

ANDRZEJ KANICKI

**SYSTEMY
ELEKTROENERGETYCZNE**

1. SYSTEM ELEKTROENERGETYCZNY

1.1 Wstęp

Systemem energetycznym będziemy nazywali zespół obiektów i urządzeń służących do uzyskiwania, przetwarzania, przesyłania, rozdziału oraz użytkowania energii we wszystkich jej postaciach. System energetyczny pozyskuje tzw. energię pierwotną, do której zaliczamy:

- energię chemiczną zawartą w węglu, ropie naftowej, gazie,
- energię potencjalną lub kinetyczną zawartą w wodzie, wietrze,
- energię powiązań atomowych zawartą w tzw. paliwach atomowych,
- energię słoneczną, itp..

Energia pierwotna może być użytkowana u odbiorcy po jej dostarczeniu i może być przetwarzana na inną postać energii tzw. energię wtórną np. spalanie węgla w piecu w domu. Na ogół energia pierwotna jest przetwarzana na tą samą postać energii np. przeróbka ropy w benzynę lub na inną postać energii wtórnej. Przykładowy cykl przetwarzania i użytkowania energii:

- chemiczna węgla na ciepłą,
- ciepła na mechaniczną,
- mechaniczna na elektryczną,
- elektryczna na mechaniczną wykorzystywaną np. w pile tarczowej.

Jedną z postaci energii wtórnej jest energia elektryczna. Energię elektryczną wytwarzamy w elektrowniach, które w zależności od rodzaju energii pierwotnej dzielimy na:

- elektrownie ciepłone, gdzie energia chemiczna przetwarzana jest na energię ciepłą, a ta na energię elektryczną. Źródłem energii pierwotnej może być węgiel, ropa naftowa.
- elektrownie wodne,
- elektrownie wiatrowe,
- elektrownie jądrowe,
- elektrownie słoneczne,
- elektrownie gazowe.

Energię elektryczną w czasie jej użytkowania zamieniamy na:

- energię mechaniczną,
- energię ciepłą,
- energię świetlną,
- z powrotem na energię chemiczną.

Z powyższych rozważań wynika, że jednym z podsystemów systemu energetycznego jest system elektroenergetyczny. System elektroenergetyczny to zespół obiektów i urządzeń służących do wytwarzania, przetwarzania, przesyłania, rozdziału oraz użytkowania energii elektrycznej.

Do przesyłu i rozdziału energii elektrycznej a także do jej przetwarzania służy sieć elektroenergetyczna zwana też układem elektroenergetycznym lub układem przesyłowo – rozdzielczym.

Energia elektryczna w systemie elektroenergetycznym jak i sam system elektroenergetyczny posiadają pewne cechy:

1. Wytwarzanie, przesyłanie, rozdział i użytkowanie energii elektrycznej odbywa się praktycznie biorąc równocześnie. Prędkość fali elektromagnetycznej (3000000 km/s) powoduje, że rozprzestrzenianie zjawisk w systemie elektroenergetycznym trwa pomijalnie mało czasu pomimo rozległości systemu sięgającej setek lub tysięcy kilometrów.
2. W chwili obecnej nie znamy możliwości magazynowania energii elektrycznej. Znane nam sposoby dotyczą w zasadzie innych rodzajów energii np. elektrownie szczytowo pompowe. Powoduje to, że energia elektryczna, a więc moc czynna oraz bierna, wytwarzana musi być w każdej chwili równa energii użytkowanej powiększona o straty energii w systemie elektroenergetycznym.

3. Energia pobierana przez odbiorców ulega zmianom w cyklach:

- dobowych,
- miesięcznych,
- rocznych,
- wieloletnich.

Do tego zapotrzebowania musi dostosowywać się podsystem wytwórczy w systemie elektroenergetycznym. Duża szybkość tych zmian powoduje, że regulacja mocy wytworzonej musi się odbywać automatycznie,

4. Kryteriami regulacji nie może być energia ani moc czynna czy bierna albowiem dla systemu są to wielkości w zasadzie niemierzalne. Dlatego przyjmuje się jako kryteria regulacji: wartość częstotliwości systemu elektroenergetycznego, wartość napięć w wybranych miejscach systemu elektroenergetycznego. Są to także podstawowe dwa wskaźniki jakości energii elektrycznej.

5. Energia elektryczna jest wykorzystywana u odbiorców w newralgicznych punktach działalności człowieka np.:

- oświetlenie,
- windy,
- zabezpieczenia przeciwpożarowe,
- szpitale,

Musimy, więc zapewnić dużą niezawodność dostawy energii elektrycznej i dostarczanie tej energii o odpowiedniej jakości.

6. W przypadku, gdy w systemie występują elektrownie, których produkcja zależy od czynników przypadkowych takich jak pogoda (np. elektrownie wiatrowe, słoneczne) musimy utrzymywać rezerwę mocy w innych elektrowniach.

W systemach elektroenergetycznych wytwarzające energię elektryczną elektrownie są między sobą połączone za pomocą sieci elektroenergetycznej do tak zwanej pracy równoległej, synchronicznej. Zazwyczaj mówimy o systemie elektroenergetycznym danego państwa. Od około 20 lat systemy elektroenergetyczne państw łączą się w większe systemy. W Europie mamy między innymi:

1. UCPTE (UCTE),
2. JSE (b. ZSRR),
3. Nordel,
4. GBE (W. Brytania i Irlandia),
5. Centrel.

Między tymi wielkimi systemami elektroenergetycznymi istnieją powiązania na prądzie zmiennym lub stałym. Długość linii przesyłowych prądu zmiennego jest ograniczona. Ta długość graniczna zależy od obciążenia linii oraz typu linii: napowietrzna czy kablowa, przy czym graniczne długości linii kablowych są znacznie mniejsze niż napowietrznych. W sytuacji, gdy rzeczywista długość linii prądu przemiennego jest większa od długości granicznej musimy zastosować linię prądu stałego. Dla linii prądu stałego pojęcie długości granicznej nie istnieje.

Motywami przemawiającymi za łączeniem elektrowni w system elektroenergetyczny i za łączeniem systemów elektroenergetycznych między sobą są:

1. Możliwość powiększenia niezawodności zasilania odbiorców energią elektryczną.
2. Możliwość zmniejszenia całkowitej rezerwy mocy. Ze względu na zmienność obciążenia musimy utrzymywać rezerwę mocy w systemie elektroenergetycznym. Można wyróżnić kilka rodzajów rezerwy:
 - a) rezerwa wirująca w wirujących generatorach,
 - b) rezerwa gorąca w rozpalonym kotle,
 - c) rezerwa zimna.

Przy połączeniu dwóch systemów do pracy równoległej moc rezerwy wynosi $P_R + P_R = 2P_R$, zaś w systemie połączonym P_{RW} jest: $R_R < P_{RW} < 2P_R$.

3. W połączonych systemach ogólny szczyt obciążenia jest mniejszy od sumy szczytowych obciążeń poszczególnych SEE. Wynika to z faktu, że w poszczególnych systemach elektroenergetycznych szczyty obciążeń są przesunięte. W przypadku systemów elektroenergetycznych leżących równoleżnikowo przesunięcia szczytów obciążenia wynikają z innego położenia słońca. Można przyjąć, że 1000 km daje przesunięcie o 1 godz..
4. W połączonych systemach elektroenergetycznych można racjonalnie wykorzystać energię elektryczną produkowaną w elektrowniach tanich.
5. W połączonych systemach elektroenergetycznych można łatwiej układać plan remontów urządzeń systemu elektroenergetycznego.
6. W dużych systemach elektroenergetycznych można budować generatory i elektrownie o większych mocach. Wynika to z tzw. zasady (n-1), która mówi "awaria dotycząca jedno, dowolne urządzenie zainstalowane w systemie elektroenergetycznym nie powoduje przerw w dostawie energii elektrycznej do odbiorców". Z zasady tej wynika, że awaryjny wypadek największej jednostki nie może spowodować zakłóceń w pracy systemu elektroenergetycznego. Jednocześnie uważa się, że większe jednostki to niższy koszt jednostkowy produkcji energii elektrycznej. Tak jest w istocie. Jest to tzw. prawo skali w wytwarzaniu energii elektrycznej. Obecnie w dobie trudności z uzyskaniem zgody na lokalizację elektrowni i linii, uważa się, że prawo skali nie zawsze już obowiązuje. W tej sytuacji zaczęto przywiązywać dużą wagę do regionalnych małych źródeł energii (wodnej, wiatrowej, uzyskiwanie metanu z przeróbki śmieci). Produkcja energii elektrycznej za pomocą małych, lokalnych elektrowni nazywamy "generacją rozproszoną".

Łączenie systemu elektroenergetycznego do pracy równoległej ma swoje ujemne cechy, należą do nich:

1. koszty budowy urządzeń przesyłowych (linii) łączących systemy oraz urządzeń pomiarowych,
2. komplikuje się kierowanie pracą połączonych systemów elektroenergetycznych,
3. w połączonych systemach elektroenergetycznych zwiększa się moc zwarciowa w związku ze zwiększeniem sumarycznej mocy znamionowej generatorów.

1.2 Stany pracy systemu elektroenergetycznego

Analizując pracę systemu elektroenergetycznego musimy stworzyć model matematyczny tego systemu. Model taki tworzymy na podstawie:

- struktury systemu,
- modeli elementów odwzorowujących prawa fizyki.

W praktyce każdy model matematyczny obiektu fizycznego stanowi kompromis między wymaganą dokładnością odwzorowania układu rzeczywistego, trudnościami w identyfikacji parametrów modeli elementów oraz możliwością wykorzystania modelu (jego rozwiązania i przejrzystości wyników). Dlatego dla systemu elektroenergetycznego nie tworzy się modelu matematycznego tego systemu a raczej modele rozpatrywanych zjawisk występujących w systemie. System elektroenergetyczny jest w ogólnym przypadku obiektem dynamicznym tzn. takim, w którym opisujące go zmienne zależą od czasu. Przy formowaniu modelu matematycznego wprowadza się pojęcie stanu układu i zmiennych stanu. Przez stan układu rozumie się warunki, w jakich znajduje się układ. Zmiennymi stanu nazywa się najmniej liczny zbiór zmiennych, jednoznacznie określający stan układu. Zmienne stanu zapisane w macierzy kolumnowej nazywamy wektorem stanu. Przestrzeń Euklidesową o współrzędnych (osiach) odpowiadających zmiennym stanu nazywamy przestrzenią stanów. W przestrzeni stanu każdemu stanowi odpowiada punkt określany wektorem stanu.

Zastanówmy się nad zmiennymi stanu czwórnika pasywnego statycznego w stanie ustalonym, przy założeniach:

- znamy parametry modelu,
- znamy model czwórnika,

nasuwają się pytania:

- ile trzeba znać wielkości ?
- jakie to wielkości ?

W teorii układów dynamicznych możemy wyróżnić 4 etapy:

- analizę,
- identyfikację,
- estymację,
- sterowanie.

Analiza układów dynamicznych zajmuje się badaniem rozwiązań ich modeli matematycznych. Analiza może być:

- ilościowa, gdy wyznacza się przebiegi zmiennych w czasie,
- jakościowa, gdy określa się pewne właściwości przebiegów.

Analizując stany pracy systemu elektroenergetycznego możemy je różnorodnie klasyfikować. Podział podstawowy to:

- stan ustalony, gdy zmienne stanu nie ulegają zmianie. W rzeczywistości zmienne stanu ulegają zmianom bardzo powolnym wokół punktu pracy,
- stany nieustalone (przejściowe), gdy zmienne stanu ulegają szybkim zmianom.

Można przyjąć inny, praktyczny podział stanów występujących w systemie elektroenergetycznym:

1. stan normalny ustalony, zmienne stanu nie ulegają zmianom i mają wartości umożliwiające prawidłową, normalną pracę odbiorów i źródeł,
2. stan przejściowy normalny pozostający przy niewielkich zmianach schematu lub obciążeń. Wtedy pewne nieliczne zmienne stanu ulegają szybkim zmianom pozostałe bardzo niewielkim, a w wyniku powstaje stan normalny ustalony,
3. stan przejściowy awaryjny, w którym duża liczba zmiennych stanu ulega szybkim zmianom, a stan końcowy jest nie do określenia,
4. stan ustalony poawaryjny.

Podział stanów nieustalony ze względu na fizyczny charakter zjawisk towarzyszących tym stanom można podzielić na:

1. falowe – przepięcia atmosferyczne, łączeniowe i inne,
2. elektromagnetyczne – zwarcia, rezonanse, przebiegi wyrównawcze,
3. elektromechaniczne – zjawiska wywołane ruchem względnym wirników maszyn-kołysania wirników, oscylacje skrętne wałów, oscylacje międzysystemowe mocy czynnej, działanie regulatorów wzbudzenia turbiny,
4. termodynamiczne – wynikające z procesów regulacji kotłów w elektrowniach o załączanie rezerwy gorącej i zimnej

Podział stanów nieustalonych ze względu na okresy czasowe drgań i przyczyny ich powstania:

1. przepięcia atmosferyczne: ($10^{-7} \div 10^{-2}$) s,
2. przepięcia łączeniowe: ($10^{-5} \div 10^{-1}$) s,
3. zjawiska elektromagnetyczne: ($10^{-4} \div 1$) s,
4. kołysanie wirników maszyn: ($10^{-2} \div 10$) s,
5. oscylacje P międzysystemowe: ($10^{-1} \div 10$) s,
6. regulacje mocy i częstotliwości: ($10^{-1} \div$) s,
7. wprowadzenie rezerwy: godziny.

1.3 Podstawowe parametry Polskiego systemu elektroenergetycznego











