

2

Stabilność kątowna układu generator–sieć sztywna

W uproszczonych rozważaniach, gdy moc danego zespołu wytwórczego jest dużo mniejsza od mocy pozostałych generatorów, można uznać, że zmiany mocy tego generatora nie powodują zmian napięcia wewnątrz sieci przesyłowej. Przy tym założeniu SEE można zastąpić źródłem napięcia \underline{U}_s o stałej wartości zarówno co do modułu, jak i fazy oraz reaktancją zastępczą systemu X_s . Reaktancję tę oblicza się z wzoru

$$S_K'' = U_n^2 / X_s \quad \text{oraz} \quad X_s = U_n^2 / S_K'' \quad (2.1)$$

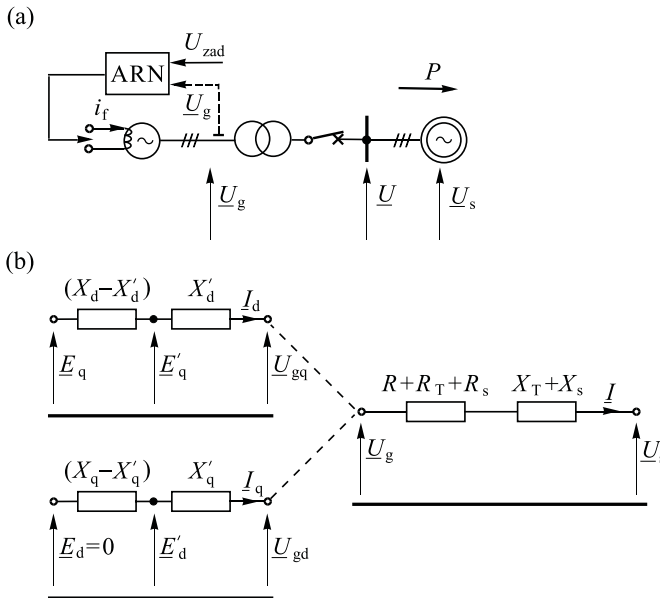
gdzie: S_K'' – moc zwarciova dostarczana przez SEE z pominięciem udziału danego generatora, U_n – napięcie znamionowe (międzyfazowe) sieci. Takie źródło zastępujące SEE nazywa się *siecią sztywną* (ang. *infinite bus*).

2.1. Charakterystyka mocy w stanie ustalonym

Do dalszych rozważań przyjmuje się układ generator–sieć sztywna jak na rys. 2.1. W układzie tym blok generator–transformator (lewa strona rys. 2.1a) pracuje na SEE (prawa strona rys. 2.1a), który jest zastąpiony siecią sztywną o napięciu \underline{U}_s za reaktancją X_s . W stanie ustalonym generator jest zastąpiony siłami elektromotorycznymi $\underline{E}_q \neq 0$ oraz $\underline{E}_d = 0$ za reaktancjami odpowiednio X_d oraz X_q , a w stanie przejściowym siłami elektromotorycznymi \underline{E}'_q oraz \underline{E}'_d za reaktancjami odpowiednio X'_d oraz X'_q .

Wykres fazorowy i charakterystykę mocy układu z rys. 2.1 dla stanu ustalonego pokazano na rys. 2.2. Przy konstruowaniu tego wykresu do impedancji generatora jest dodana impedancja transformatora blokowego oraz impedancja zastępcza SEE, czyli:

$$r = R + R_T + R_s; \quad x_d = X_d + X_T + X_s; \quad x_q = X_q + X_T + X_s \quad (2.2)$$



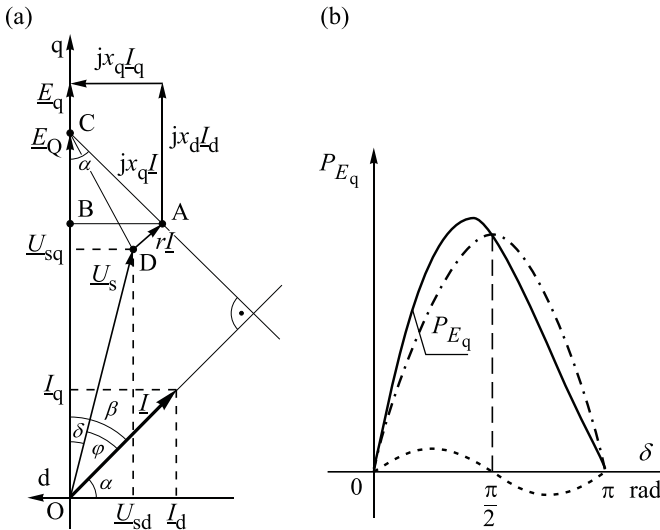
Rys. 2.1. Układ generator–sieć sztywna wg [79]: (a) schemat ideowy, (b) schematy zastępcze z uwzględnieniem asymetrii wirnika

Przy założeniu, że jest zadane napięcie sieci sztywnej oraz moc do niej dopływająca, wykres fazorowy konstruuje się w następujący sposób:

1. Rysuje się fazor napięcia \underline{U}_s oraz fazor prądu \underline{I} przesunięty o kąt φ zgodnie z zadaniem obciążeniem.
2. Oblicza się $\underline{E}_Q = \underline{U}_s + \underline{I}r + jx_q \underline{I}$, co wyznacza fikcyjną siłę elektromotoryczną oraz punkt C, przez który przechodzi oś q (dowód niżej).
3. Z twierdzenia Pitagorasa dla trójkąta ACD oblicza się długość boku DC.
4. Z twierdzenia kosinusów zachodzi: $|\underline{DC}|^2 = |\underline{OC}|^2 + |\underline{OD}|^2 - 2|\underline{OC}| \cdot |\underline{OD}| \cdot \cos \delta$. Stąd oblicza się kąt δ między fazorem napięcia sieci sztywnej a osią q.
5. Oblicza się kąt $\beta = \delta + \varphi$.
6. Oblicza się składowe prądu $\underline{I}_d = \underline{I} \sin \beta$ oraz $\underline{I}_q = \underline{I} \cos \beta$.
7. Oblicza się siłę elektromotoryczną generatora $\underline{E}_q = \underline{U}_s + \underline{I}r + jx_d \underline{I}_d + jx_q \underline{I}_q$.

Dowód na to, że punkt C wyznaczony przez wyżej obliczone \underline{E}_Q leży na osi q jest następujący. Odcinek AB ma długość $X_q I_q$ odpowiadającą stracie napięcia na reaktancji X_q . Z trójkąta ABC można obliczyć

$$|\underline{AC}| = \frac{|\underline{AB}|}{\sin \alpha} = \frac{X_q I_q}{\sin \alpha} = X_q \frac{I_q}{\sin \alpha} = X_q I$$



Rys. 2.2. Wykres fazorowy i kątowna charakterystyka mocy układu generator–sieć sztywna dla stanu ustalonego wg [79]: (a) wykres fazorowy, (b) kątowna charakterystyka mocy

Oznacza to, że odcinek AC (prostopadły do prądu) ma długość $X_q I$. Fakt ten jest podstawą metody wykreślania wykresu fazorowego i znajdowania rozkładu prądu oraz napięć na osie prostokątne d, q . Fikcyjną sem odpowiadającą odcinkowi OC oznacza się zwyczajowo przez E_Q .

Warto zwrócić uwagę, że $|\underline{E}_q| - |\underline{E}_Q| = (x_d - x_q) I_d$. W przypadku generatorów z biegunami utajonymi (turbogeneratory) zachodzi $x_d = x_q$, czyli $\underline{E}_q = \underline{E}_Q$. W przypadku generatorów z biegunami wydajnymi (hydrogeneratory) zachodzi $x_d \neq x_q$, czyli $\underline{E}_q \neq \underline{E}_Q$.

Dla wygody dalsze rozważania są przeprowadzone dla wartości rzeczywistych odpowiadających długości poszczególnych fazy. Dla prądu i jego składowych oraz napięcia i jego składowych można napisać następujące zależności:

$$I_d = -I \sin \beta \quad \text{oraz} \quad I_q = I \cos \beta \quad (2.3)$$

$$U_{sd} = -U_s \sin \delta \quad \text{oraz} \quad U_{sq} = U_s \cos \delta \quad (2.4)$$

Na podstawie sumowania odpowiednich odcinków na wykresie fazorowym (rys. 2.2) można napisać następujące równanie:

$$\begin{bmatrix} -U_{sd} \\ E_q - U_{sq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r & x_q \\ -x_d & r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_d \\ I_q \end{bmatrix} \quad (2.5)$$