gotowe do pracy;
- d) **radioizotopowe generatory termoelektryczne** – przetwarzają promieniowanie jądrowe na energię elektryczną. Stosowane jako samodzielne źródła energii.

Do przetwarzania energii mechanicznej na elektryczną dla potrzeb systemu elektroenergetycznego stosuje się trójfazowe prądnice synchroniczne (generatory), przy czym:

- a) **prądnice z utajonymi biegunami**, napędzane turbinami parowymi lub gazowymi, nazywają się turbogeneratorami, budowane jako dwubiegunowe, a dla bardzo dużych mocy, w elektrowniach jądrowych – jako czterobiegunowe
- b) **prądnice z jawnymi biegunami** – stosowane w elektrowniach wodnych nazywane hydrogeneratorami.

Wytwarzanie energii elektrycznej i/lub ciepłej w systemie elektroenergetycznym odbywa się:

- 1) w elektrowniach cieplnych kondensacyjnych współpracujących synchronicznie z systemem elektroenergetycznym, wytwarzających tylko energię elektryczną (bez wyzyskiwania ciepła pary wylotowej z turbiny parowej), pracujących na węglu kamiennym lub brunatnym. W elektrowniach z turbinami gazowymi czynnikiem roboczym są gazy, najczęściej spalinowe, wytwarzane w komorach spalania;
- 2) w elektrowniach wodnych przepływowych i szczytowo-pompowych;
- 3) w elektrowniach wykorzystujących energie odnawialne: wiatru i słońca.
- 4) w elektrociepłowniach miejskich i przemysłowych wytwarzających energię elektryczną w skojarzeniu z wytwarzaniem energii ciepłej. Moce takich elektrowni zależą od wielkości zapotrzebowania na ciepło i mieszczą się w granicach od kilku do kilkaset MW.

Źródła energii odnawialnych stanowią w chwili obecnej niewielki udział w podsystemie wytwórczym SEE. Większość z nich pracuje na potrzeby lokalnych odbiorców. Ich moce są bardzo zróżnicowane, od kilku kW – w przypadku małych źródeł niskiego napięcia, wykorzystywanych przez odbiorców indywidualnych, do kilkudziesięciu MW w przypadku dużych farm wiatrowych przyłączonych do sieci przesyłowo-rozdzielczej.

Energia elektryczna wytwarzana jest w elektrowniach podstawowych (dużych) SEE, w których prądnice synchroniczne (generatory) przyłączone są do sieci przesyłowej WN oraz w mniejszych elektrowniach, w których źródła wytwórcze przyłączone są do sieci rozdzielczej WN i SN, tworząc tzw. **generację rozproszoną**. Wytworzona energia elektryczna dostarczana jest siecią przesyłową i rozdzielczą do węzłów sieci rozdzielczych i do odbiorców.

Generacja rozproszona to źródła energii elektrycznej nie podlegające centralnemu dysponowaniu przez operatora systemu przesyłowego, przyłączone do systemu rozdzielczego lub bezpośrednio do sieci odbiorcy, która może współpracować z systemem elektroenergetycznym lub pracować jako układ wydzielony.

CECHY SYSTEMU ELEKTROENERGETYCZNEGO

System elektroenergetyczny cechują następujące szczególne właściwości:

- 1) Praca synchroniczna zespołów prądowórczych w systemie elektroenergetycznym.** Zespoły prądowórcze (turbogeneratory) w elektrowniach, powiązane ze sobą w systemie sieciami elektroenergetycznymi, w warunkach normalnych pracują synchronicznie. Prędkość kątowna ich mas wirujących jest jednakowa i proporcjonalna do częstotliwości systemu;
- 2) Wytwarzanie i przesyłanie energii elektrycznej.** Wytwarzanie i przesyłanie energii elektrycznej odbywa się praktycznie jednocześnie, nie występuje pojęcie „magazynowania energii elektrycznej”;
- 3) Zasady zachowania energii.** Łączna moc generowana w elektrowniach powinna być równa sumie mocy odbiorów i strat mocy w systemie;
- 4) Bilans mocy i energii.** Ilość energii wyprodukowanej w danym czasie musi być równa ilości energii traconej na drodze przesyłania i przetworzonej w odbiornikach. W dowolnym odcinku czasu musi być spełniony bilans energii elektrycznej, a w każdej chwili czasowej – bilans mocy;

- 5) Napędy elektryczne.** Prędkość kątowna mas wirujących napędów elektrycznych z silnikami synchronicznymi jest proporcjonalna do częstotliwości, natomiast prędkość kątowna mas wirujących napędów z silnikami asynchronicznymi (indukcyjnymi), jest w przybliżeniu proporcjonalna do częstotliwości (z uwzględnieniem zmienności poślizgu);
- 6) Funkcjonowanie systemu elektroenergetycznego.** System elektroenergetyczny zapewnia dostawę energii elektrycznej do odbiorców również w czasie wyłączenia z ruchu określonej liczby uszkodzonych lub wymagających naprawy czy konserwacji elementów systemu. Wymagane jest w związku z tym ciągle utrzymywanie w systemie odpowiednich stanów, konfiguracji i mocy źródeł, w celu zapewnienia bieżącego pokrywania obciążeń;
- 7) Niezawodność pracy systemu elektroenergetycznego.** Wymagana jest niezawodna praca systemu elektroenergetycznego, w szczególności poprzez odpowiednie rezerwowanie poszczególnych elementów systemu oraz wprowadzanie w szerokim zakresie nowoczesnych układów automatyki i sterowania;

8) Współpraca systemów elektroenergetycznych. System elektroenergetyczny jest systemem rozległym terytorialnie, obejmującym cały kraj, powiązany połączeniami transgranicznymi z systemami elektroenergetycznymi sąsiednich krajów. Współpracujące ze sobą systemy mogą być połączone:

- a) galwanicznie liniami prądu przemiennego, zapewniając współpracę synchroniczną (częstotliwość jest jednakowa we wszystkich połączonych systemach) albo
- b) za pomocą łączy prądu stałego (linii lub stacji przekształtnikowych) zapewniających współpracę asynchroniczną.

Szczegółowe warunki funkcjonowania systemu elektroenergetycznego w Polsce określone zostały w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 r. [Dz.U.07.93.623 z późn. zm].

STRUKTURA SYSTEMU ELEKTROENERGETYCZNEGO

Głównymi cechami systemu elektroenergetycznego są jego struktury: geograficzna i organizacyjno-własnościowa

Struktura geograficzna jest określona przez:

- a) rozmieszczenie odbiorców (przemysł, główne miasta)
- b) uwarunkowania lokalizacyjne elektrowni ciepłych (węgiel, woda chłodząca, ograniczenia ekologiczne),
- c) lokalizacje elektrowni wodnych i wiatrowych,
- d) możliwe trasy linii elektroenergetycznych

Struktura organizacyjno – własnościowa określa wzajemne powiązania organizacyjne i stosunki własnościowe elementów wchodzących w skład systemu elektroenergetycznego. Są to powiązania elektrowni z odbiorcami energii elektrycznej za pomocą sieci przesyłowych, sieci rozdzielczych i stacji transformatorowych wiążących te sieci oraz powiązania z innymi systemami elektroenergetycznymi. Głównym celem działania systemu elektroenergetycznego jest wytwarzanie i dostawa energii elektrycznej dla odbiorców w sposób ciągły i nieprzerwany, przy zachowaniu odpowiednich parametrów jakości i niezawodności dostawy.

ELEKTROWNIE

Elektrownią nazywa się zakład produkcyjny wytwarzający energię elektryczną na skalę przemysłową, współpracujący synchronicznie z systemem elektroenergetycznym, spełniający warunki techniczne określone przez operatora systemu, w szczególności pod względem właściwości ruchowych.

Podział elektrowni ze względu na rodzaj wykorzystywanej energii pierwotnej

1) Elektrownie ciepłne – produkują energię elektryczną na skalę przemysłową wykorzystując do tego celu energię paliw organicznych (konwencjonalnych lub jądrowych).

Elektrownie ciepłne dzielą się na:

a) elektrownie parowe klasyczne (konwencjonalne), w których czynnikiem roboczym jest wytworzona w kotle para wodna, wykonująca pracę w turbinie parowej;

- b) elektrownie gazowe, w których zespół wytwórczy tworzą: kocioł parowy i turbospół (turbina i generator). W elektrowniach z turbinami gazowymi czynnikiem roboczym są gazy, najczęściej spalinowe, wytwarzane w komorach spalania. Pozostałe główne przetworniki energii to turbina gazowa i prądnicą;
- c) elektrownie parowe jądrowe – w których rolę kotła spełnia reaktor jądrowy i wytwornica pary.

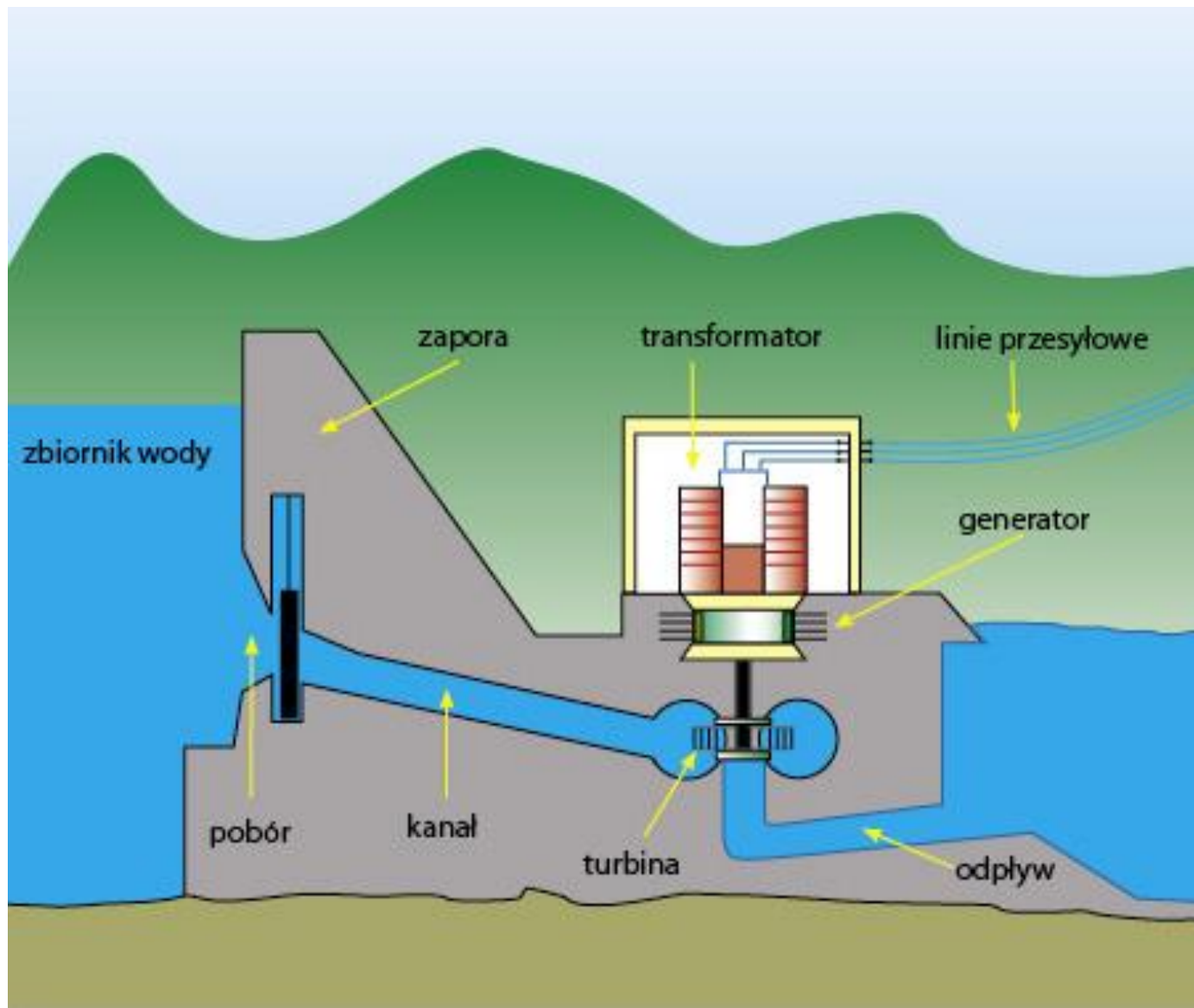
W zależności od rodzaju oddawanej energii elektrownie ciepłe dzielą się na:

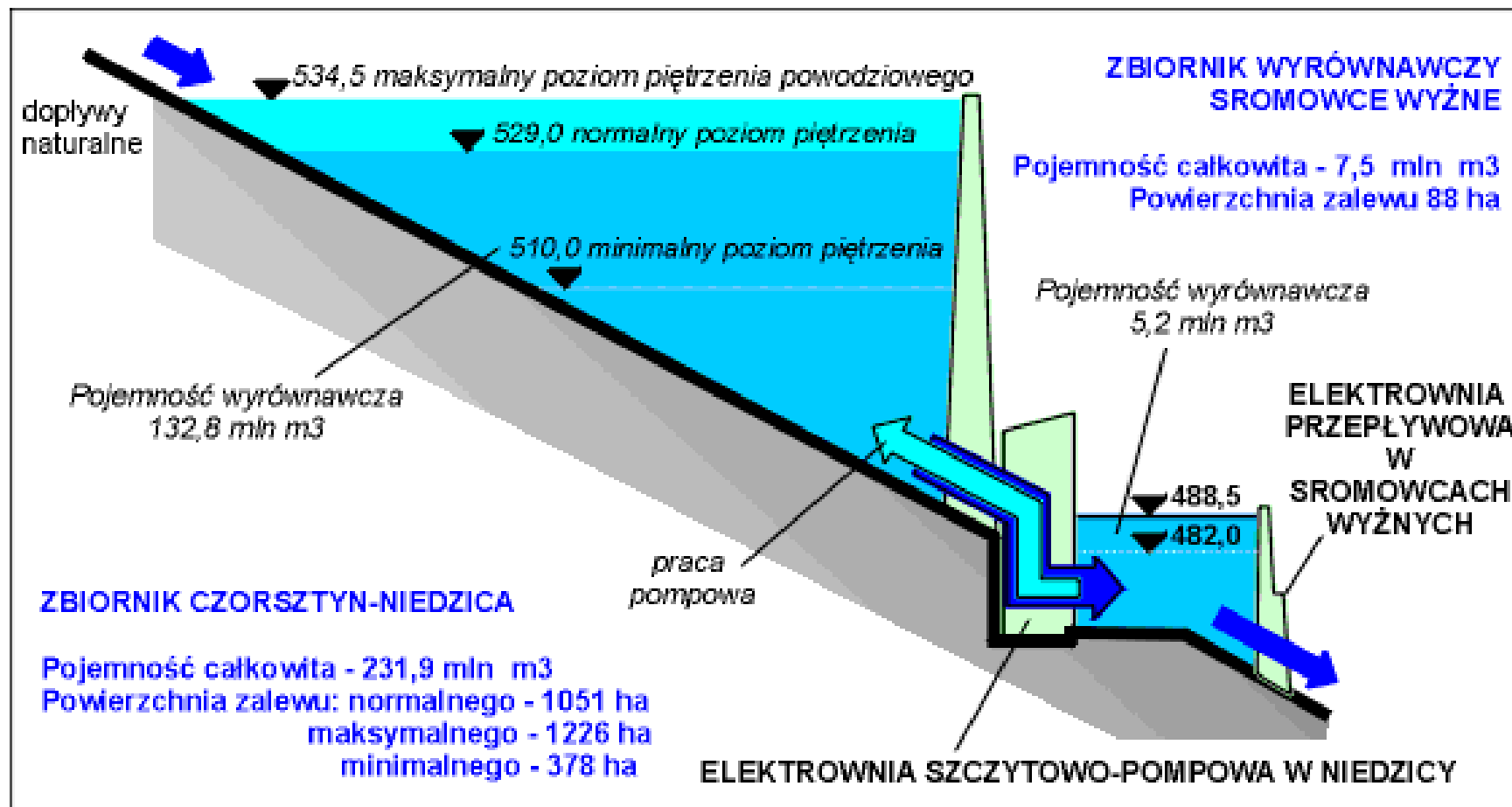
- a) elektrownie kondensacyjne, wytwarzające tylko energię elektryczną w turbozespołach kondensacyjnych;
- b) elektrociepłownie, wytwarzające energię elektryczną i ciepłą, oddawaną na zewnątrz w postaci pary lub gorącej wody, w ilości co najmniej 10% produkowanej energii. Do urządzeń potrzeb własnych w elektrowniach ciepłych należy przede wszystkim zaliczyć: pompy wody zasilającej, młyny węglowe, układy regulacji częstotliwości i mocy w systemie elektroenergetycznym, pompy wody chłodzącej, skraplacze, elektrofiltry, układy odpopielania i wiele innych;

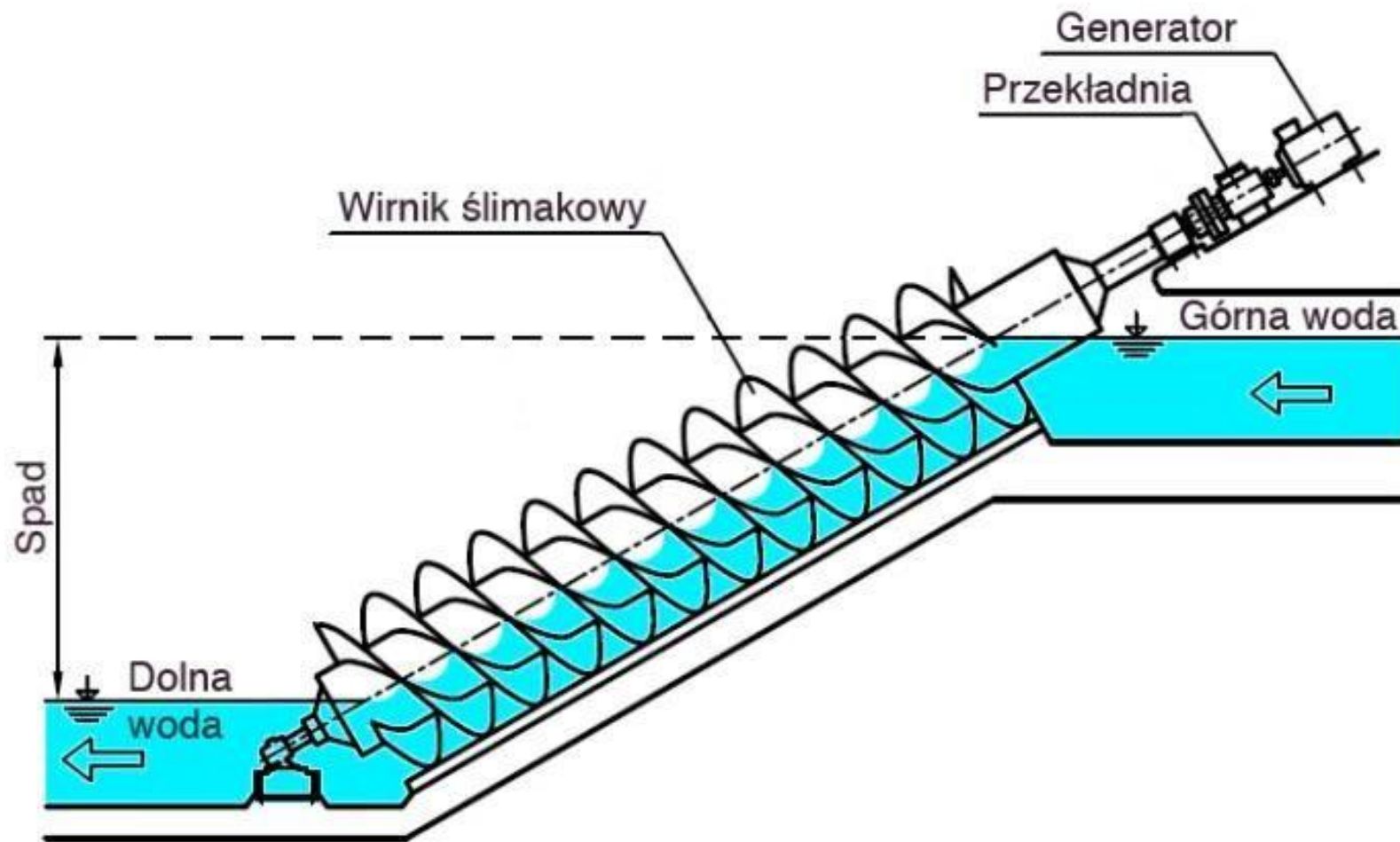
2) Elektrownie wodne – zamieniają energię potencjalną wody (energię spadku wód) na energię mechaniczną w turbinie wodnej, a następnie na energię elektryczną w prądniczy napędzanej przez turbinę wodną. Składają się z hydrozespołów, budowli piętrzących, kanałów derywacyjnych, sztolni, rurociągów,

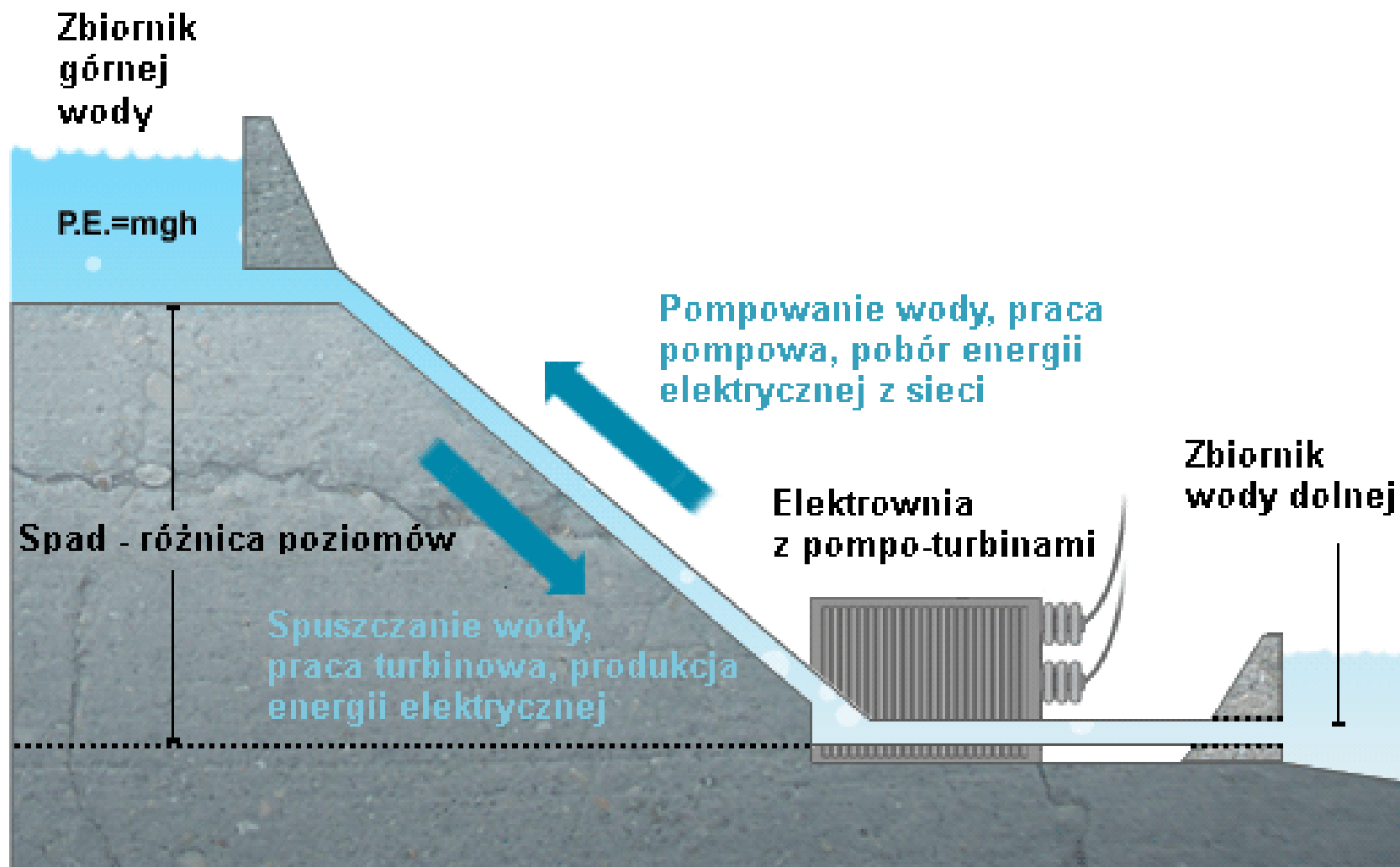
Elektrownie wodne dzielą się na:

- a) elektrownie przepływowe – wykorzystują naturalny, ciągły przepływ cieku wodnego (nie mają zbiornika do magazynowania wody); np.: El. Włocławek, Dębe,
- b) elektrownie zbiornikowe – wyposażone w zbiorniki wody dla lepszego wykorzystania cieku wodnego; Rożnów, Tresna, Porąbka, Czchów. Otmuchów,
- c) elektrownie pompowe (szczytowo-pompowe) – w okresach małego obciążenia SEE woda jest przepompowywana ze zbiornika dolnego do górnego; Porąbka-Żar, Żarnowiec.
- d) elektrownie zbiornikowe z członem pompowym – zbiorniki górne są częściowo napełniane przez dopływy naturalne, a częściowo (w okresach małych obciążeń) uzupełniane wodą tłoczoną przez pompy ze zbiorników dolnych; Solina, Niedzica.



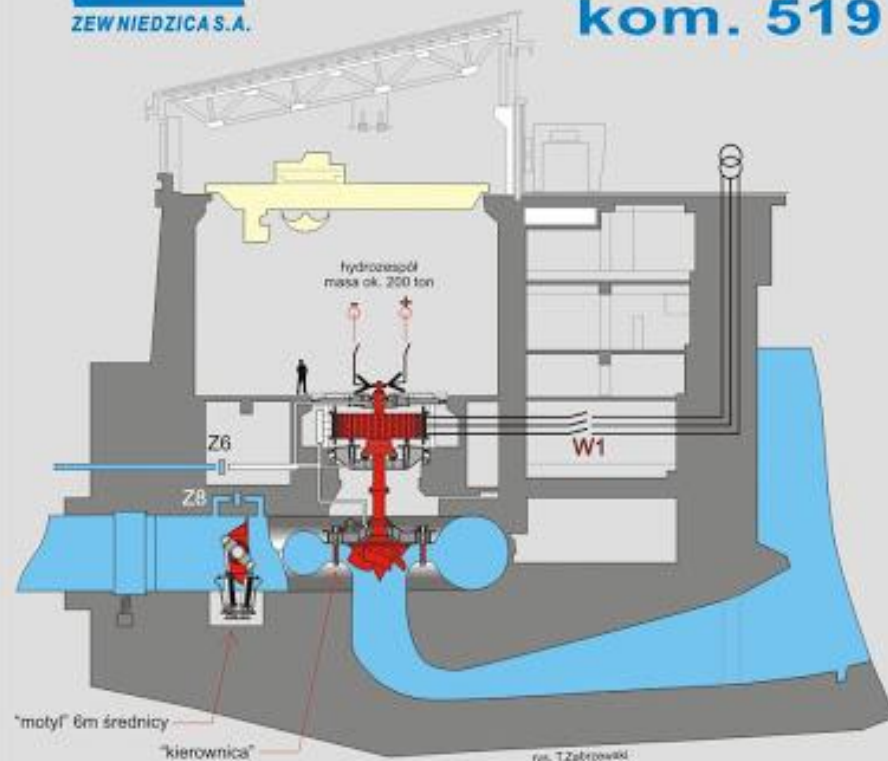








Zwiedzanie elektrowni wodnej w Niedzicy kom. 519 337 106



zwiedzanie z przewodnikiem
www.zew-niedzica.pl www.niedzica.pl

Ogólne zwiedzanie elektrowni – czas zwiedzania ok. 1 h
Zwiedzanie szczegółowe - po uzgodnieniu telefonicznym

Start zwiedzania - Pawilon Wystawowy - tel. 18 26 10 144







3) Elektrownie wiatrowe - Energia wiatru jest wykorzystywana na Ziemi już od kilku tysięcy lat. Wraz z odkryciem elektryczności energia wiatru znalazła nowe zastosowanie – wytwarzanie energii elektrycznej.

Pierwsza turbina wiatrowa, wyposażona w generator prądu przemiennego, została skonstruowana w 1950 r. Natomiast w 1957 roku zbudowano elektrownię wiatrową o mocy 200 kW. Siłownia tej elektrowni została wyposażona: w trójłatowy wirnik zwrócony przodem do kierunku wiatru, generator asynchroniczny, mechanizm ustawiania kierunku, hamulce aerodynamiczne oraz regulację mocy poprzez zmianę kąta natarcia łopat.

Obecnie są budowane elektrownie wiatrowe o małych, średnich i dużych mocach wykorzystywane zarówno dla potrzeb systemu elektroenergetycznego, jak również dla lokalnych potrzeb własnych.

Na Morzu Irlandzkim działa od niedawna farma wiatrowa z największymi na świecie turbinami o mocy 8 MW każda. Trwają również testy turbin o mocy 9 i 10 MW.

Ze względu na przeznaczenie elektrownie wiatrowe dzieli się na:

- a) Elektrownie wiatrowe o mocy do 100 W – przystosowane do magazynowania energii elektrycznej w baterii akumulatorów, wykorzystywanej następnie do zasilania wydzielonego obwodu lub odbiornika elektrycznego
- b) Elektrownie wiatrowe o mocy od 3,5 do 50 kW – służą jako dodatkowe źródło energii, które w pewnym stopniu uniezależnia odbiorcę od sieci lokalnego dystrybutora energii elektrycznej. Może ona zasilać, np. wydzielony obwód oświetleniowy, obwód ogrzewania podłogowego albo całą instalację domową, np. w przypadku braku zasilania podstawowego;
- c) Elektrownie wiatrowe o mocach od 50 do 250 kW – przeznaczone są przede wszystkim do zasilania odbiorców lokalnych. Mogą zapewniać dostawę energii elektrycznej do pojedynczych gospodarstwach domowych, ogrodniczych, a nawet małych zakładów przemysłowych;

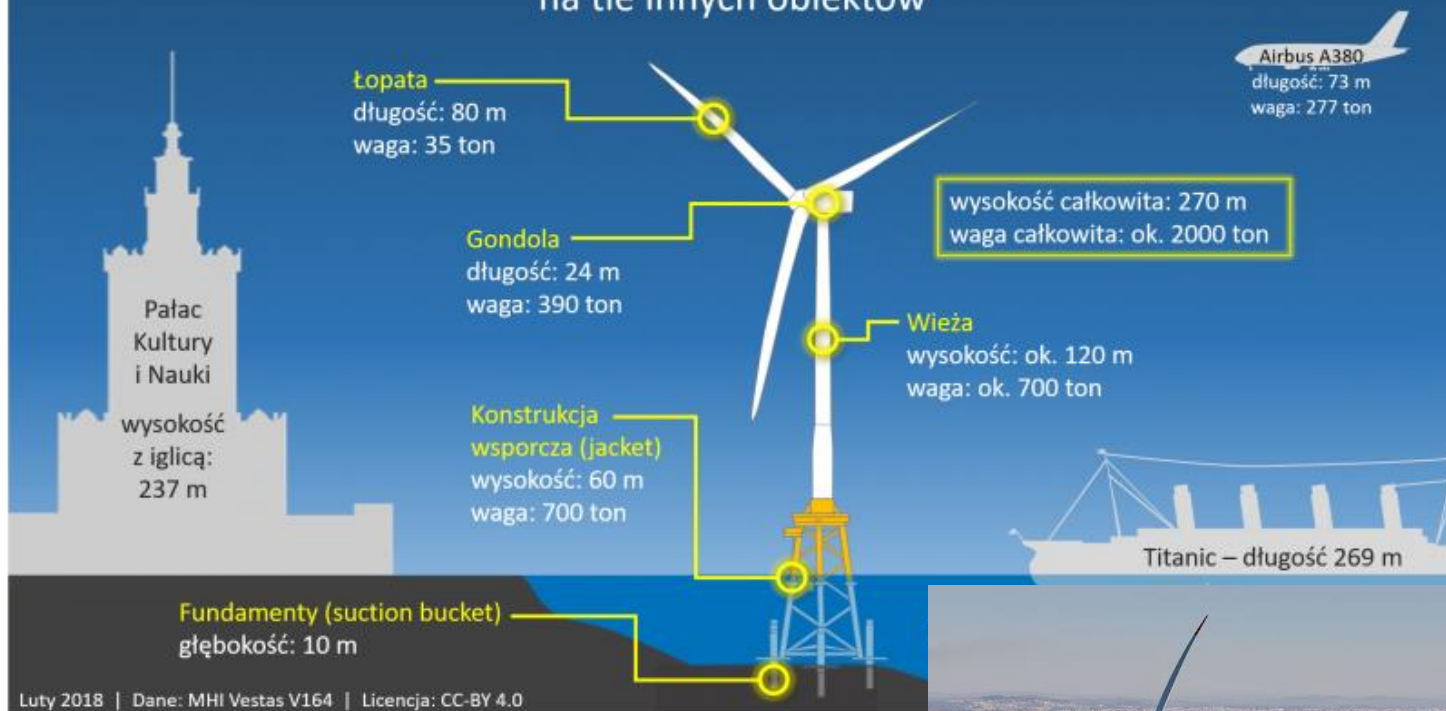
d) Elektrownie wiatrowe o bardzo dużych mocach – są autonomicznymi jednostkami wytwórczymi o mocy 2 MW lub więcej, mogą przekazać wytworzoną energię elektryczną do systemu elektroenergetycznego. Są to elektrownie wiatrowe o wysokim poziomie technicznym zarówno pod względem sprawności przetwarzania energii wiatru na energię elektryczną, jak również stosowanych materiałów, technologii wykonania i wysokiej niezawodności.

Istotne znaczenie dla wyboru lokalizacji i projektowania budowy elektrowni wiatrowych mają takie uwarunkowania jak:

- a) cechy wiatru, jako elementu dynamicznego, uzależnionego od charakteru cyrkulacji ogólnej i warunków lokalnych,
- b) wysokość nad poziomem morza, rzeźba terenu, szorstkość podłoża, a także przeszkód terenowe.

Najkorzystniejsze warunki pracy elektrowni wiatrowych występują w pasie nadmorskim, w części centralnej Polski oraz na obszarach górskich. Do budowy elektrowni wiatrowych stosuje się obecnie coraz wyższe wieże sięgające 100 m.

Morska turbina wiatrowa o mocy od 8 do 9,5 MW na tle innych obiektów



Do zalet elektrowni wiatrowych zalicza się: brak kosztów paliwa oraz brak emisji zanieczyszczeń. Wadami są natomiast: wysokie nakłady inwestycyjne, hałas, zagrożenie dla ptaków, ale przede wszystkim wysoka niestabilność i nieprzewidywalność pracy turbiny (zależna od wiatru), co z kolei wpływa destabilizująco na pracę sieci elektroenergetycznej. Ten stan wymaga zwiększenia rezerw mocy w postaci innych źródeł energii elektrycznej oraz utrudnia prowadzenie ruchu systemu elektroenergetycznego.

4) Elektrownie słoneczne. Pozyskanie energii słonecznej polega na konwersji fotoelektrycznej lub fototermicznej, w wyniku których ostatecznie otrzymuje się odpowiednio, energię elektryczną lub ciepłą.

Systemy fotowoltaiczne należą do odnawialnych źródeł energii wykorzystujących bezpośrednio energię promieniowania świetlnego Słońca. Głównym składnikiem takiego systemu są fotowoltaiczne ogniwa słoneczne. Zasada działania ogniwa fotowoltaicznego polega na wykorzystaniu zjawiska fotoelektrycznego wewnętrznego. Promieniowanie świetlne na sieć krystaliczną półprzewodnika typu n, powoduje efekt uwalniania elektronów i powstanie siły elektromotorycznej na złączu p – n.

Ogniwa fotowoltaiczne, do budowy których stosowane są materiały półprzewodnikowe takie jak: krzem, selen, tellurek kadmu oraz arsenek galu, łączy się w kolektory o mocy zainstalowanej rzędu megawatów. Powszechnie stosuje się zespoły ogniw o mocy rzędu kilku kW, zainstalowane na dachach domów.

Ze względu na zmienność nasłonecznienia korzystne jest sprzężenie zespołu fotoogniw z zasobnikami energii elektrycznej, np. z baterią akumulatorów. Takie układy hybrydowe są droższe, ale lepiej dopasowują moc do zmiennego zapotrzebowania na moc odbiorcy, niezależnie od warunków słonecznych. W zależności od mocy stosowanych kolektorów słonecznych systemy fotowoltaiczne mogą być połączone z siecią elektroenergetyczną lub bezpośrednio zasilać instalacje odbiorcze.

W układach fototermicznych skoncentrowana energia promieniowania słonecznego jest przetwarzana na energię cieplną czynnika roboczego (np. olej termiczny glikol, woda), wykorzystywaną do:

- a) produkcji energii elektrycznej – wytworzona w wymienniku ciepła para napędza turbinę oraz sprzężoną z nią prądnicę,
- b) podgrzewania wody, wspomaganie centralnego ogrzewania lub ciepła technologicznego.

W zastosowaniach praktycznych wyróżnia się:

- a) konwersję fototermiczną pasywną, polegającą na tym, że przepływ nośnika ciepła (na przykład ogrzanej wody) odbywa się jedynie w drodze konwekcji
- b) konwersję aktywną, podczas której wymuszony przepływ nośnika ciepła odbywa się np. przy użyciu pomp zasilanych z innych źródeł energii.

Do zalet elektrowni słonecznych zalicza się: brak emisji zanieczyszczeń do atmosfery, niskie koszty utrzymania, brak kosztów paliwa. Z drugiej strony ogniwa te odznaczają się wysokimi kosztami instalacji, silną zależnością od warunków atmosferycznych oraz niską sprawnością (14 – 20%).

5) Elektrownie geotermalne

Pozyskiwanie energii geotermalnej z głębi Ziemi należy do najtrudniejszych z odnawialnych źródeł energii. Odbywa się z zasobów hydrogeotermalnych, gdzie nośnikiem ciepła są wody podziemne pozyskiwane przez otwory wiertnicze i z zasobów petrogeotermalnych, czyli suchych gorących skał, z których energię pozyskuje się przez wprowadzenie wody otworami wiertniczymi do nagrzanego zespołu skalnych. Złoża par i wód geotermalnych eksploatowane są głównie z głębokości do 4000 metrów.

Przy wyborze metody pozyskiwania energii elektrycznej wpływ mają przede wszystkim parametry wody wydobywanej z wnętrza Ziemi, czyli jej temperatura, stan termodynamiczny i skład chemiczny.

Zasoby hydrogeotermalne wysokotemperaturowe mogą być wykorzystywane do wytwarzania energii elektrycznej w elektrowniach geotermalnych. Występujące w Polsce bogate zasoby wód geotermalnych nie nadają się do wytwarzania energii elektrycznej z powodu zbyt niskich parametrów temperaturowych. Woda geotermalna o temperaturze nieprzekraczającej 120 °C wykorzystywana jest przede wszystkim w ciepłowniach geotermalnych dla celów ogrzewczych oraz po części w rekreacji.

PODZIAŁ ELEKTROWNI ZE WZGLĘDU NA CZAS PRACY W CIĄGU ROKU

- a) Elektrownie podstawowe – pracują z prawie niezmiennym obciążeniem przez większość dni w roku (elektrownie parowe o małym jednostkowym koszcie paliwa i dużej sprawności, elektrownie jądrowe i elektrociepłownie);
- b) Elektrownie podszczytowe – zmniejszają znacznie swoje obciążenie w dolinach obciążenia systemu (starsze elektrownie parowe, elektrownie wodne ze zbiornikiem o niedużym czasie napełniania);
- c) Elektrownie szczytowe – uruchamiane tylko w okresach szczytowego obciążenia każdej doby (elektrownie gazowe i gazowo-parowe, specjalne elektrownie parowe o szybkim rozruchu, stare elektrownie parowe o dużym koszcie paliwa).

SCHEMATY ZASTĘPCZE ELEMENTÓW SYSTEMU ELEKTROENERGETYCZNEGO

Schemat zastępczy systemu elektroenergetycznego w układzie trójfazowym

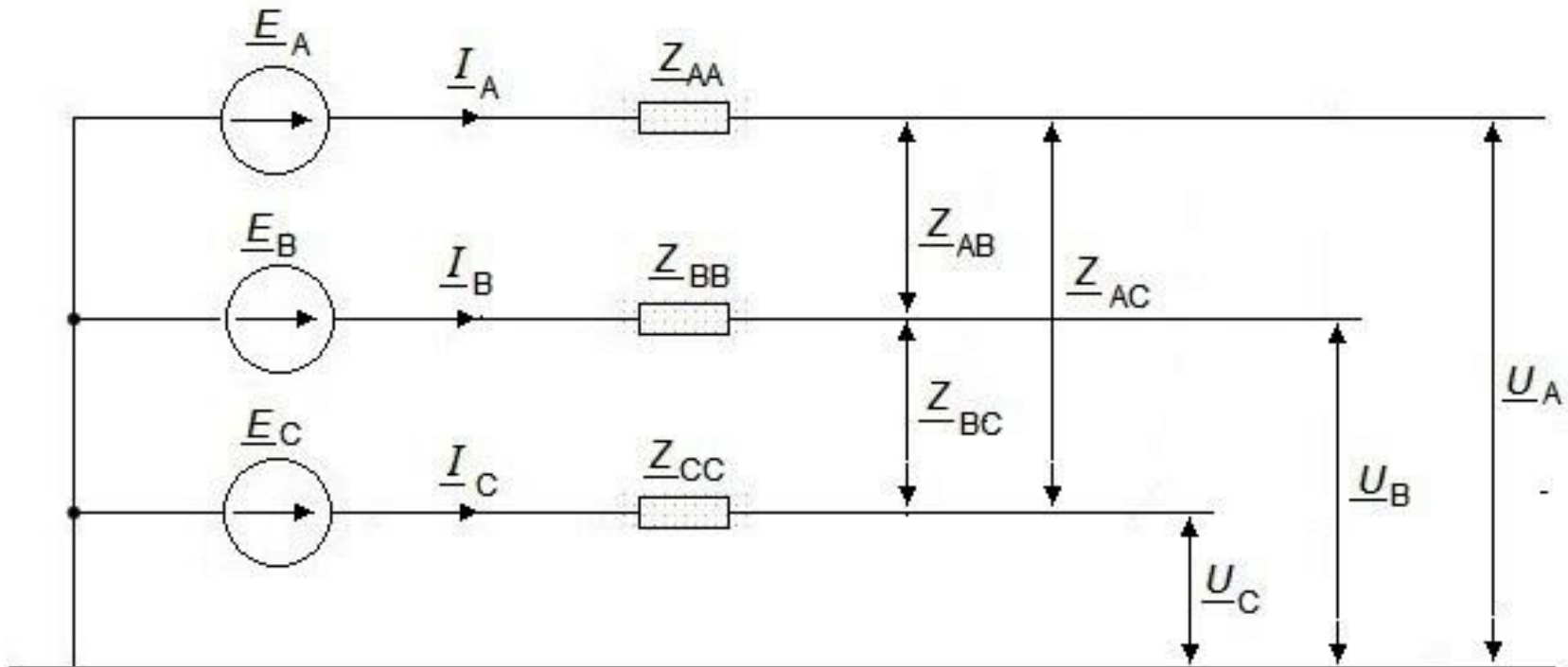
Schematy zastępcze elementów systemu elektroenergetycznego mogą służyć do wykonywania obliczeń elektrycznych układów elektroenergetycznych, np. do wyznaczania: rozplywów prądów i spadków napięć, prądów płynących w czasie zwarć symetrycznych lub strat mocy i energii.

Do określania schematu zastępczego przyjmuje się następujące założenia:

- a) symetria obciążenia – każdy przewód przewodzi prąd o tej samej wartości, a wektory prądów są przesunięte względem siebie o 120° ;
- b) symetria elementu – wszystkie przewody są jednakowo wykonane i usytuowane jednakowo względem siebie i względem ziemi. Wynika stąd, że każda faza układu pracuje niezależnie od pozostałych faz, a wartości skuteczne prądów i napięć są takie same.

Można zatem rozważyć ogólny układ linii trójfazowej o impedancjach własnych fazowych Z_{AA} , Z_{BB} , Z_{CC} oraz impedancjach wzajemnych pomiędzy fazami Z_{AB} , Z_{BC} , Z_{CA}

Na początku układu została przyłożona siła elektromotoryczna (SEM) odpowiednio E_A , E_B , E_C . Układ jest obciążony prądami fazowymi I_A , I_B , I_C , a napięcia na jego końcu wynoszą U_A , U_B , U_C .



Równania elementu trójfazowego można zapisać następująco:

$$\begin{aligned}\underline{U}_A &= \underline{E}_A - (\underline{I}_A \underline{Z}_{AA} + \underline{I}_B \underline{Z}_{AB} + \underline{I}_C \underline{Z}_{AC}) \\ \underline{U}_B &= \underline{E}_B - (\underline{I}_A \underline{Z}_{BA} + \underline{I}_B \underline{Z}_{BB} + \underline{I}_C \underline{Z}_{BC}) \\ \underline{U}_C &= \underline{E}_C - (\underline{I}_A \underline{Z}_{CA} + \underline{I}_B \underline{Z}_{CB} + \underline{I}_C \underline{Z}_{CC})\end{aligned}$$

SCHEMAT ZASTĘPCZY LINII ELEKTROENERGETYCZNEJ

Celem schematu zastępczego linii elektroenergetycznej jest odwzorowanie zjawisk występujących przy przesyłaniu energii elektrycznej. Do parametrów schematu zalicza się następujące wielkości:

R_k – rezystancja związana z wydzielaniem energii cieplnej w przewodach przy przepływie prądu;

X_k – reaktancja indukcyjna, wynikająca z istnienia pola magnetycznego wokół przewodów;

G_k – konduktancja (przewodność czynna), związana ze zjawiskami zachodzącymi w izolacji przewodu względem otoczenia;

B_k – susceptancja (przewodność bierna), wynikająca z istnienia pola elektrycznego pomiędzy poszczególnymi przewodami oraz przewodami a ziemią.

Rezystancje, impedancje i admitancje dla całej długości linii otrzymuje się mnożąc wartości jednostkowe tych wielkości przez długość linii (l).

Na podstawie parametrów schematu odniesionych do jednostki długości linii, wyznacza się jednostkową (kilometryczną) impedancję Z_k i admitancję Y_k linii:

$$\underline{Z}_k = (R_k + jX_k)$$

$$\underline{Y}_k = (G_k + jB_k)$$

W liniach elektroenergetycznych bardzo długich, o napięciach wysokich (WN) i najwyższych (NN), charakter zjawisk jest falowy, stąd związki pomiędzy napięciami i prądami na początku i końcu linii opisuje się równaniami linii długiej z zależności:

$$\underline{U}_{f1} = \underline{U}_{f2} \operatorname{ch}(\underline{\gamma}l) + \underline{I}_2 \underline{Z}_f \operatorname{sh}(\underline{\gamma}l)$$

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_2 \operatorname{ch}(\underline{\gamma}l) + \frac{\underline{U}_{f2}}{\underline{Z}_f} \operatorname{sh}(\underline{\gamma}l)$$

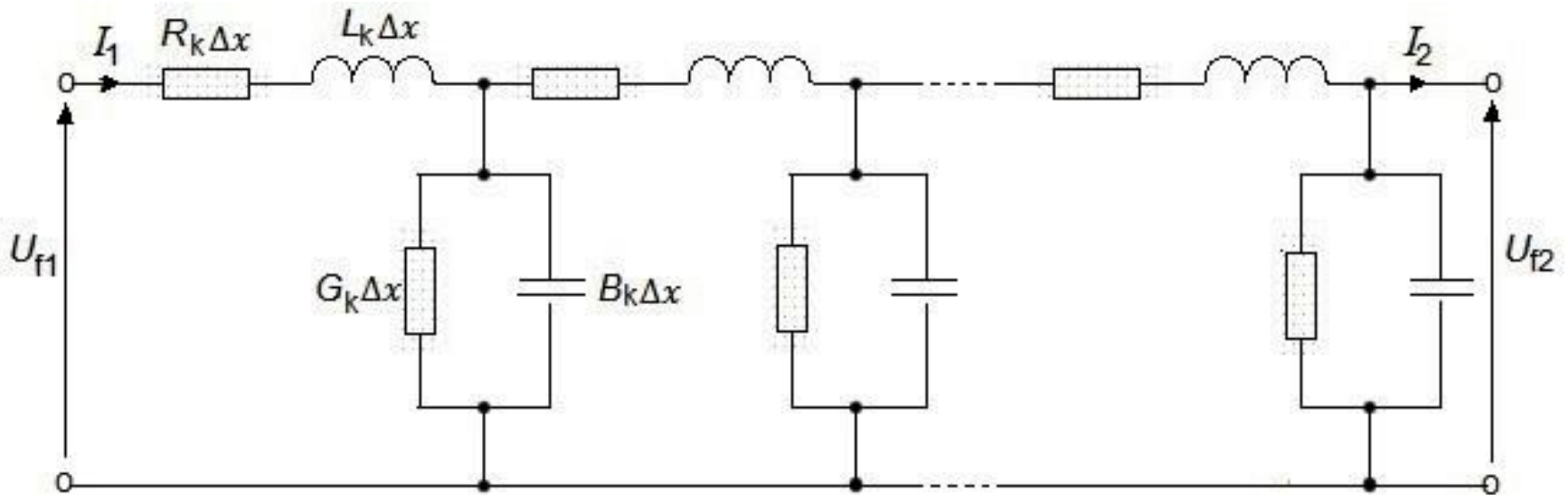
gdzie:

γ – współczynnik rozchodzenia się fali elektromagnetycznej;

Z_f – impedancja falowa linii, w Ω ;

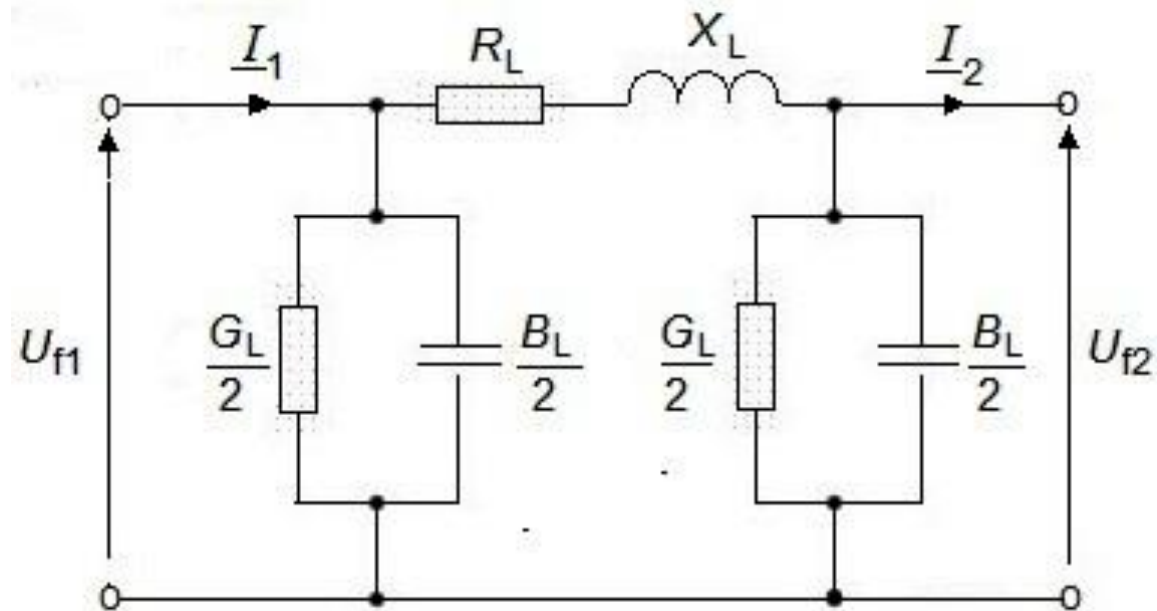
l – długość linii, w m.

Na podstawie wyznaczonych impedancji Z_k i admitancji Y_k jednostkowych linii oraz równań linii długiej można przedstawić schemat zastępczy linii o parametrach rozłożonych, gdzie Δx jest elementarną długością linii



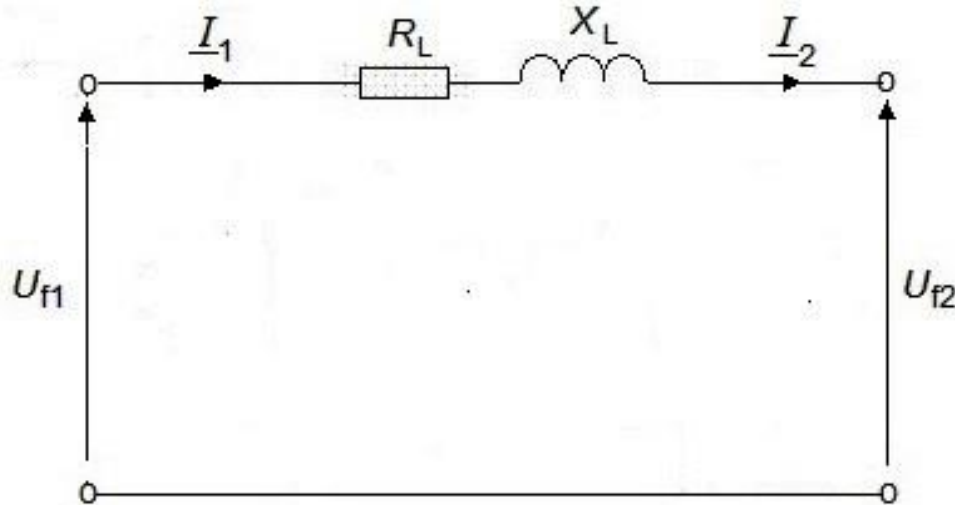
Schemat zastępczy linii typu π o parametrach skupionych – odwzorowuje elementy sieci elektroenergetycznej, przy czym w gałęziach poprzecznych uwzględnia się wyłącznie susceptancje pojemnościowe.

Wielkościami charakterystycznymi linii elektroenergetycznej są impedancje i admitancje jednostkowe, tj. odniesione do 1 km długości linii, oznacza się przez R' , X' , B' a ich wartości oblicza się albo odczytuje z odpowiednich tablic lub wykresów.



SCHEMAT ZASTĘPCZY LINII Z POMINIĘCIEM GAŁĘZI POPRZECZNYCH

Do określenia parametrów linii o niższych napięciach można przyjąć schemat zastępczy uproszczony, w którym pomija się gałęzie poprzeczne (zjawiska z jakimi związane są parametry tych gałęzi nie mają praktycznego znaczenia).



Przy obliczeniach krótkich linii elektroenergetycznych niskiego napięcia, nie wymagających dużej dokładności, dopuszcza się dalsze uproszczenia polegające na pominięciu reaktancji linii.

Zależności umożliwiające obliczanie parametrów schematu zastępczego linii elektroenergetycznej, przy pominięciu skomplikowanej analizy pola magnetycznego i elektrycznego koniecznej dla wyznaczenia zależności na indukcyjność i pojemność przewodu, w uproszczonej postaci końcowej wzorów, są następujące:

1) Rezystancja linii

Rezystancję linii, równoznaczną z rezystancją przewodów linii, oblicza się ze wzoru

$$R_L = R_k \cdot l$$

gdzie:

R_k – rezystancja jednostkowa, w Ω/km ,

l – długość linii, w km.

$$R_L = \frac{l}{\gamma \cdot S}$$

gdzie:

γ – jest konduktywnością (przewodnością właściwą) przewodu w $\text{m}/\Omega\text{mm}^2$;

S – jest rzeczywistym przekrojem przewodów AFL (przekrój części AL), w mm^2 .

2) Reaktancja indukcyjna

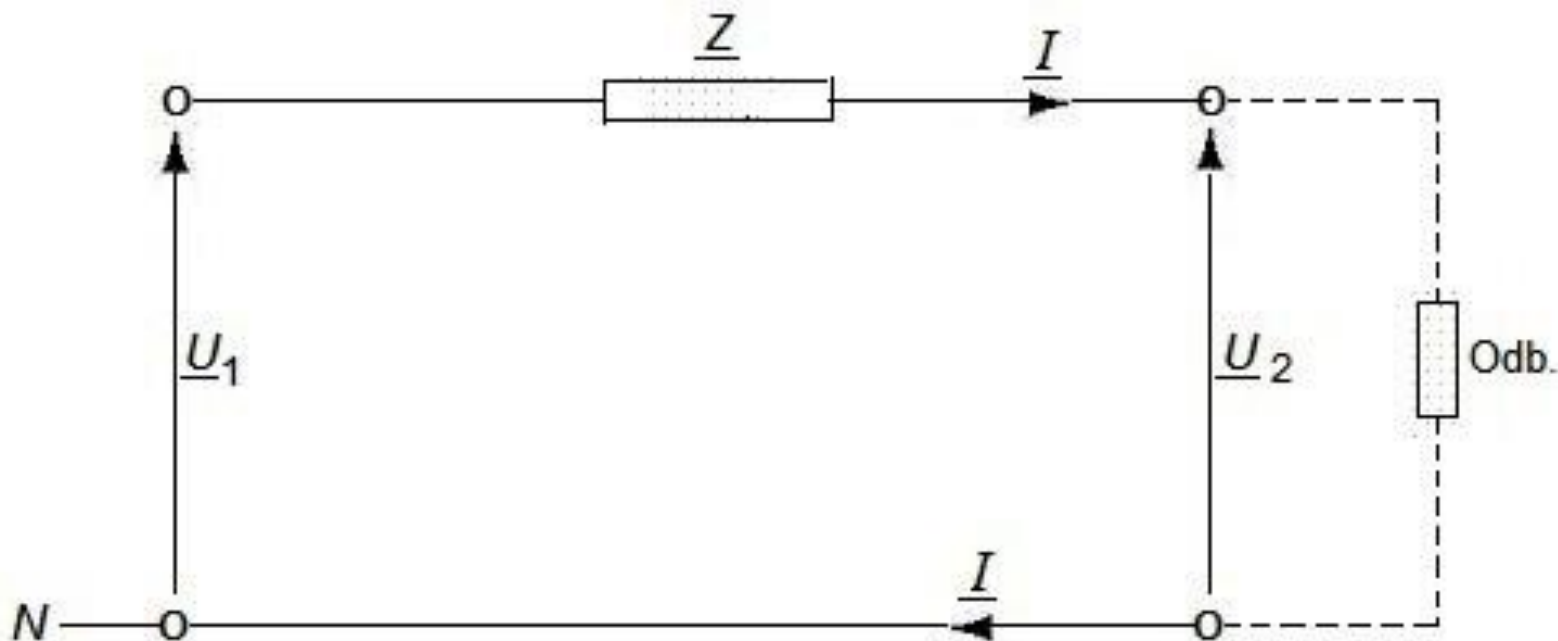
Reaktancję indukcyjną X_k , oblicza się ze wzoru:

$$X_k = \omega L_k = 2\pi f L_k$$

gdzie:

ω – pulsacja prądu, w rad/s ($\omega = 2\pi f$);

L_k – jest indukcyjnością jednostkową linii, w H/km, którą wyznacza się na podstawie analizy pola magnetycznego w przestrzeni ograniczonej przewodami czynnymi.



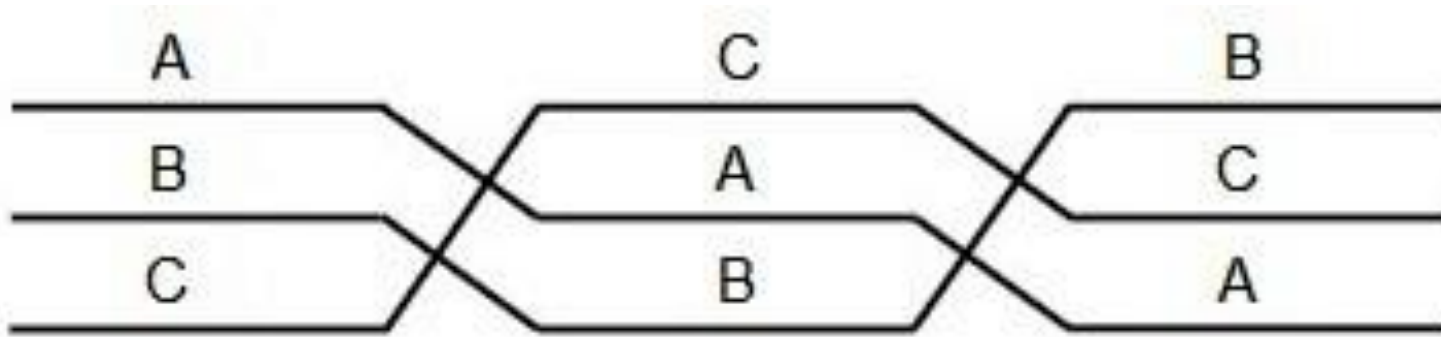
Oznaczenia:

N – fikcyjny przewód neutralny układu,

Odb. – umyślony odbiornik pobierający 1/3 część całkowitego obciążenia,

U_1 – napięcie fazowe względem punktu neutralnego.

Liniami symetrycznymi pod względem magnetycznym są linie, których przewody ułożone są w wierzchołkach trójkąta równobocznego. W układach niesymetrycznych o znacznej niesymetrii wskazana jest symetryzacja ze względu na różne spadki napięć. Dla uzyskania wymaganej symetrii linii elektroenergetycznej stosuje się tzw. przeplatanie przewodów



W tym celu linię dzieli się na podzielną przez 3 liczbę sekcji, natomiast trzy sekcje stanowią jeden cykl splatania. W każdej sekcji przewód danej fazy prowadzi się w innym położeniu względem przewodów faz pozostałych, a całą linię uznaje się za symetryczną.

Średnie odległości między przewodami (b_{sr}) dla różnych układów linii napowietrznej wynoszą:

a) w układzie trójfazowym

$$b_{\text{sr}} = \sqrt[3]{b_{\text{AB}} + b_{\text{AC}} + b_{\text{BC}}}$$

b) dla symetrycznych układów przewodów

$$b_{\text{sr}} = b$$

c) dla płaskiego układu przewodów

$$b_{\text{sr}} = \sqrt[3]{2} b$$

d) dla linii dwutorowej z symetrycznie rozmieszczonymi torami

$$b_{\text{sr}} = \sqrt[3]{\frac{b_{\text{AB}} \cdot b_{\text{BC}} \cdot b_{\text{CA}} \cdot b_{\text{AB}} \cdot b_{\text{BC}} \cdot b_{\text{CA}}}{b_{\text{AA}} \cdot b_{\text{BB}} \cdot b_{\text{CC}}}}$$

Indukcyjność przewodów wiązkowych oblicza się ze wzoru:

$$L_k = \left[4,6 \lg \left(\frac{b_{\dot{s}r}}{0,779r} \right) \right] \cdot 10^{-4}$$

gdzie r_z jest zastępczym promieniem przewodu określonym zależnością:

$$r_z = r^{1/n} \cdot a_{\dot{s}r}^{(1-n)/n}$$

przy czym:

$b_{\dot{s}r}$ – średni odstęp między środkami geometrycznymi wiązek;

r – rzeczywisty promień przekroju przewodów należących do wiązki;

$a_{\dot{s}r}$ – średni geometryczny odstęp przewodu wiązki od pozostałych przewodów tej samej wiązki, który wynosi:

$$r_{\dot{s}r} = \sqrt[m]{r a_{\dot{s}r}^{m-1}}$$

gdzie: $a_1, a_2 \dots a_m$ – odległości między kolejnymi przewodami wiązki.

3) Susceptancja linii

W linii występują pojemności wzajemne między przewodami oraz pojemności między przewodami a ziemią. Pojemność dla jednej fazy linii symetrycznej pojemnościowo jest równa sumie pojemności cząstkowej tej fazy względem ziemi oraz potrójnej wartości pojemności cząstkowej wzajemnej, przy czym pojemności poszczególnych faz są w tym przypadku jednakowe.

Susceptancja linii elektroenergetycznej wyrażona w S/km wynosi

$$B_L = \omega C_k$$

gdzie:

B_k – susceptancja jednostkowa, w S/km;

C_k – jednostkowa pojemność robocza linii, w F/km.

4) Konduktancja linii

Konduktancja linii elektroenergetycznej napowietrznej odzwierciedla straty mocy czynnej poprzecznej, czyli straty związane z upływem prądu przez izolację oraz straty związane ze zjawiskiem ulotu (w liniach WN). W liniach kablowych występuje również zjawisko histerezy dielektrycznej.

Wartość prądu upływu w linii, płynącego przez izolację (np. przez izolatory linii) do ziemi, zależy od długości linii. Największa upływność prądu występuje w krótkich liniach niskiego napięcia. Praktycznego znaczenia nie ma też upływność w liniach wyższych napięć, tak więc konduktancję związaną z upływnością prądu w izolacji linii można pominąć. A zatem, konduktancję linii należy uwzględnić wówczas, gdy występuje zjawisko ulotu.

Zjawisko ulotu w liniach napowietrznych WN polega na upływie ładunków z przewodu, na skutek wyładowania elektrycznego powstającego w powietrzu wokół przewodu. Zjawisko ulotu istnieje wówczas, gdy fazowe napięcie robocze linii U_f będzie większe od napięcia, przy którym występuje wyładowanie, tzw. **napięcia krytycznego** U_{fkr} ulotu, wtedy: $U_f > U_{fkr}$

Straty mocy czynnej w liniach napowietrznych ΔP_{ul} (w kW/km), związane z ulotem, dla $f = 50$ Hz i $\delta = 1$, określa wzór

$$\Delta P_{ul} = 0,18 \cdot \sqrt{\frac{r}{b_{sr}}} \cdot (U_f - U_{fkr})^2 \cdot 10^{-3}$$

Straty mocy czynnej w liniach kablowych ΔP_h (w kW/km), powstałe na skutek histerezy dielektrycznej w kablach, można wyznaczyć ze wzoru

$$\Delta P_h = U_f^2 \omega C \operatorname{tg} \delta \cdot 10^{-3}$$

gdzie:

U_f – napięcie fazowe linii, w kV;

C – pojemność robocza kabla, w $\mu\text{F}/\text{km}$;

$\operatorname{tg} \delta$ – współczynnik stratności dielektrycznej.

STEROWANIE PRACĄ SYSTEMU ELEKTROENERGETYCZNEGO

System elektroenergetyczny, jako zbiór wzajemnie powiązanych elementów służących do wytwarzania, przesyłu i rozdziału energii elektrycznej, jest złożonym i rozległym terytorialnie obiektem sterowania. Sterowanie należy rozumieć jako celowe oddziaływanie na elementy, grupy i zbiory w całym systemie, dla osiągnięcia określonych celów.

Do podstawowych celów sterowania w systemie należy:

- a) **cel techniczny** – polegający na utrzymaniu określonych zmiennych stanu w żądanych przedziałach, np. utrzymanie częstotliwości, poziomów napięcia, dopuszczalnych prądów i mocy,
- b) **cel ekonomiczny** – polegający na optymalizacji zbioru zmiennych stanu, zmierzający do minimalizacji kosztów, np. rozdział mocy czynnej i biernej zgodnie z kryteriami ekonomicznymi, sterowanie usługami systemowymi na podstawie przetargów, sterowanie mocą wymiany z sąsiednimi systemami,
- c) **bezpieczeństwo pracy systemu**, np. sterowanie poprawiające stabilność, samoczynne odciążenie w stanach awaryjnych.

OBCIĄŻENIE SYSTEMU ELEKTROENERGETYCZNEGO

Przez moc obciążenia systemu elektroenergetycznego należy rozumieć zapotrzebowanie na moc czynną pobieraną przez wszystkie odbiorniki energii elektrycznej przyłączone do sieci elektroenergetycznej.

Pomijając straty mocy czynnej, w stanie ustalonym moc obciążenia systemu jest to suma mocy pobieranej z zacisków generatorów pracujących w danej chwili w systemie elektroenergetycznym. Moc obciążenia w systemie elektroenergetycznym ulega ciągłym zmianom, które można sklasyfikować w następujący sposób:

- a) zmiany wynikające z przebiegu krzywych dobowej zmienności obciążenia; zmiany te mogą dochodzić nawet do 50% mocy szczytowej obciążenia danej doby,
- b) zmiany mocy obciążenia o niedużej wartości (ok. 5% mocy obciążenia) i krótkim czasie trwania związane z włączaniem lub wyłączaniem różnego rodzaju odbiorników,
- c) przypadkowe duże zmiany mocy obciążenia związane z nagłymi stanami awaryjnymi np. awaryjnym wyłączeniem części systemu z dużą grupą odbiorów,
- d) niewielkie zmiany mocy o oscylacyjnym charakterze związane z przerywaną pracą odbiorników.

MOC WYTWARZANA W SYSTEMIE ELEKTROENERGETYCZNYM

Moc wytwarzana P_T – jest to moc mechaniczna na wale turbiny zespołu wytwórczego. Pomijając straty mocy czynnej można założyć, że w stanach ustalonych moc wytwarzana P_T jest równa mocy mierzonej na zaciskach generatora P_G . Moc wytwarzana w systemie elektroenergetycznym jest sumą mocy wytwarzanych przez poszczególne bloki energetyczne pracujące w danej chwili w systemie.

Zmiany mocy wytwarzanej zależą od zdolności regulacyjnych i parametrów poszczególnych rodzajów bloków wytwórczych, np.:

- a) w turbozespołach parowych szybkie zmiany mocy wytwarzanej ze względu na ograniczenia technologiczne są ograniczone do przedziału nie przekraczającego $\pm 5\%$ znamionowej mocy bloku. Dalsze zmiany mocy wytwarzanej przekraczające tzw. pasmo szybkiej regulacji mogą być dokonywane z prędkością zależną od stanu ruchowego turbiny;
- b) w hydrozespołach zmiany mocy wytwarzanej mogą zachodzić z dużo większą prędkością w całym zakresie mocy znamionowej zespołu wytwórczego.

W pracy systemu elektroenergetycznego należy liczyć się ze zmianami mocy wytwarzanej, związanymi z awaryjnymi odstawieniami poszczególnych bloków bądź całych elektrowni.

CZĘSTOTLIWOŚĆ W SYSTEMIE ELEKTROENERGETYCZNYM

Częstotliwość jest jednym z podstawowych parametrów systemu elektroenergetycznego. Wartość częstotliwości jest jednakowa w każdym punkcie systemu oraz połączonych ze sobą systemów europejskich i zależy od bilansu mocy czynnej.

W systemie elektroenergetycznym, przy pominięciu strat w stanie ustalonym, moc wytwarzana pracujących generatorów P_G jest równa sumie mocy pobieranych z tegoż systemu P_{odb} . Częstotliwość w systemie wynosi wówczas 50 Hz.

Utrzymanie częstotliwości o tej wartości wymaga istnienia w SEE dyspozycyjnej mocy czynnej, pokrywającej potrzeby zmieniających się obciążeń i strat mocy w sieciach przesyłowo - rozdzielczych.

Naruszenie stanu równowagi (np. przez zmianę mocy odbiorów, czy przez zmianę mocy wytwarzanej), spowoduje zmianę prędkości wirowania wszystkich maszyn obrotowych pracujących w danej chwili w systemie, zarówno zespołów prądotwórczych (generatorów), jak i silników przyłączonych do sieci u odbiorców, przez zmianę energii kinetycznej ich mas wirujących.

Praca systemu elektroenergetycznego ze znacznie mniejszą, jak i ze znacznie większą częstotliwością, jest z wielu względów szkodliwa i niedopuszczalna.

1). Skutki obniżenia częstotliwości:

- a) przy spadku częstotliwości poniżej 49,5 Hz, niektóre pierścienie łopatek turbinowych zaczynają drgać, co może wpływać na wibracyjne zmęczenie materiałów, a nawet doprowadzić do ich zniszczenia,
- b) przy spadku częstotliwości poniżej 49,0 Hz, następuje całkowite otwarcie dopływu pary do turbiny, a jej obciążenie osiąga znamionową wartość.

2). Skutki podwyższenia częstotliwości:

- a) w wyniku wzrostu częstotliwości rosną straty w żelazie i przegrzewają się wszystkie obwody magnetyczne silników i transformatorów,
- b) wzrost częstotliwości zwiększa niekorzystnie prędkość obrotową agregatów prądotwórczych u odbiorców, naruszając wymogi technologiczne produkcji,
- c) odbiorniki oporowe, np. żarówki pracujące przy zwiększonej częstotliwości, ulegają przedwczesnemu zużyciu. Poza tym zmiany częstotliwości mają istotny wpływ na wymianę mocy pomiędzy systemami.

REGULACJA NAPIĘCIA W SYSTEMIE ELEKTROENERGETYCZNYM

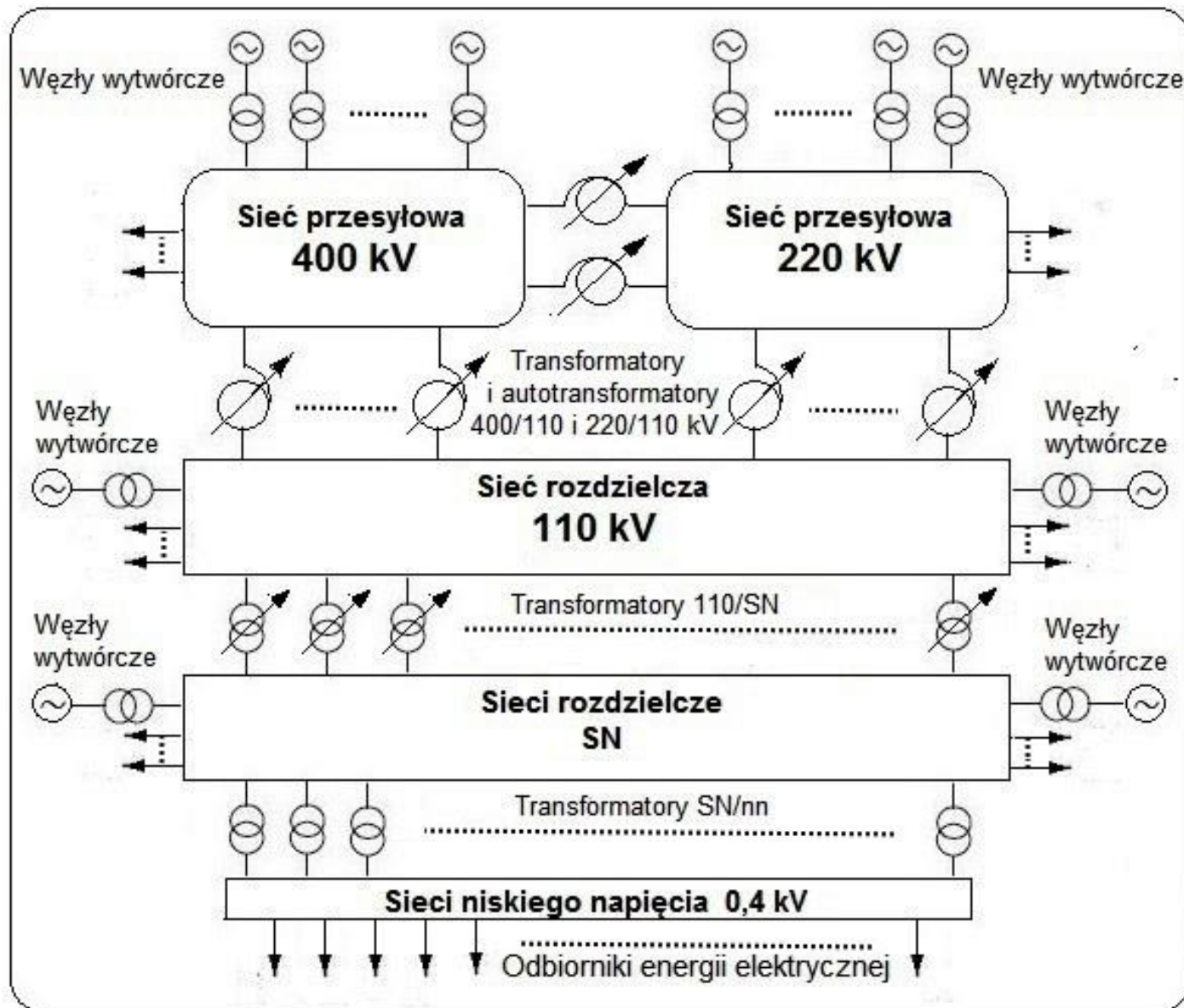
Dobór i utrzymanie właściwych wartości napięć w sieci elektroenergetycznej ma istotne znaczenie dla wszystkich elementów systemu elektroenergetycznego. Poziomy napięć w węzłach sieci elektroenergetycznej mają ścisły związek ze stratami napięcia na drodze przepływu prądu i zmieniają się:

- w stanach normalnych w skutek nagłych zmian obciążenia,
- w stanach zakłóceń w sieciach oraz
- w skutek rozptywu mocy biernej.

Poziomy napięć w węzłach muszą spełniać wymagania dotyczące nieprzekraczania dopuszczalnego pasma zmienności, a także ograniczenia generacji mocy biernej. Granice pasma zmienności są określone maksymalnym dopuszczalnym napięciem ze względu na poziom izolacji oraz zakresu zmian przekładni transformatorów sprzęgających sieci o różnych napięciach znamionowych.

Zasadniczy wpływ na poziomy napięcie w sieciach elektroenergetycznych ma moc bierna, ze względu na znaczną przewagę reaktancji nad rezystancją w sieci. Utrzymanie dopuszczalnych wartości napięć w systemie elektroenergetycznym ma istotne znaczenie w węzłach odbiorców energii elektrycznej, a także dla urządzeń elektrycznych pracujących w systemie.

Regulacja napięcia odbywa się zarówno w stanach normalnych, jak i zakłóceń, w sieciach wszystkich poziomów napięć; w sieciach przesyłowych NN, sieciach rozdzielczych WN i SN, a także w sieciach niskiego napięcia (nn).



ZASADNICZE CELE REGULACJI POZIOMÓW NAPIĘĆ W SYSTEMIE ELEKTROENERGETYCZNYM

W stanach normalnych – zapewnienie właściwych poziomów napięć przy zmieniającym się obciążeniu odbiorców, a w szczególności:

- a) utrzymanie gwarantowanych poziomów napięć w węzłach zasilania odbiorców energii elektrycznej i nieprzekraczanie dopuszczalnego pasma zmienności,
- b) zapewnienie właściwych warunków eksploatacji urządzeń wytwórczych, przesyłowych i rozdzielczych,
- c) zmniejszenie strat sieciowych;

W stanach zakłóceń – łagodzenie przebiegu i skutków zakłócenia, a w szczególności:

- a) zmniejszenie nagłych obniżeń napięcia (zapadów) w trakcie wystąpienia zwarcia w sieci,
- b) ograniczenie przepięć po nagłym zrzucie obciążenia lub wyłączenia zwarcia,
- c) tłumienie kołysań wirników generatorów synchronicznych oraz towarzyszących im kołysani mocy oraz oscylacji napięć po wystąpieniu zwarć w sieci przesyłowej WN łączącej elektrownie,
- d) przeciwdziałanie powstawaniu zjawiska lawiny napięcia spowodowanej nadmiernym wzrostem poboru mocy biernej przez silniki asynchroniczne u odbiorcy przemysłowego przy obniżonej wartości napięcia w węźle zasilającym odbiorcę,

RODZAJE REGULACJI

Poziomy napięcia w sieciach elektroenergetycznych są ściśle związane z bilansem mocy biernej. Aby utrzymać napięcie w węzłach sieci na określonym poziomie stosuje się odpowiednią regulację mocy biernej.

Regulacja częstotliwości i mocy czynnej po stronie wytwarzania obejmuje następujące rodzaje regulacji mocy biernej:

- a) **regulacja pierwotna** realizowana jest przez regulatory napięcia generatorów. Polega na szybkiej zmianie wzbudzenia generatorów przy zmianie napięcia na ich zaciskach;
- b) **regulacja wtórna napięcia** koordynuje działanie urządzeń regulacyjnych napięć i mocy biernej w określonym obszarze systemu celem utrzymania wymaganego poziomu napięcia;
- c) **regulacja trójna napięcia** polega na procesie optymalizacji przebiegającym z użyciem obliczeń opartych na pomiarach czasu rzeczywistego, którego celem jest zmodyfikowanie nastaw urządzeń wpływających na rozkład mocy biernej (regulatory bloków wytwórczych, regulatory przełączników zaczepów transformatorów oraz urządzenia kompensujące).

Regulacja częstotliwości i mocy czynnej po stronie wytwarzania wymaga wyposażenia jednostek wytwórczych w stosowne układy regulacyjne oraz posiadanie odpowiedniej rezerwy mocy.

Regulacja napięcia w systemie elektroenergetycznym może być dokonywana poprzez zmianę:

- a) sił elektromotorycznych generatorów i przekładni transformatorów (regulacja bezpośrednia),
- b) impedancji sieci (regulacja pośrednia),
- c) rozptywu mocy czynnych lub biernych (regulacja pośrednia).

BEZPOŚREDNIA REGULACJA NAPIĘCIA W SYSTEMIE ELEKTROENERGETYCZNYM

Polega na:

a) w generatorach synchronicznych wyposażonych w regulatory napięcia współpracujące z układem wzbudzenia maszyny – poprzez zmianę prądu wzbudzenia generatora regulator zapewnia utrzymywanie zadanej wartości napięcia na zaciskach. Regulacja wzbudzenia generatora jest podstawowym sposobem regulacji napięcia w systemie elektroenergetycznym.

b) w transformatorach regulacyjnych – na zmianie przekładni transformatora poprzez zmianę czynnej liczby zwojów w jednym z uzwojeń transformatora. Zmiana przekładni wpływa na zmianę długości wektora napięcia; ten rodzaj regulacji określa się mianem „regulacji wzdłużnej”. Regulacja ta nie zmienia bilansu mocy biernej w układzie, ale, poprzez zmianę poziomów napięcia w poszczególnych węzłach sieci, wpływa na zmianę rozptywu mocy.

REGULACJA POŚREDNIA

Zmiana rozptyłu mocy biernych w sieci elektroenergetycznej powoduje zmianę spadków napięcia w tej sieci, a tym samym zmienia wartości napięć w jej węzłach. Regulacji mocy biernej dokonuje się za pomocą generatorów synchronicznych, a także dodatkowych źródeł mocy biernej, np:

- a) baterii kondensatorów równoległych w sieciach rozdzielczych,
- b) dławików równoległych w sieciach przesyłowych,
- c) urządzeń energoelektronicznych, jak np. statyczny kompensator SVC, czy statyczny kompensator synchroniczny STATCOM (sieci przesyłowe i rozdzielcze).

Kompensatory statyczne to układy zawierające kondensatory i/lub dławiki sterowane tyrystorowo. Włącza się je do węzłów sieci elektroenergetycznej równolegle do odbiorów, stanowią więc regulowaną susceptancję, której wartość zmienia się w sposób płynny w granicach wyznaczonych mocą kondensatorów i dławików. Z uwagi na zdolność do szybkiej (nadażnej) zmiany mocy biernej, układy te stosuje się w przypadku konieczności kompensacji szybkich zmian napięcia.

Kompensatory realizują zwykle funkcje polegające na:

- a) stabilizacji napięcia w węzłach sieci,
- b) kompensacji mocy biernej,
- c) kompensacji składowej przeciwnej napięć i prądów, czyli symetryzacji.

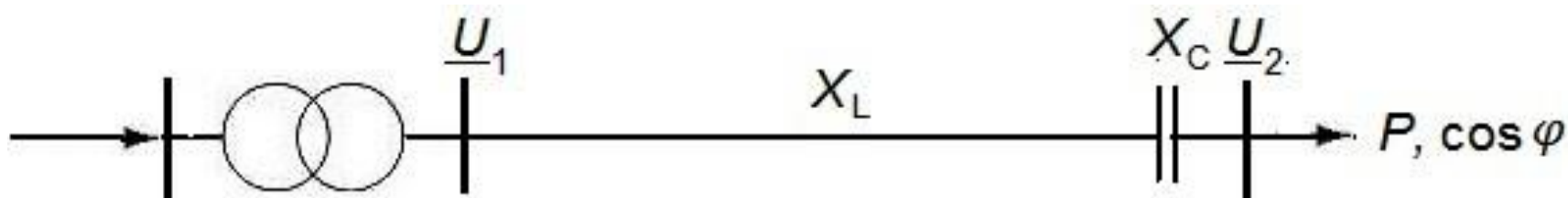
REGULACJA NAPIĘCIA PRZEZ ZMIANĘ IMPEDANCJI SIECI

Zmiana impedancji sieci wpływa na zmianę spadków napięć i tym samym zmienia napięcia w węzłach tej sieci.

Wyróżnia się dwa sposoby regulacji napięcia w węzłach sieci:

- a) poprzez zmianę konfiguracji sieci,
- b) b) przez zastosowanie kondensatorów szeregowych.

Regulacja przez zmianę konfiguracji sieci polega na włączaniu elementów równoległych, np. linii lub transformatorów, przy dużym obciążeniu i ich wyłączaniu, gdy obciążenie jest małe. Głównym celem zmiany konfiguracji sieci jest dostosowanie mocy znamionowej elementów do aktualnego obciążenia, a w następstwie, oprócz zmiany napięcia, zmniejszenie całkowitych strat mocy czynnej w sieci.



Regulacja napięcia przez zmianę impedancji sieci

Strata napięcia na kondensatorze zmniejsza stratę napięcia na reaktancji indukcyjnej linii, co z kolei powoduje zmniejszenie całkowitego spadku napięcia w linii. Moc baterii kondensatorów można zmieniać, poprzez włączanie i wyłączanie kolejnych jej stopni. W ten sposób można wpływać na stopień kompensacji reaktancji linii, w zależności od obciążenia.

REGULACJA MOCY CZYNNEJ I CZĘSTOTLIWOŚCI W SYSTEMIE ELEKTROENERGETYCZNYM

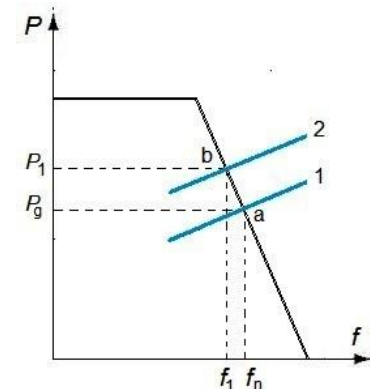
Regulacja częstotliwości i mocy czynnej jest jednym z podstawowych działań w funkcjonowaniu systemu elektroenergetycznego. Specyficzne właściwości maszyn synchronicznych powodują, że częstotliwość w całym systemie elektroenergetycznym, w ustalonym stanie pracy, jest jednakowa, a jej wartość zależy od aktualnego zbilansowania mocy zapotrzebowanej przez odbiory P_{odb} i mocy wytwarzanej P_{T} przez pracujące aktualnie elektrownie w systemie.

Regulacja częstotliwości i mocy po stronie wytwarzania obejmuje regulację pierwotną, wtórną i trójną i wymaga wyposażenia jednostek wytwórczych w stosowne układy regulacyjne oraz posiadania odpowiedniej rezerwy mocy.

REGULACJA PIERWOTNA CZĘSTOTLIWOŚCI I MOCY CZYNNEJ.

Każdy blok energetyczny (generator i turbina) wyposażony jest w regulator prędkości obrotowej turbiny. W czasie pracy regulator oddziałuje na dopływ pary lub wody do turbiny, a w następstwie na zmianę mocy czynnej generatora. Moc generowana P_g wynika z mocy odbieranej, punkt równowagi „a” jest osiągnięty przy częstotliwości f_n .

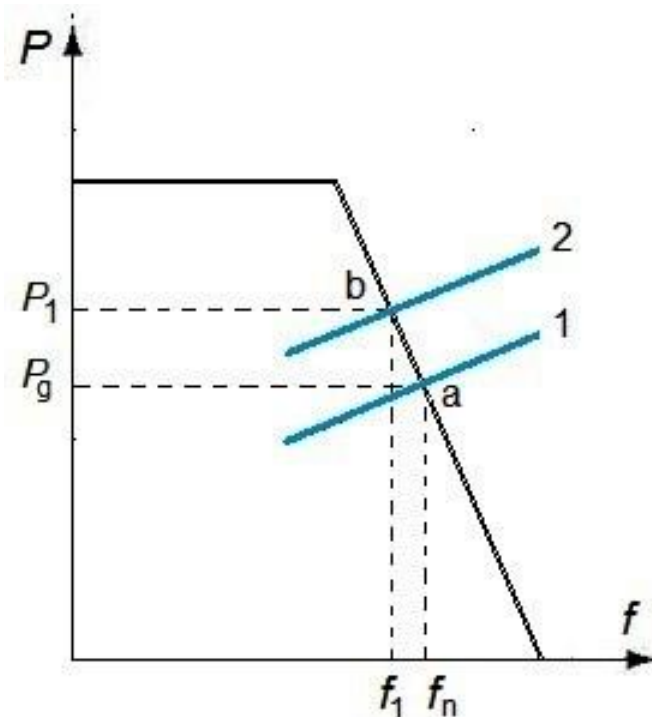
Jak wynika z charakterystyki $P = f(f)$ wzrostowi mocy odbioru odpowiada przesunięcie w górę charakterystyki odbioru, co spowoduje przyhamowanie wirnika generatora i zadziałanie regulatora prędkości obrotowej. Z kolei, na skutek zwiększenia dopływu czynnika energetycznego do turbiny następuje zwiększenie mocy generowanej. Ustala się nowy punkt równowagi „b” przy mocy P_1 i częstotliwości f_1 .



Regulacja mocy jednostki wytwórczej za pomocą indywidualnego regulatora prędkości obrotowej w funkcji częstotliwości sieci i w zależności od jego nastawienia nazywa się regulacją pierwotną.

Przebieg regulacji pierwotnej można podzielić na dwie fazy:

- pierwszą – kiedy działanie regulacji pierwotnej jeszcze nie zdążyło się rozpocząć z uwagi na bezwładność układów ($t = 0-5$ s),
- drugą – przy właściwym oddziaływaniu regulacji pierwotnej ($t \leq 30$ s).

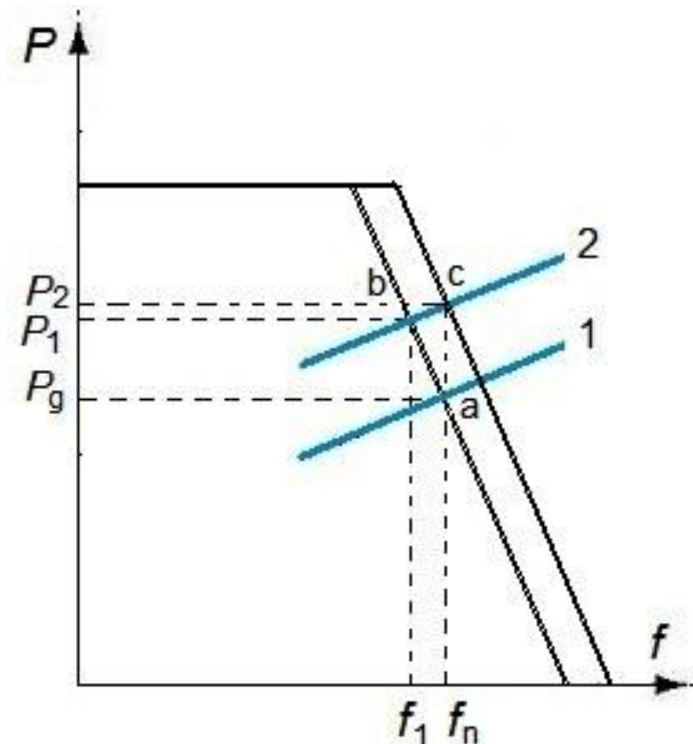


REGULACJA PIERWOTNA I WTÓRNA

Regulacja pierwotna powoduje zmianę punktu pracy na charakterystyce częstotliwościowej, co wiąże się ze zmianą częstotliwości.

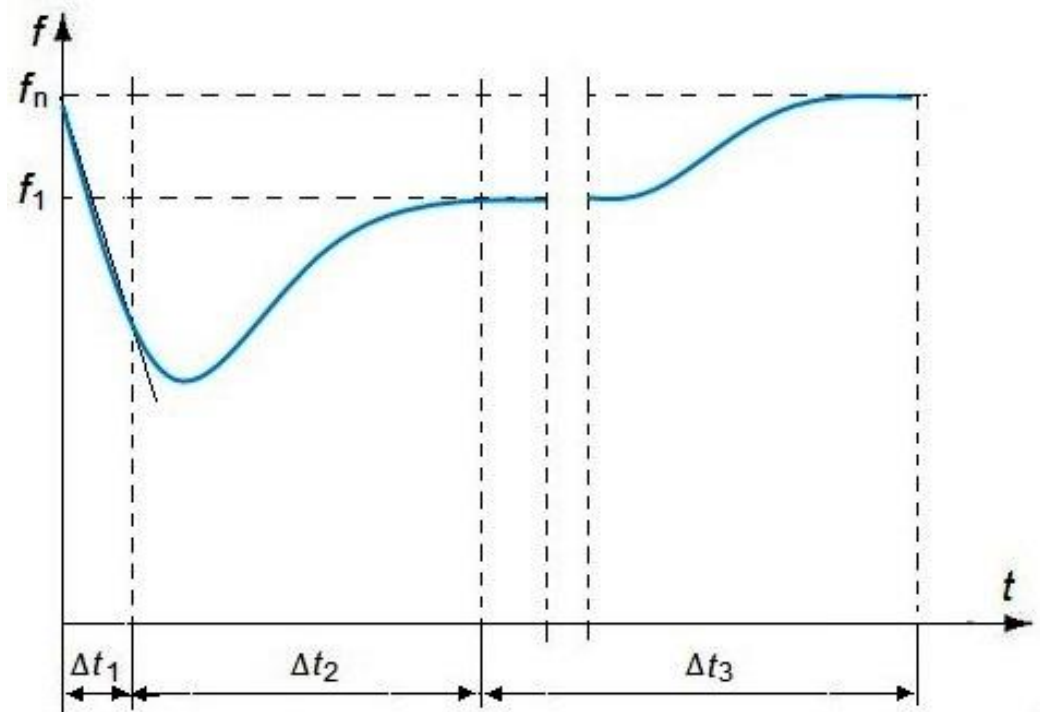
Utrzymanie stałej wartości częstotliwości wymaga przesunięcia w prawo charakterystyki mocy generowanej. Jest to zadanie **regulacji wtórnej**.

Regulacja mocy i częstotliwości w systemie elektroenergetycznym za pomocą skoordynowanego oddziaływania na indywidualne regulatory wybranych jednostek wytwórczych przez układ automatycznej regulacji częstotliwości i mocy (ARCM) nazywa się regulacją wtórną.



W efekcie działania regulacji wtórnej następuje dalszy wzrost mocy generowanej do wartości P_2 i ustalenie nowego punktu równowagi c przy częstotliwości f_n . Regulacja wtórna sprowadza więc częstotliwość do poziomu wartości zadanych przed zaburzeniem. Działanie regulacji wtórnej powinno się rozpocząć przed zaburzeniem. Działanie regulacji wtórnej powinno się rozpocząć po zadziałaniu regulacji pierwotnej, najpóźniej w chwili $t = 30$ s po wystąpieniu zaburzenia i zakończyć przed upływem 15 min.

Regulacja wtórna w SEE jest realizowana przez wybrane bloki elektrowni ciepłych i wybrane hydrozespoły elektrowni wodnych reagujących na sygnały zadawane przez regulator centralny ARCM. W miarę jak działa regulacja wtórna



REGULACJA TRÓJNA

Po zakończeniu regulacji pierwotnej i wtórnej, kiedy częstotliwość powraca do swej początkowej znamionowej wartości $f = f_n$, rozpoczyna się działanie godzinowej regulacji trójnej. Jej zadaniem jest odtworzenie określonej wartości rezerwy mocy regulacyjnej.

Regulacja trójna polega na zmianie punktów pracy na charakterystykach generatorów (zmiana mocy bazowej, wokół której działa regulacja pierwotna i wtórna) oraz włączaniu lub wyłączaniu hydrozespołów elektrowni wodnych pracujących w układzie regulacyjno-interwencyjnym i sterowanych zdalnie z krajowej dyspozycji mocy.

Utrzymanie właściwej częstotliwości wymaga istnienia odpowiedniej rezerwy mocy czynnej; deficyt mocy czynnej w SEE nieuchronnie powoduje zmniejszenie częstotliwości. W przypadku znacznego deficytu mocy i związanego z tym obniżania się częstotliwości w SEE wykorzystuje się – oprócz regulacji po stronie wytwarzania – samoczynne częstotliwościowe odciążanie (SCO) sieci, polegające na stopniowym wyłączaniu wybranych odbiorów przy obniżeniu się częstotliwości poniżej zadanych wartości.

KRYTERIA PODZIAŁU NA GRUPY PODMIOTÓW UBIEGAJĄCYCH SIĘ O PRZYŁĄCZENIE DO SIECI

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego [Dz.U.07.93.623], zm: Dz.U. 2008 Nr 30, poz.178 i Dz.U. Nr 162, poz. 1005, podmioty ubiegające się o przyłączenie do sieci dzieli się na grupy, zwane dalej grupami przyłączeniowymi, według następujących kryteriów:

- 1) **grupa I** — podmioty, których urządzenia, instalacje i sieci są przyłączane bezpośrednio do sieci o napięciu znamionowym wyższym niż 110 kV;
- 2) **grupa II** — podmioty, których urządzenia, instalacje i sieci są przyłączane bezpośrednio do sieci o napięciu znamionowym 110 kV;
- 3) **grupa III** — podmioty, których urządzenia, instalacje i sieci są przyłączane bezpośrednio do sieci o napięciu znamionowym wyższym niż 1 kV, lecz niższym niż 110 kV;
- 4) **grupa IV** — podmioty, których urządzenia, instalacje i sieci są przyłączane bezpośrednio do sieci o napięciu znamionowym nie wyższym niż 1 kV oraz mocy przyłączeniowej większej niż 40 kW lub prądzie znamionowym zabezpieczenia przedlicznikowego w torze prądowym większym niż 63 A;

5) grupa V — podmioty, których urządzenia, instalacje i sieci są przyłączane bezpośrednio do sieci o napięciu znamionowym nie wyższym niż 1 kV oraz mocy przyłączeniowej nie większej niż 40 kW i prądzie znamionowym zabezpieczenia przedlicznikowego nie większym niż 63 A;

6) grupa VI — podmioty, których urządzenia, instalacje i sieci są przyłączane do sieci poprzez tymczasowe przyłącze, które będzie, na zasadach określonych w umowie, zastąpione przyłączem docelowym, lub podmioty, których urządzenia, instalacje i sieci są przyłączane do sieci na czas określony, lecz nie dłuższy niż rok.

Granica własności pomiędzy siecią przedsiębiorstwa energetycznego a instalacją odbiorcy wynika z warunków przyłączenia.

Dla podmiotów zaliczonych do IV i V grupy przyłączeniowej (przyłączenie stałe do sieci nn) granica własności jest tożsama z miejscem dostarczenia energii elektrycznej i zależy od rodzaju przyłącza. Dla pozostałych grup przyłączeniowych – zgodnie z rozporządzeniem – wynika z umowy o przyłączenie.

Przyłącze należy do przedsiębiorstwa energetycznego, w sieciach nn jest zwykle zakończone złączem, w którym ustalone jest miejsce dostarczenia energii elektrycznej i następuje rozdzielenie własności. Miejscem tym – w uzasadnionych przypadkach – mogą również być zaciski prądowe przy izolatorach stojaka dachowego.

Dalszą częścią toru prądowego (poza ewentualną rozdzielnicą w złączu) jest wewnętrzna linia zasilająca, będąca częścią instalacji należącej do odbiorcy.

Granice własności sieci elektroenergetycznych pomiędzy spółkami dystrybucyjnymi wynikają z uwarunkowań topografii sieci a pomiędzy PSE Operator i spółkami są ustalone według ogólnych zasad podziału sieci na przesyłową i dystrybucyjną.

PARAMETRY JAKOŚCIOWE ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Pomiar parametrów jakościowych powinien trwać w sposób ciągły przez okres co najmniej jednego tygodnia. Każdy mierzony parametr uśrednia się w czasie 10 min.

Zgodnie z normą PN-EN 50160:2010 Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach elektroenergetycznych wymaga się, aby 95% otrzymanych w czasie pomiarów wyników spełniało określone standardy. Parametry jakościowe energii elektrycznej są określone w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego [Dz.U.2007 nr 93 poz. 623 z późn. zm.].

Dla podmiotów zaliczanych do grup przyłączeniowych I i II ustala się następujące parametry jakościowe energii elektrycznej w przypadku sieci funkcjonującej bez zakłóceń:

- 1) wartość średnia częstotliwości mierzonej przez 10 sek. w miejscach przyłączenia powinna być zawarta w przedziale:
 - a) 50 Hz \pm 1 % (od 49,5 Hz do 50,5 Hz) przez 99,5 % tygodnia,
 - b) 50 Hz +4 % / 6 % (od 47 Hz do 52 Hz) przez 100 % tygodnia;

- 2) w każdym tygodniu 95 % ze zbioru 10-minutowych średnich wartości skutecznych napięcia zasilającego powinno mieścić się w przedziale odchyień:
 - a) \pm 10 % napięcia znamionowego dla sieci o napięciu znamionowym 110 kV i 220 kV,
 - b) +5 % / -10 % napięcia znamionowego dla sieci o napięciu znamionowym 400 kV;

- 3) przez 95 % czasu każdego tygodnia, wskaźnik długookresowego migotania światła spowodowanego wahaniami napięcia zasilającego nie powinien być większy od 0,8;

4) w ciągu każdego tygodnia 95 % ze zbioru 10-minutowych średnich wartości skutecznych:

a) składowej symetrycznej kolejności przeciwnej napięcia zasilającego powinno mieścić się w przedziale od 0 % do 1 % wartości składowej kolejności zgodnej,

b) dla każdej harmonicznej napięcia zasilającego powinno być mniejsze lub równe wartościom określonym w poniższej tabeli:

Harmoniczna nieparzysta				Harmoniczna parzysta	
niebędące krotnością 3		będące krotnością 3		rzęd harmonicznej (h)	wartość względna napięcia w procentach składowej podstawowej (u_h)
rzęd harmonicznej (h)	wartość względna napięcia w procentach składowej podstawowej (u_h)	rzęd harmonicznej (h)	wartość względna napięcia w procentach składowej podstawowej (u_h)		
5	2%	3	2%	2	1,5%
7	2%	9	1%	4	1%
11	1,5%	15	0,5%	>4	0,5%
13	1,5%	>21	0,5%		
17	1%				
19	1%				
23	0,7%				
>25	0,7%				
25	$0,2 + 0,5 \cdot \frac{25}{h}$				

- 5) współczynnik odkształcenia wyższymi harmonicznymi napięcia zasilającego THD, uwzględniający wyższe harmoniczne do rzędu 40, powinien być mniejszy lub równy 3 %;
- 6) warunkiem utrzymania parametrów napięcia zasilającego w granicach określonych w pkt 1-5 jest pobieranie przez odbiorcę mocy czynnej nie większej od mocy umownej, przy współczynniku $\text{tg } \varphi$ nie większym niż 0,4.

Dla podmiotów zaliczanych do grup przyłączeniowych I i II parametry jakościowe energii elektrycznej dostarczanej z sieci, o których mowa w ust. 1, mogą być zastąpione w całości lub w części innymi parametrami jakościowymi tej energii określonymi przez strony w umowie sprzedaży energii elektrycznej albo w umowie świadczenie usług przesyłania lub dystrybucji energii elektrycznej.

Dla podmiotów zaliczanych do grup przyłączeniowych III-V ustala się następujące parametry jakościowe energii elektrycznej – w przypadku sieci funkcjonującej bez zakłóceń:

1) wartość średnia częstotliwości mierzonej przez 10 sekund powinna być zawarta w przedziale:

- a) 50 Hz \pm 1 % (od 49,5 Hz do 50,5 Hz) przez 99,5 % tygodnia,
- b) 50 Hz +4 % / -6 % (od 47 Hz do 52 Hz) przez 100 % tygodnia;

2) w każdym tygodniu 95 % ze zbioru 10-minutowych średnich wartości skutecznych napięcia zasilającego powinno mieścić się w przedziale odchyień \pm 10 % napięcia znamionowego;

3) przez 95 % czasu każdego tygodnia wskaźnik długookresowego migotania światła P_{1t} spowodowanego wahaniami napięcia zasilającego nie powinien być większy od 1;

4) w ciągu każdego tygodnia 95 % ze zbioru 10-minutowych średnich wartości skutecznych:

- a) składowej symetrycznej kolejności przeciwnej napięcia zasilającego powinno mieścić się w przedziale od 0 % do 2 % wartości składowej kolejności zgodnej,
- b) dla każdej harmonicznej napięcia zasilającego powinno być mniejsze lub równe wartościom określonym w poniższej tabeli:

Harmoniczna nieparzysta				Harmoniczna parzysta	
niebędące krotnością 3		będące krotnością 3		rzęd harmonicznej (h)	wartość względna napięcia w procentach składowej podstawowej (u_h)
rzęd harmonicznej (h)	wartość względna napięcia w procentach składowej podstawowej (u_h)	rzęd harmonicznej (h)	wartość względna napięcia w procentach składowej podstawowej (u_h)		
5	6%	3	5%	2	2%
7	5%	9	1,5%	4	1%
11	3,5%	15	0,5%	>4	0,5%
13	3%	>15	0,5%		
17	2%				
19	1,5%				
23	1,5%				
25	1,5%				

5) współczynnik odkształcenia wyższymi harmonicznymi napięcia zasilającego THD uwzględniający wyższe harmoniczne do rzędu 40, powinien być mniejszy lub równy 8 %;

6) warunkiem utrzymania parametrów napięcia zasilającego w granicach określonych w pkt 1—5 jest pobieranie przez odbiorcę mocy nie większej od mocy umownej, przy współczynniku $\text{tg}\phi$ nie większym niż 0,4.

Przedsiębiorstwo energetyczne, do którego sieci są przyłączeni odbiorcy, może ustalić, dla poszczególnych grup przyłączeniowych, dopuszczalne poziomy zaburzeń parametrów jakościowych energii elektrycznej niepowodujących pogorszenia parametrów określonych w ust. 1 i 3 albo ustalonych w umowie sprzedaży energii elektrycznej lub umowie przesyłowej.

Napięcie znamionowe sieci niskiego napięcia odpowiada wartości 230/400V. Dla grupy przyłączeniowej VI parametry jakościowe energii elektrycznej dostarczanej z sieci określa umowa o świadczenie usług przesyłania lub dystrybucji albo umowa kompleksowa.

Podmioty przyłączone do sieci o napięciu znamionowym 110 kV i wyższym powinny wprowadzać do tej sieci lub pobierać z tej sieci moc bierną przy współczynniku $\text{tg}\phi$ mniejszym niż 0,4.

OCENA JAKOŚCI ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Ocenę jakości energii elektrycznej w określonym węźle sieci elektroenergetycznej należy przeprowadzać w okresie obserwacji nie krótszym od jednego tygodnia. Mierzone w sposób ciągły wskaźniki jakości uśredniają się w charakterystycznych przedziałach czasowych: 3 sekund, 10 minut, lub 2 godzin.

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego, parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych, ocenie podlegają wartości 10 – minutowe, za wyjątkiem wskaźnika długookresowej uciążliwości migotania, który wyznacza się dla czasu 2 godzin.

Oceny dokonuje się przez porównanie statystycznych parametrów mierzonych wielkości z wartościami ustalonymi. Wymaga się, aby 95% wyników pomiarów mieściło się w podanych granicach.

NIEZAWODNOŚĆ

Wymagana jest niezawodna praca systemu elektroenergetycznego, w szczególności poprzez:

- a) ciągłe utrzymywanie w systemie odpowiednich stanów, konfiguracji i mocy źródeł, w celu zapewnienia pokrywania obciążeń i nieprzerwanej dostawy odbiorcom energii elektrycznej,
- b) zapewnienie odpowiedniego rezerwowania elementów systemu.

Przerwy w zasilaniu odbiorców są jednak nieuniknione, ze względu na możliwość różnego rodzaju awarii lub też konieczność prowadzenia prac eksploatacyjnych. W praktyce poziom niezawodności dostosowuje się do charakteru odbiorców.

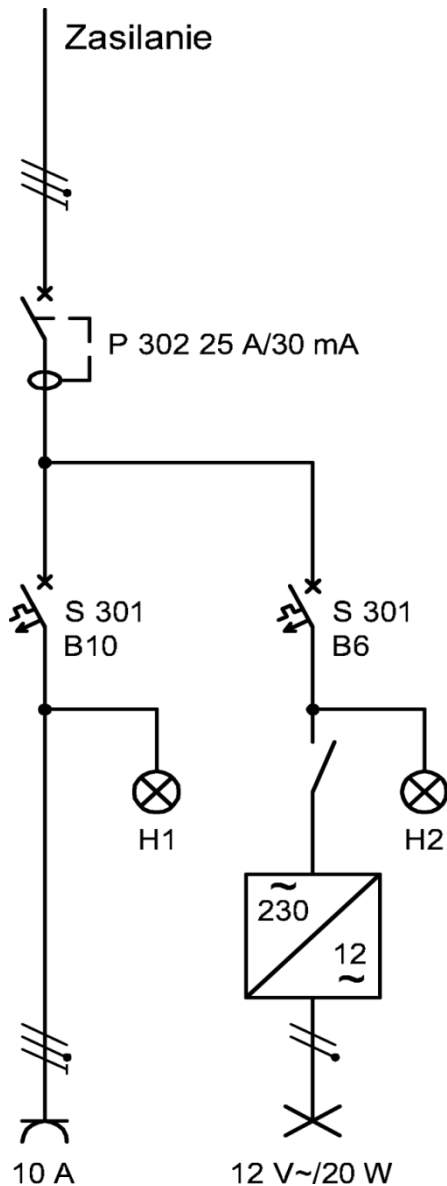
Najmniejszą niezawodnością zasilania charakteryzują się sieci wiejskie, ze względu na występujące duże odległości pomiędzy odbiorcami oraz stosunkowo małe moce odbierane. W rejonach wiejskich stosuje się najczęściej sieci otwarte bez żadnych możliwości rezerwowania. W przypadku, gdy istnieją możliwości zasilania rezerwowego, konieczne przełączenia dokonywane są ręcznie, co w połączeniu z rozległością tej sieci, czas przerwy w dostawie energii elektrycznej jest często nadmiernie długi.

Większej pewności zasilania wymagają odbiorcy gospodarstw domowych i komunalnych w miastach, zasilani przeważnie jedną linią zasilającą, bez możliwości zasilania rezerwowego, lub jeżeli istnieją możliwości rezerwowania, przełączenia takie w sieciach nn odbywają się ręcznie z dużą zwłoką czasową, lub automatycznie – w sieciach SN.

Niezawodność zasilania, jakiej wymagają odbiorcy przemysłowi, jest bardziej zróżnicowana i zależy od wartości strat spowodowanych przerwą w dostawie energii.

ZADANIA PRAKTYCZNE Z INSTALACJI ELEKTRYCZNYCH

Zadanie 1



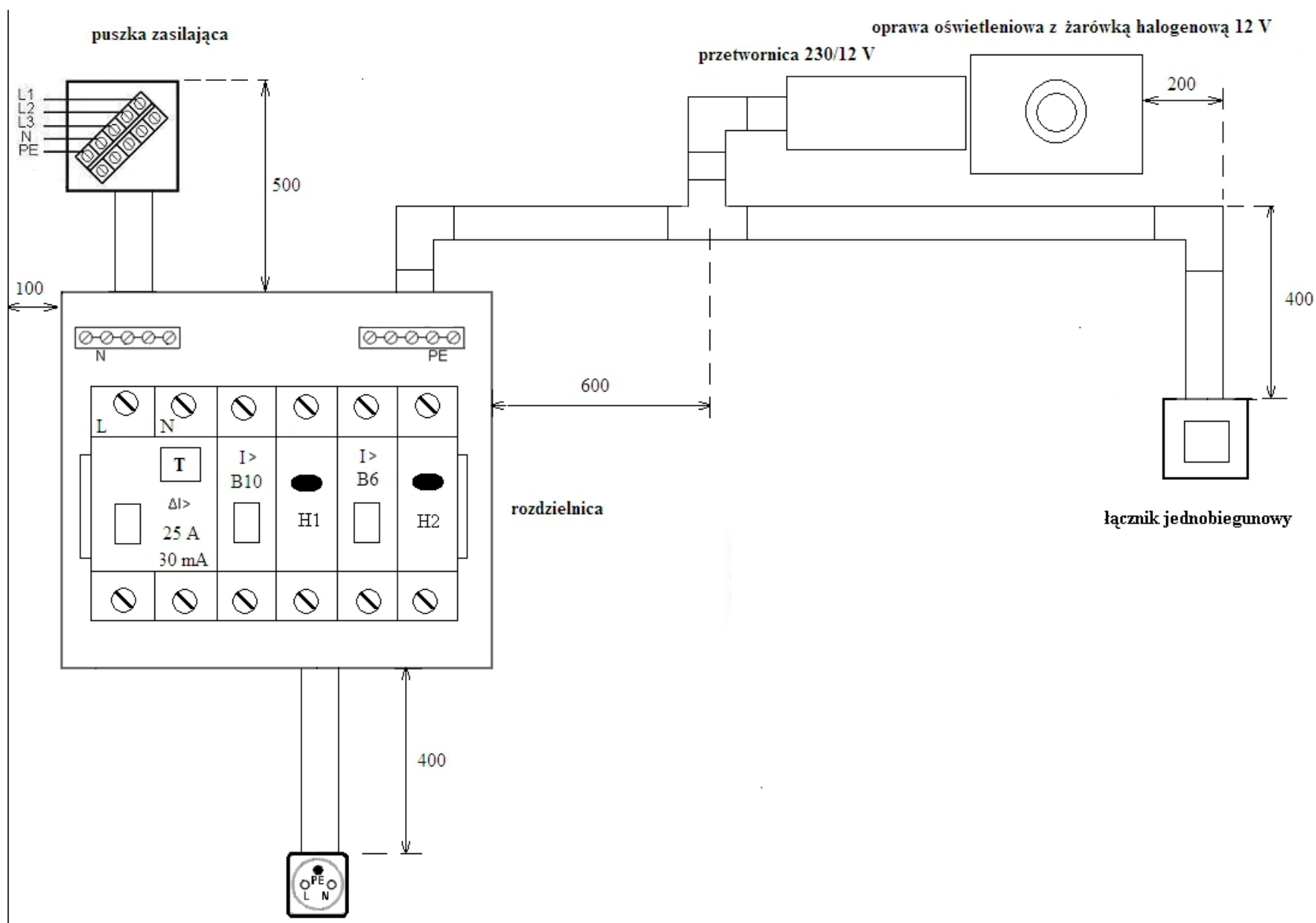
Na ścianie montażowej zamontuj elementy instalacji elektrycznej prowadzonej w listwach z tolerancją ± 10 mm. Zmontuj instalację zgodnie ze schematem ideowym. Podłącz lampki kontrolne sygnalizujące załączenie napięcia zasilającego poszczególnych obwodów.

Rozdzielnicę, gniazdo i łącznik jednobiegunowy zamontuj z tolerancją ± 10 mm.

Połączenie puszek zasilającej z rozdzielnicą wykonaj przewodem YDYżo $3 \times 2,5$ mm².

Połączenia w rozdzielnicy wykonaj przewodami LY 2,5 mm².

Połączenia obwodu oprawy oświetleniowej wykonaj przewodem DY 1,5 mm², a gniazda wtyczkowego przewodami DY 2,5 mm².



Lp.	Oceniany element instalacji elektrycznej	Wstaw symbol X w odpowiedniej kolumnie	
		TAK	NIE
1.	Po załączeniu wyłącznika różnicowoprądowego oraz wciśnięciu przycisku TEST wyłącznik wyłącza się.		
2.	Po załączeniu wyłącznika różnicowoprądowego oraz wyłącznika instalacyjnego nadprądowego B6 w obwodzie oświetlenia nie ma zwarcia.		
3.	Po załączeniu wyłącznika różnicowoprądowego oraz wyłącznika instalacyjnego nadprądowego B10 w obwodzie gniazda wtyczkowego nie ma zwarcia.		
4.	Po załączeniu wyłącznika instalacyjnego nadprądowego B10 (przy załączonym wyłączniku różnicowoprądowym) lampka kontrolna H1 świeci.		
5.	Po załączeniu wyłącznika instalacyjnego nadprądowego B6 (przy załączonym wyłączniku różnicowoprądowym) lampka kontrolna H2 świeci.		
6.	Sprawdzenie wskaźnikiem napięcia potwierdza obecność napięcia z lewej strony gniazda wtyczkowego (bolec PE na górze).		
7.	Naciśnięcie klawisza łącznika powoduje załączenie/wyłączenie żarówki halogenowej.		
8.	Instalacja działa prawidłowo.		

Lp.	Stan ciągłości połączeń przewodu ochronnego	Wartość	Jednostka miary	Wniosek: zapisz ciągłość lub przerwa
9.	Pomiar rezystancji na odcinku między listwą PE w rozdzielnicy a bolcem ochronnym gniazda wtyczkowego.			

Zadanie 2

Na ścianie montażowej zamontuj rozdzielnicę oraz gniazdo wtyczkowe z uziemieniem.

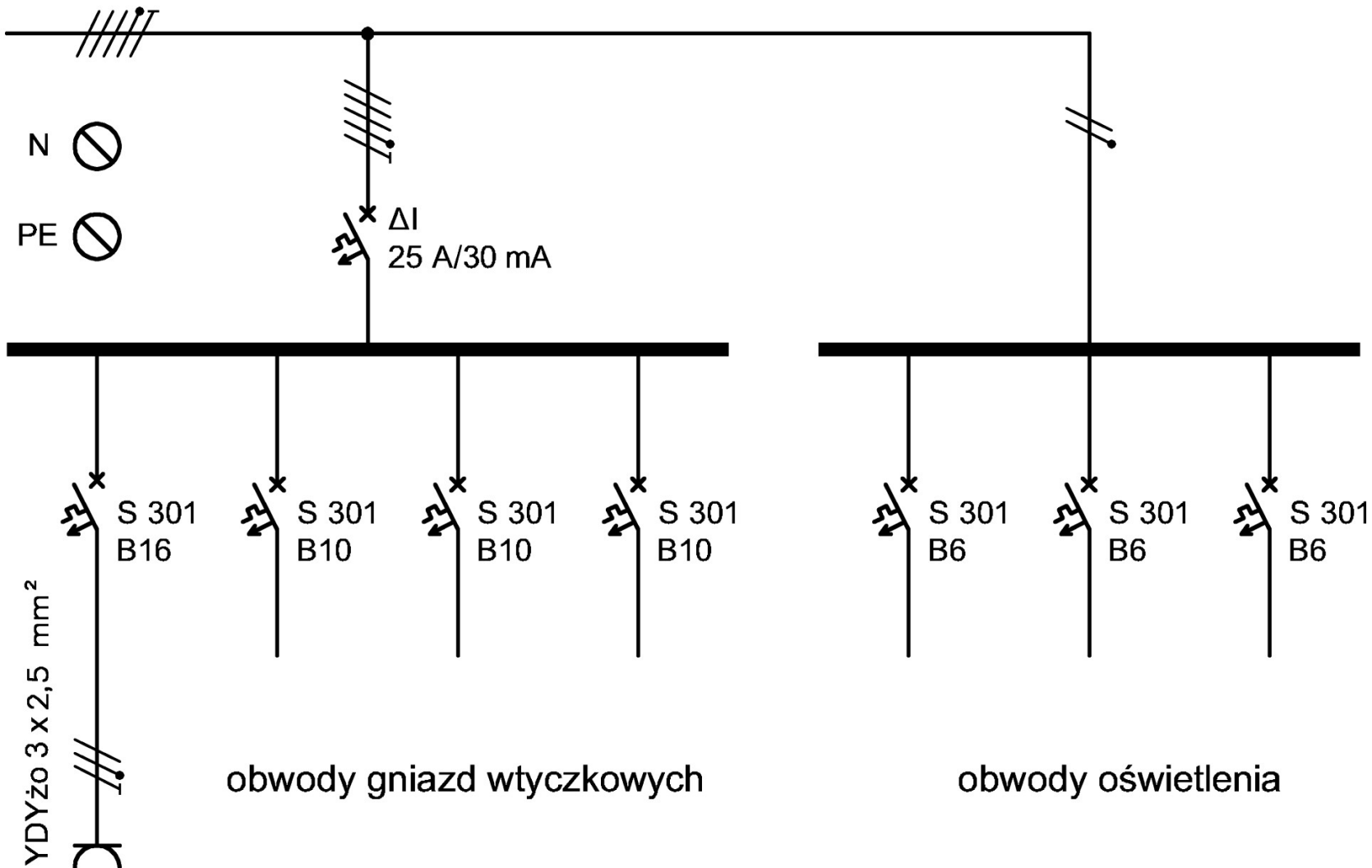
Narysuj schemat montażowy połączeń w rozdzielnicy zapewniający równomierne obciążenie faz oraz schemat podłączenia obwodu jednego gniazda wtyczkowego

Do zasilania rozdzielnicy użyj przewodu YDYżo 5×2,5 mm².

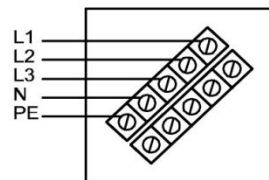
Połączenia wszystkich aparatów w rozdzielnicy wykonaj przewodem LY 2,5 mm².

Podłącz gniazdo wtyczkowe do wyłącznika nadprądowego S301 B16.

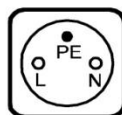
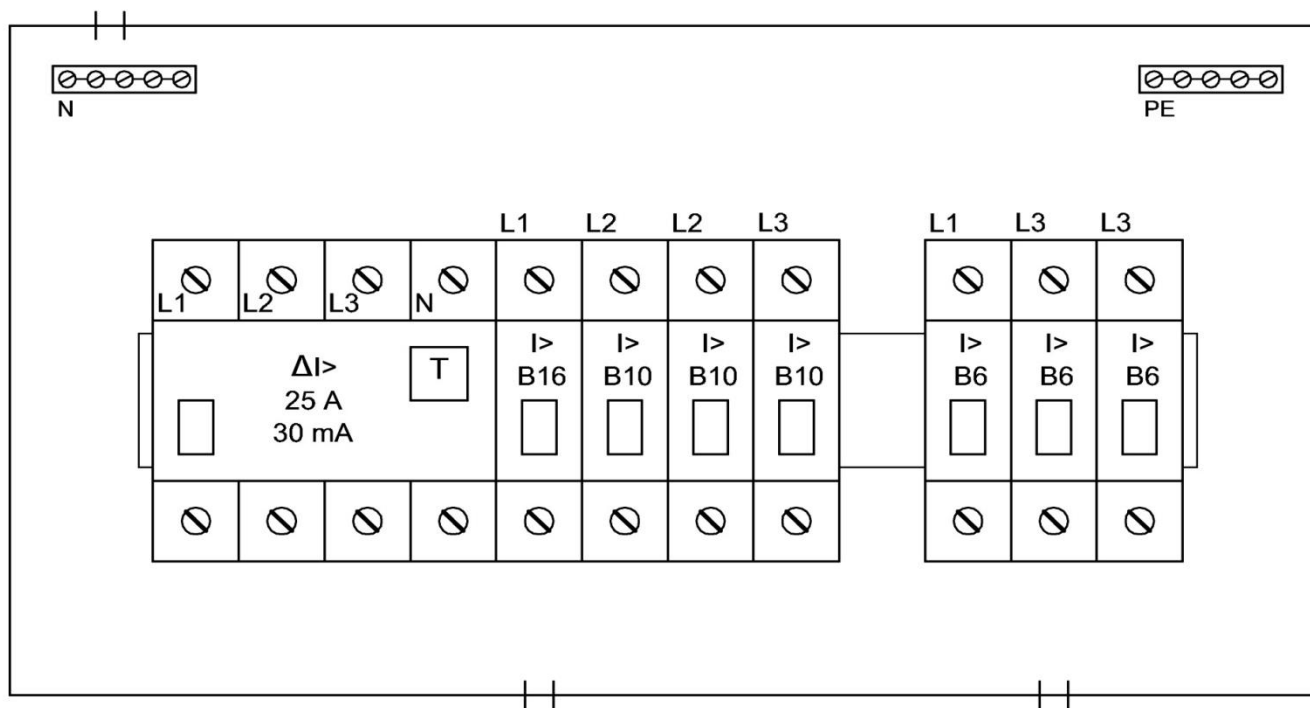
W celu sprawdzenia poprawności montażu zabezpieczeń obwodów oświetlenia zamontuj oprawkę używając przewodu DY 2×1,5 mm² i podłącz ją do dowolnego obwodu oświetlenia.

YDYżo 5 x 2,5 mm²

puszka zasilająca



rozdzielnica



Lp.	Oceniany element instalacji	Zaznacz znak X w odpowiedniej kolumnie		Zapisz wniosek: sprawny/niesprawny
		TAK	NIE	
1	Po załączeniu wyłącznika różnicowoprądowego, wyłącznik nie wyłącza się samoczynnie.			
2	Po załączeniu wyłącznika różnicowoprądowego oraz wciśnięciu przycisku TEST wyłącznik wyłącza się.			
3	Po załączeniu wyłącznika różnicowoprądowego oraz wyłączników instalacyjnych nadprądowych B16 i B10 w obwodach nie ma zwarcia.			
4	Po załączeniu wyłącznika instalacyjnego nadprądowego B16 i wyłączników B10 sprawdzenie neonowym wskaźnikiem napięcia potwierdza obecność napięcia na wyjściu tych wyłączników nadprądowych.			
5	Sprawdzenie neonowym wskaźnikiem napięcia potwierdza obecność napięcia z lewej strony gniazda wtyczkowego (bolec PE na górze).			
6	Po wyłączeniu wyłącznika różnicowoprądowego i załączeniu wyłączników nadprądowych B6 sprawdzenie neonowym wskaźnikiem napięcia potwierdza obecność napięcia na wyjściu trzech wyłączników nadprądowych.			
7	Załączenie wyłącznika nadprądowego B6 powoduje świecenie podłączonej żarówki zamontowanej w oprawce.			

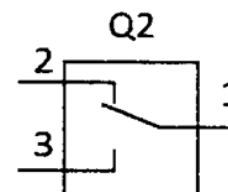
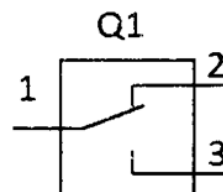
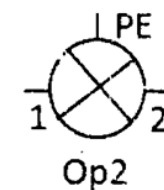
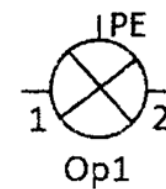
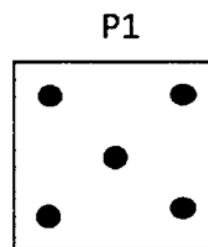
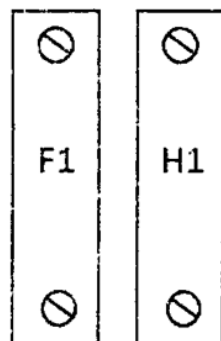
Lp.	Stan ciągłości połączeń przewodu ochronnego	Wartość	Jednostka miary	Zapisz wniosek: ciągłość/przerwa
1.	Pomiar na odcinku między listwą PE w rozdzielnicy a bolcem ochronnym gniazda wtyczkowego.			

Zadanie 3

W załączeniu niedokończony schemat instalacji elektrycznej. Należy połączyć instalację tak aby można było załączyć obie żarówki razem z dwóch różnych miejsc.

PZ – puszka zasilająca
F1 – wyłącznik nadprądowy
H1 – lampka kontrolna
P1 – puszka łączeniowa
Op1, Op2 – żarówka
Q1, Q2 – łączniki schodowe

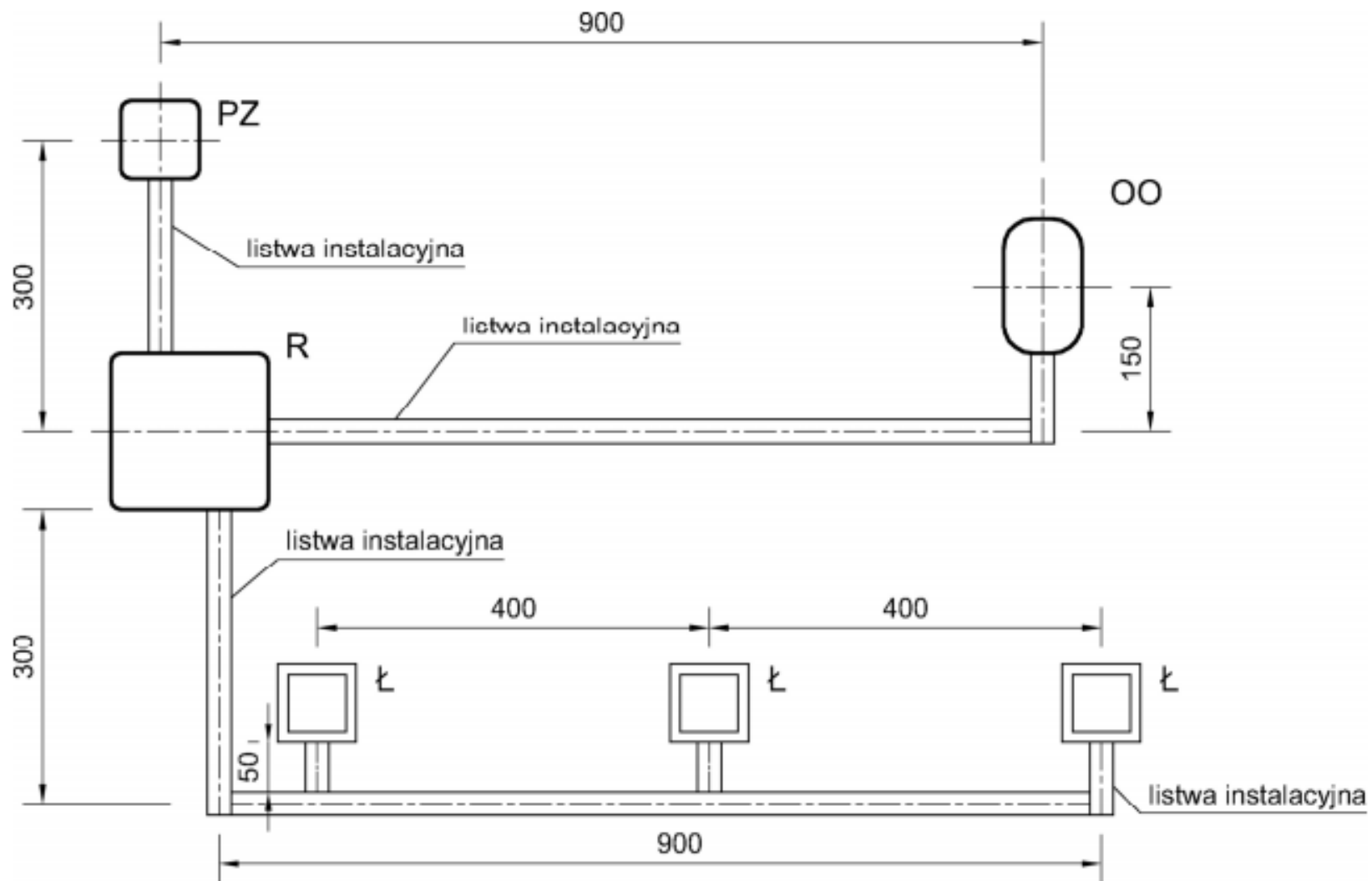
Wszystkie połączenia należy wykonać w puszcze łączeniowej.



Zadanie 4

Zaprojektuj układ sterowania oświetleniem korytarza z trzech miejsc przy użyciu przekaźnika bistabilnego. Zadanie rozpocznij od schematu montażowego instalacji elektrycznej o sposób podłączenia przekaźnika bistabilnego

1	Na schemacie montażowym połączenia przewodów neutralnych narysowane są zgodnie z instrukcją montażu przekaźnika, dostępną na stanowisku egzaminacyjnym
2	Na schemacie montażowym połączenia przewodu fazowego narysowane są zgodnie z instrukcją montażu przekaźnika, dostępną na stanowisku egzaminacyjnym
3	Na schemacie montażowym narysowane jest połączenie przewodu ochronnego z punktem PE oprawy oświetleniowej.
4	Schemat montażowy jest tak narysowany, że zarówno przekaźnik bistabilny jak i oprawa oświetleniowa są zabezpieczone wyłącznikiem nadprądowym B6
5	Łączniki przyciskowe dzwonekowe połączone są równolegle
6	Uzupełniony schemat montażowy gwarantuje sterowanie oświetleniem z trzech miejsc



Dziękuję za uwagę



mgr inż. Robert Czak

tel: 0048 603687444

mail: robert.czak@op.pl