ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1971

Seria: ELEKTRYKA z. 32 Nr kol. 320

ANTONI BOGUCKI
WŁADYSŁAW PASZEK

Katedra Elektroenergetyki
Katedra Technologii i Metrologii Elektrycznej

STABILNOŚĆ STATYCZNA SILNIKÓW INDUKCYJNYCH ZASILANYCH Z SIECI ELASTYCZNEJ

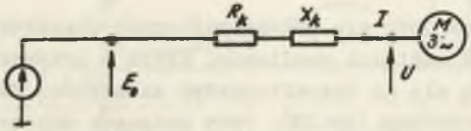
Streszczenie. Przedstawiono konieczne warunki stabilności statycznej silników asynchronicznych zasilanych z elastycznej sieci energetycznej.

Uwzględniono wpływ pojemności, kompensującej odbiory, na granicę stabilności.

Omówiono przypadki niestabilności wynikającej z pojemnościowego, samowzbudzenia silników asynchronicznych, bądź z samowzbudnych oscylacji kąta mocy kompensujących silników synchronicznych.

1. Wstęp

W przypadku zasilania silników indukcyjnych z sieci elastycznej spadki napięcia na linii zasilającej mogą poważnie zakłócać pracę silników. Istnieje problem wyznaczenia krytycznego napięcia na krańcu zasilania i na krańcu odbiorczym linii, poniżej którego następuje utrata stabilności statycznej silników. Wartości tych napięć krytycznych można wyznaczyć wyzyskując charakterystyki statyczne silników i charakterystyki momentów obciążenia przy znanych impedancjach linii zasilającej. Zagadnienie jest najprostsze w przypadku jednego silnika asynchronicznego stanowiącego odbiór zasilany z sieci sztywnej poprzez impedancję przesyłową $\hat{Z} = R_k + jX_k$ jak na rys. 1.



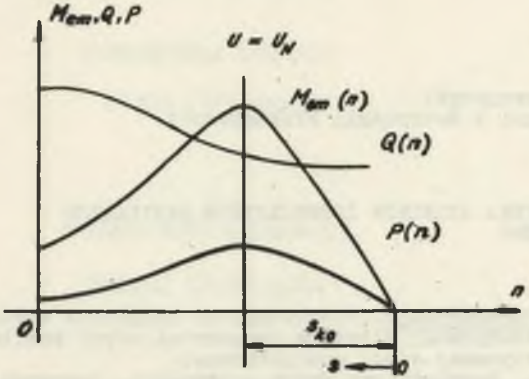
Rys. 1. Układ zasilania silnika indukcyjnego

2. Charakterystyki przy stałym napięciu zasilania

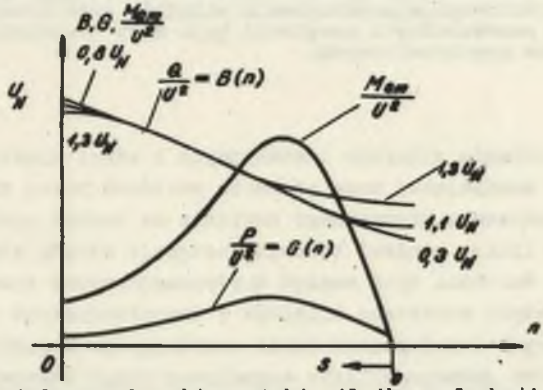
2.1. Charakterystyki silnika indukcyjnego

Charakterystyki silnika są wyznaczane przy zasilaniu stojana ze źródła sztywnego napięcia przy napięciu znamionowym. Nie ograniczając się do określonego typu silnika (z wirnikiem pierścieniowym bądź z wirnikiem jed-

no- lub wieloklatkowym czy głębokożłobkowym) mamy do dyspozycji charakterystykę mechaniczną $M_{em}(n)$ oraz charakterystyki mocy czynnej P(n) i biernej Q(n), pobieranej z sieci sztywnej, które wynikają z zależności prądu stojana i współczynnika mocy od poślizgu (rys. 2a).

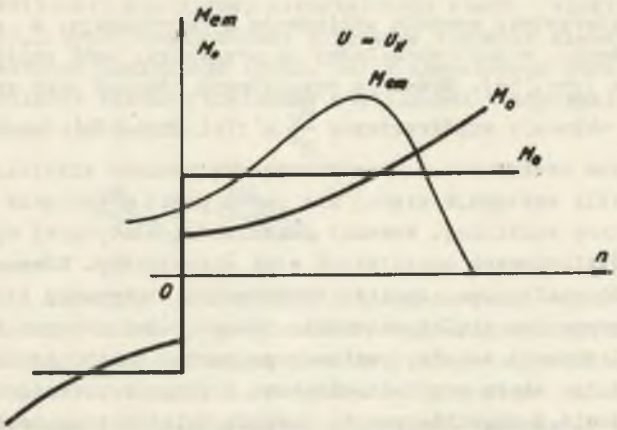


Rys. 2a. Charakterystyki momentu, mocy czynnej i biernej silnika asynchronicznego w funkcji prędkości wirowania przy napięciu znamionowym

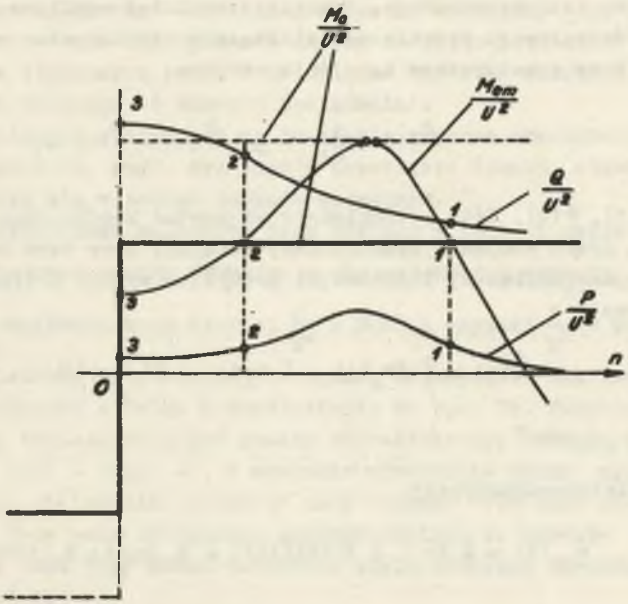


Rys. 2b. Przekształcone charakterystyki silnika w funkcji prędkości wirowania przy napięciu zasilania zmiennym parametrycznie

Wygodnie jest posłużyć się przekształconymi charakterystykami odniesionymi do kwadratu napięcia zasilania, które w przypadku mocy czynnej i biernej sprowadzają się do charakterystyk zależności rzeczywistej i urojonej admitancji silnika od poślizgu (rys.2b). Przy zmianach napięcia zasilania zmieniają się wartości admitancji silnika, w szczególności jej składowej urojonej, na skutek wpływu nasycenia obwodu magnetycznego strumieniem głównym (przy wzroście napięcia maleje reaktancja magnesowania) i strumienia rozproszenia (przy wzroście prądu maleje reaktancja rozproszenia). Przy nienasyconym obwodzie magnetycznym admitancje nie zależą od napięcia zasilania i są wyłącznie funkcjami prędkości obrotowej silnika. Przekształcona charakterystyka momentu silnika $\frac{M_{em}}{U^2} = f(n)$ z dobrym przybliżeniem prawie nie zależy od napięcia zasilania.



Rys. 3a. Charakterystyka momentu silnika i momentu obciążenia w funkcji prędkości wirowania



Rys. 3b. Przekształcone charakterystyki silnika i momentu obciążenia w funkcji prędkości wirowania

2.2. Charakterystyki obciążenia

Charakterystyki momentu obciążenia $M_o(n)$ wykazują, ż zależności od typu obciążenia, moment niezależny od prędkości, bądź zależny od niej parabolicznie (rys. 3a). Można je przedstawić również jako gromadę charakterystyk w układzie współrzędnych $\frac{M_o}{U^2} = f(n)$ (rys. 3b). Punkty przecięcia charakterystyk obciążenia z charakterystyką momentu silnika wyznaczają punkty pracy. Jeśli występuje więcej niż jeden punkt przecięcia trzeba określić punkty pracy stabilnej. Warunki stabilności statycznej wynikają z analizy równań różniczkowych opisujących stan nieustalony. Równania różniczkowe są na ogół nieliniowe. Analizę stabilności statycznej (stabilności lokanej) przeprowadza się na podstawie równań różniczkowych linearyzowanych (metodą Lapunowa) dokoła domniemanego punktu pracy ustalonej.

Zakładając stałą prędkość ustaloną w punkcie przecięcia charakterystyki obciążenia z charakterystyką momentu silnika przy prędkości n_o równanie momentów obrotowych

$$J \frac{\Delta\omega}{dt} = M_{em}(\Delta\omega) - M_o(\Delta\omega) \tag{1a}$$

gdzie J - moment bezwładności mas wirujących.

Moment elektromagnetyczny wyrażony funkcją dowolnie małej odchyłki kątowej prędkości obrotowej od prędkości $\omega_o = 2\pi n_o$ wynika z prądu stojana silnika asynchronicznego, który jest z kolei wynikiem rozwiązania równania różniczkowego opisującego elektromagnetyczny stan nieustalony maszyny [4]. Przy symetrycznym uzwojeniu stojana

$$\hat{U}(t) = \frac{d}{dt}(+ j\omega)\,\hat{\Psi}(t) + \hat{I}(t)\,R_1 \tag{1b}$$

gdzie $U(t)$, $\Psi(t)$, $I(t)$ - kompleksorowa postać uogólnionego napięcia, liniozwojów i prądu stojana symetrycznej maszyny, przy czym uogólniona wielkość stojana (napięcie, liniozwoje, prąd) $\hat{W}(t)$ wynika z transformacji kompleksorowej

$$\hat{W}(t) = \frac{2}{3}\left(W_a(t) + \hat{a}\,W_b(t) + \hat{a}^2\,W_c(t)\right)$$

gdzie $\hat{a} = e^{j120^o}$

Moment elektromagnetyczny

$$M_{em}(t) = \frac{2}{3}\,\mathrm{Re}\left[-j\,\hat{\Psi}(t)\,\overset{*}{I}(t)\right] = M_{em}(\omega_o) + M_{em}(\Delta\omega) \tag{1c}$$

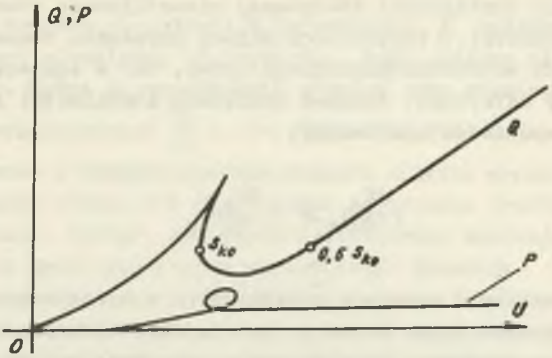
Przy zachowaniu stabilności statycznej nieustalonego stanu elektromagnetycznego (z równ.1b), o stabilności układu przesądza równanie nieustalonego ruchu układu elektromechanicznego (równ. 1a) w sąsiedztwie punktu domniemanej pracy ustalonej. Warunek konieczny stabilności statycznej w równ 1a można sprowadzić do nierówności

$$\left(\frac{dM_o}{dn}\right)_{n_o} > \left(\frac{dM_{em}}{dn}\right)_{n_o} \qquad (2)$$

W przypadku zasilania silników indukcyjnych z sieci sztywnej warunek ten jest również dostateczny. Można go potwierdzić rozumowaniem fizykalnym polegającym na wprowadzeniu przejściowego, dowolnie małego zakłócenia, np. małego zwiększenia momentu obciążenia. W wyniku zwiększonego obciążenia następuje przejściowe zmniejszenie prędkości wirowania zgodnie z równaniem ruchu obrotowego. Jeśli w wyniku zaniku zakłócenia układ wraca ponownie do hipotetycznego punktu pracy ustalonej, jest on punktem pracy stabilnym statycznie. Przy stałym momencie obciążenia podział charakterystyki momentu silnika na część stabilną i niestabilną następuje przy poślizgu s_{ko} przy maksymalnym momencie silnika. Przy momencie o zmienności parabolicznej punkt podziału występuje przy poślizgu $s_k > s_{ko}$ zależnie od typu paraboli. W ogólnym przypadku może być kilka możliwych punktów pracy stabilnej. Tak np. duża liczba przypadków obciążenia wykazuje przedstawiony na rys. 3b tak zwany "bierny" charakter momentu, znamienny tym, że przy zerowej prędkości wirowania znak momentu zależy od znaku prędkości. W konsekwencji jednym ze stabilnych punktów pracy może być stan rozruchu (jeśli moment silnika jest mniejszy od momentu obciążenia).

Na granicy stabilności statycznej są do siebie styczne charakterystyki momentu silnika i odbioru, wzgl. dwa punkty przecięcia (punkt stabilny i niestabilny) jednoczą się w jednym punkcie podwójnym.

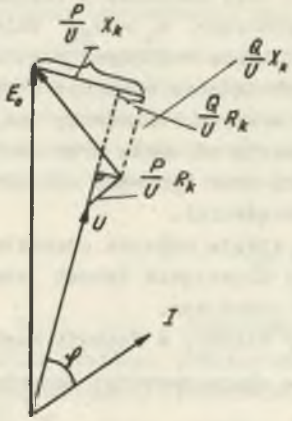
Jest wygodnie rozpatrywać zależność mocy biernej w funkcji napięcia zasilania stojana. Ponieważ punkty przecięcia charakterystyk momentu $\frac{M_o(n)}{U^2}$ i $\frac{M_{em}(n)}{U^2}$ wyznaczają wartości mocy biernej $\frac{Q}{U^2} = B(n)$ i czynnej $\frac{P}{U^2} = G(n)$, można wyznaczyć zależność mocy biernej i czynnej od napięcia zasilania na podstawie charakterystyki silnika przedstawionej na rys. 3b. Funkcje B(n) i G(n) są funkcjami transformującymi punkty charakterystyk momentu do charakterystyk Q(U) i G(U) - (rys. 4). W szerokim przedziale zmian napięcia przy stałym momencie obciążenia zmienność mocy czynnej P(U) jest nie duża na skutek stałości mocy pola wirującego proporcjonalnej do momentu obciążenia. Funkcje Q(U) oraz P(U) można uzupełnić skalą poślizgu odpowiadającego prędkości ustalonej n_o.



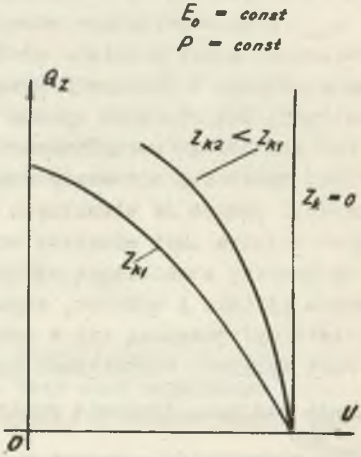
Rys. 4. Charakterystyki pobieranej mocy czynnej i biernej silnika w funkcji napięcia zasilania

3. Punkty pracy przy elastycznej sieci zasilającej

Przy sztywnym napięciu na krańcu zasilającym linii, napięcie na krańcu odbiorczym jest funkcją mocy biernej i czynnej odbioru. Z wykresu wskazo-



Rys. 5a. Wykres wskazowy linii przesyłowej



Rys. 5b. Charakterystyka dosyłanej mocy biernej linii zasilającej w funkcji napięcia w punkcie odbiorczym

wego linii (rys. 5a) wynika charakterystyka mocy biernej dostarczonej z sieci w funkcji napięcia na krańcu odbiorczym (rys. 5b)

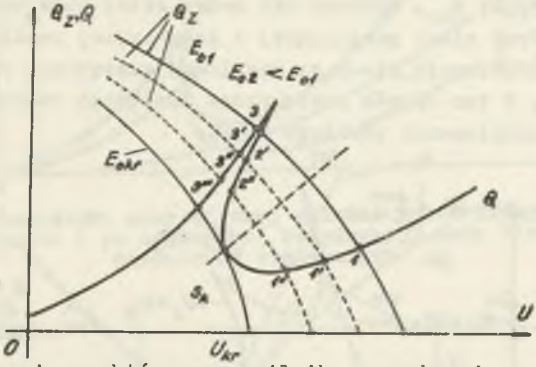
$$Q_z = -AU^2 + \sqrt{-BU^4 + CU^2 - D} \tag{3}$$

gdzie

$$A = \frac{X_k}{Z_k^2}, \quad B = \frac{R_k^2}{Z_k^4}$$

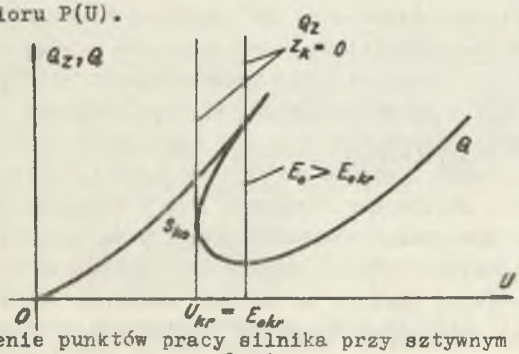
$$C = \frac{E_o^2 - 2R_k P}{Z_k^2}, \quad D = P^2$$

Charakterystykę $Q_u(U)$ można wykreślić przy uwzględnieniu zmienności P(U) odbioru. Punkty przecięcia charakterystyki sieci zasilającej i odbioru wyznaczają punkty pracy. Spośród punktów przecięcia conajmniej jeden wyznacza punkt możliwej pracy stabilnej. Na rys. 6a przedstawiono charakte-



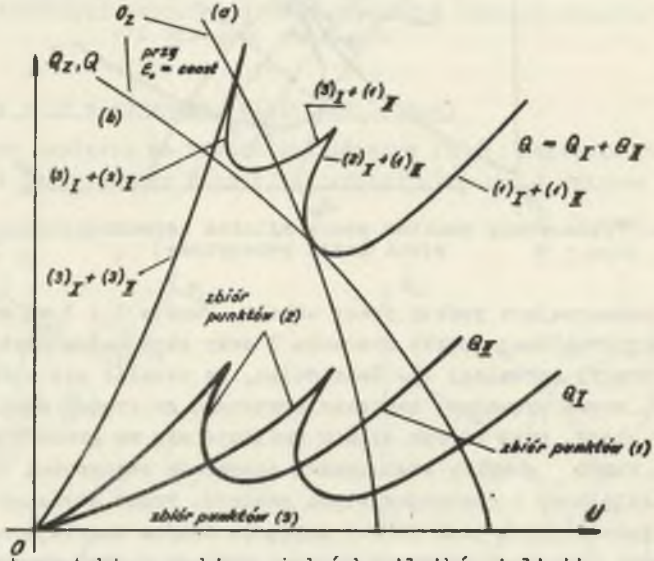
Rys. 6a. Wyznaczenie punktów pracy silnika asynchronicznego zasilanego z sieci linii przesyłowej

rystyki wyznaczające punkty pracy układu. Punkty 1 i 3 są możliwymi punktami pracy stabilnej (punkt rozruchu 3 przy zbyt małym napięciu zasilania i punkt pracy, normalnej 1). Zakładając, że ustalił się punkt pracy normalnej 1, można wyznaczyć napięcie krytyczne na krańcu zasilającym i odbiorczym sieci, przy którym silnik znajduje się na granicy stabilności statycznej. Punkt granicy stabilności odpowiada styczności charakterystyki sieci zasilającej i charakterystyki odbioru. Punkt styczności można znaleźć drogą kolejnych prób doboru napięcia krańca zasilającego linii. Łącząc środki kolejnych cięciw 1-2 można znaleźć punkty styczności. Do wyznaczenia charakterystyk sieci zasilającej oraz granicy stabilności mogą być przydatne maszyny cyfrowe, za pomocą których można uwzględnić zmienność mocy czynnej odbioru P(U).



Rys. 6b. Wyznaczenie punktów pracy silnika przy sztywnym napięciu zasilania

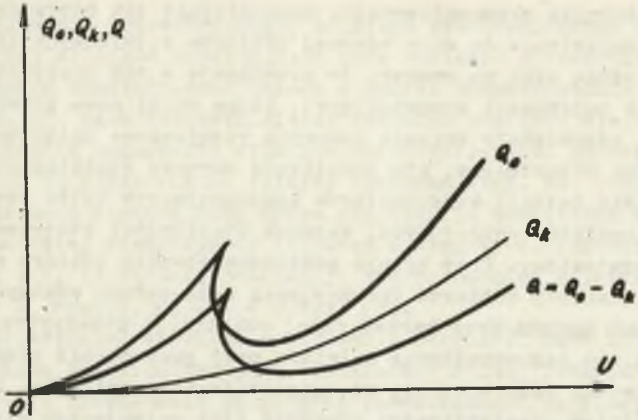
W szczególnym przypadku przyłączenie silnika do sieci sztywnej, charakterystyka sieci zasilającej $Q_z(U)$ o impedancji przesyłowej $Z_k = 0$ przechodzi w prostą równoległą do osi rzędnych (rys. 6b). W tym szczególnym przypadku na granicy stabilności statycznej wyznaczonej przez punkt styczności z charakterystyką odbioru pochodna $\frac{dQ}{dU} = \infty$, a przy stałym momencie obciążenia poślizg krytyczny wynosi s_{ko}. Przy elastycznej sieci zasilającej pochodna $\frac{dQ}{dU}$ na granicy stabilności ma wartość skończoną, a poślizg utyku s_k jest mniejszy od s_{ko}. Wniosek ten można łatwo potwierdzić następującym rozumowaniem. Przy sieci zasilającej o indukcyjnej reaktancji przesyłowej można włączyć reaktancję sieci do umyślonej zastępczej reaktancji rozproszenia silnika. W ten sposób powiększona zastępcza reaktancja rozproszenia powoduje zmniejszenie poślizgu utyku.



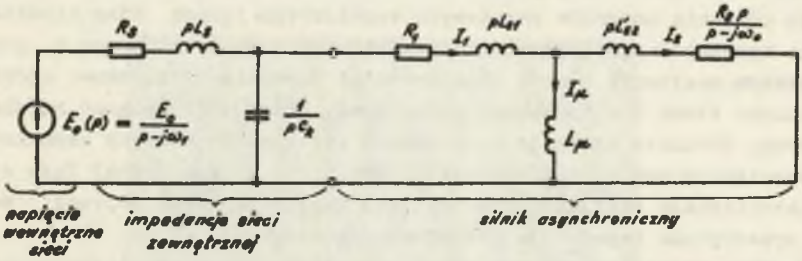
Rys. 7. Charakterystyki mocy biernej dwóch silników i linii przesyłowej

Jeśli na odbiór składa się większa liczba silników indukcyjnych, wypadkowa charakterystyka odbioru może być bardziej nieregularna. Rys. 7 przedstawia wypadkową charakterystykę dwóch silników o różnych charakterystykach składowych. Gdy jeden silnik utknie w wyniku utraty stabilności statycznej w punkcie 1, nastąpi przerzut do jego drugiego punktu stabilnego 3 przy zwiększonym poborze mocy biernej (przypadek charakterystyki a na rys. 7). Może nastąpić lawinowe utykanie pozostałych silników, jeśli charakterystyka sieci zasilającej znajdzie się w obszarze niestabilności silnika sąsiedniego (przypadek charakterystyki b na rys. 7).

Przedstawiona metoda badania stabilności umożliwia dyskusję wpływu pojemności kompensującej odbioru na wartość napięcia krytycznego. W tym celu przyłączamy do odbiornika pojemność kompensującą o znanej zależności

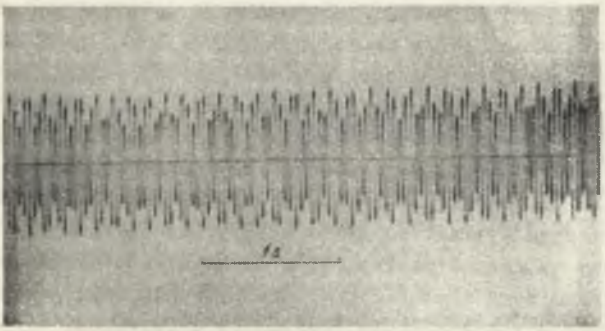


Rys. 8. Charakterystyki mocy biernej silnika indukcyjnego w funkcji napięcia zasilania przed i po częściowej kompensacji mocy biernej za pomocą kondensatorów statycznych



Rys. 9a. Schemat zastępczy sieci zasilającej i jednoklatkowego silnika asynchronicznego w stanach nieustalonych przy stałej prędkości wirowania dwubiegunowego silnika $n_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \text{const.}$

L_s, R_s - szeregowa indukcyjność i rezystancja wewnętrzna sieci, C_k - pojemność kompensująca odbiornik



Rys. 9b. Oscylogram fazowego prądu stojana silnika przy samowzbudzeniu prądów generowanych przez silnik przy dużej pojemności bocznikującej

mocy biernej od napięcia i posługujemy się wypadkową charakterystyką mocy biernej odbiornika skompensowanego, analogicznie jak poprzednio to miało miejsce w odniesieniu do mocy biernej odbiorów silnikowych (rys. 8).

Trzeba jednak mieć na uwadze, że obowiązuje w tym przypadku założenie, że włączenie pojemności kompensującej, która wnosi nowe zjawiska fizyczne do układu i odpowiednio zmienia równania różniczkowe opisujące elektromagnetyczny stan nieustalony, nie komplikuje warunku stabilności.

W przypadku baterii kondensatorów kompensujących tylko częściowo moc bierną odbiorników indukcyjnych, warunek stabilności statycznej pozostaje na ogół niezmieniony. Przy silnym przekompensowaniu odbioru na skutek wyłączania większości odbiorów indukcyjnych może jednak wystąpić w niekorzystnych warunkach zasilania-przy bardzo dużej reaktancji przesyłowej- niestabilność powodująca samowzbudzenie silników przy generowaniu prądów w układzie o częstotliwości różniącej się od częstotliwości zasilania. Niestabilność ta jest wynikiem niestabilności równania (1b) opisującego nieustalony stan elektromagnetyczny.

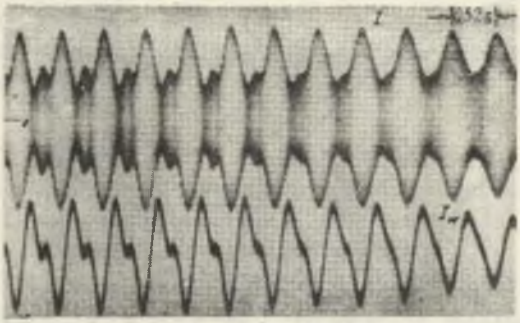
Przy założeniu stałej prędkości wirowania silnika asynchronicznego odpadają równania momentów obrotowych współokreślających stan nieustalony.

Dla symetrycznego jednoklatkowego silnika asynchronicznego o pomijalnie słabym nasyceniu obwodu magnetycznego równania różniczkowo elektromagnetycznego stanu nieustalonego są liniowe. Można je rozwiązać metodą operatorową. Równania wynikają ze schematu zastępczego maszyny asynchronicznej obowiązującego w stanie nieustalonym (rys. 9) dla jednej fazy silnika asynchronicznego zasilanej symetrycznym napięciem sieci poprzez ewentualne symetryczne impedancje szeregowo-równoległe.

Równanie charakterystyczne elektromagnetycznego stanu nieustalonego wynikające ze schematu zastępczego jest równaniem 4 stopnia. Jeśli niektóre pierwiastki równania $p_k + j\omega_k$ nie mieszczą się w prawej półpłaszczyźnie liczb zespolonych (przy $p_k > 0$), układ jest niestabilny. Przy dużej pojemności C_k może wystąpić niestabilność. W silniku występują wtedy dwa pola wirujące o różnej częstotliwości - pole odpowiadające napięciu sieci o częstotliwości kątowej ω_1 i pole o częstotliwości kątowej ω_k generowane przez silnik i pojemność. Nakładające się pola wirujące powodują tętnienie prądu stojana oraz efekty akustyczne wynikające z fali ciągu magnetycznego poruszającej się w szczelinie maszyny po obwodzie wirnika. Rys. 9b przedstawia oscylogram prądu silnika zasilanego poprzez dużą reaktancję przesyłową przy silnym przekompensowaniu odbioru za pomocą baterii kondensatorów i dużej reaktancji szeregowej sieci zasilającej. Wystąpiło samowzbudzenie silnika. Amplituda prądu generowanego przez pojemność i silnik jest ograniczona zjawiskiem zmniejszenia indukcyjności w schemacie zastępczym maszyny na skutek nasycenia. Podobne efekty samowzbudzenia silników indukcyjnych mogą wystąpić przy zastosowaniu szeregowych pojemności w linii, kompensujących szeregową reaktancję przesyłową.

Przy wyzyskiwaniu przewzbudzonych silników synchronicznych do kompensacji mocy biernej silników indukcyjnych może wystąpić w niekorzystnych warunkach zasilania niestabilność układu w wyniku samowzbudzenia się oscylacji kąta mocy, tj. kąta rozchyłu między wektorem napięcia sieci sztywnej a wektorem napięcia magneśnicy silników synchronicznych. Szczególnie skłonne do oscylacji są niedociążone silniki synchroniczne. Na samowzbudzenie oscylacji kąta mocy wywiera duży wpływ rezystancja wewnętrzna sieci zasilającej. Najbardziej niekorzystny stosunek szeregowych rezystancji sieci zasilającej $R = R_1$ do łącznej reaktancji synchronicznej silnika synchronicznego $X_d + X_s$ wynosi $\sqrt{2} - 1 = 0{,}414$ [2].

Można przeciwdziałać warunkom powstawania oscylacji kąta mocy przez wyposażenie silnika synchronicznego w odpowiednio silną "połączoną" klatkę tłumiącą. Rys. 10 przedstawia oscylogram samowzbudnych oscylacji kąta mocy silnika synchronicznego przy dużej rezystancji sieci zasilającej. Kołysaniu maszyn synchronicznych towarzyszy wahanie spadków napięć w sieci za-

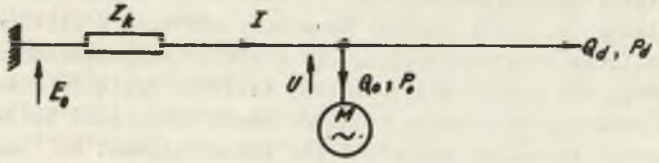


Rys. 10. Oscylogram fazowego prądu twornika I i prądu wzbudzenia I_w silnika synchronicznego o słabej klatce tłumiącej przy samowzbudnych oscylacjach kąta mocy

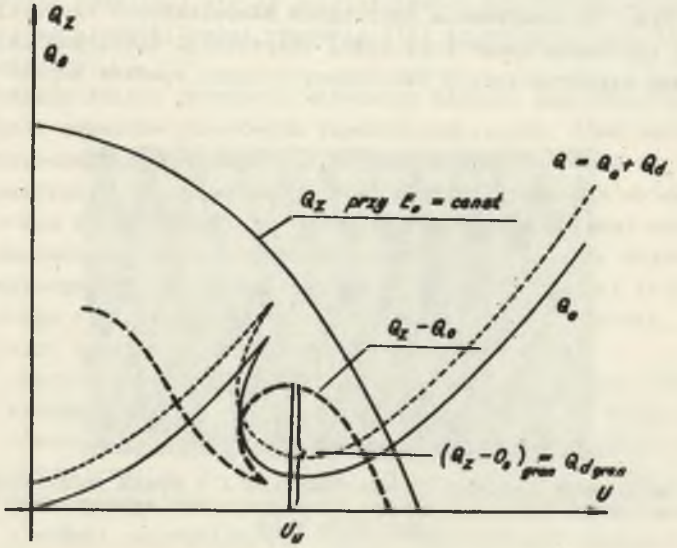
silającej i w konsekwencji kołysanie silników asynchronicznych zasilanych i tej samej sieci.

Istnieje również zagrożenie samowzbudzenia kołysań nieobciążonych silników asynchronicznych, na które nie wpływa kompensacja mocy biernej przy dużym stosunku rezystancji szeregowej linii przesyłowej $R_s + R_1$ do łącznej reaktancji stojana silnika $X_s = X_{s1} + X_\mu$. Zagrożenie takie nie występuje w sieciach energetycznych o częstotliwości przemysłowej, natomiast może mieć miejsce przy silnie zmniejszonej częstotliwości (np. przy zasilaniu silnika z przemienników częstotliwości).

W wyżej przytoczonych przypadkach kryterium stabilności otrzymane z przebiegu napięciowych charakterystyk mocy biernej odbioru i sieci zasilającej nie stanowi warunków dostatecznych. Analizę stabilności trzeba w tych przypadkach przeprowadzić szczegółowo na podstawie równań różniczkowych opisujących układ przesyłowy.



Rys. 11a. Układ zasilania silnika asynchronicznego i odbioru o fluktuacji pobieranej mocy biernej



Rys. 11b. Charakterystyki mocy biernej w funkcji napięcia dla układu przedstawionego na rys. 9a

4. Analiza stabilności statycznej przy zmianach poboru mocy w węźle odbiorczym układu przesyłowego

Jeśli do węzła odbiorczego przyłączono prócz silników indukcyjnych jeszcze inny odbiór dodatkowy, o możliwej zmienności obciążenia, powstaje zagadnienie określenia granicznego obciążenia, przy którym następuje utrata stabilność statycznej układu. Przypadek ten ilustruje rys. 11a, na którym przez P_d, Q_d oznaczono odbiór dodatkowy. Zakładając sztywne napięcie zasilania sieci elastycznej oraz stałą czynną moc odbieraną P_d, charakterystyka $Q_z(U)$ sieci zasilającej nie zmienia się, a wypadkowa charakterystyka odbioru $Q = Q_o + Q_d$ ulega przesunięciu wzdłuż osi rzędnych. Ponieważ granica stabilności występuje przy styczności charakterystyki sieci zasilającej i odbioru, można posłużyć się pojęciem zapasu mocy biernej $Q_z - Q$ w sieci zasilającej przy określaniu warunków stabilności statycznej. Na granicy stabilności zapas ten jest równy zeru. Wynika stąd konieczny warunek stabilności $\frac{d(Q_z-Q)}{dU} \geqslant 0$, oraz graniczna wartość dodatkowej mocy odbieranej Q_{gran} (rys. 11) Zapas mocy biernej oraz nachylenie charakterystyki mocy biernej $\frac{d(Q_z-Q)}{dU}$ w punkcie pracy określają zapas stabilności statycznej układu. Na granicy stabilności, przy utyku silników, napięcie na krańcu odbiorczym wynosi U_u.

5. Wnioski

Utrata stabilności statycznej silników indukcyjnych zasilanych z sieci o dużej impedancji wewnętrznej występuje przy innym poślizgu i przy innym napięciu obniżonym, aniżeli w warunkach zasilania z sieci sztywnej.

Przy zasilaniu wielu silników indukcyjnych utrata stabilności jednego silnika może powodować lawinowe utraty stabilności silników pozostałych.

Duży wpływ na stabilność statyczną silników indukcyjnych, zasilanych z sieci elastycznej, może wywierać kompensacja mocy biernej za pomocą kondensatorów statycznych bądź kompensatorów synchronicznych. Stabilność statyczna, która wynika ściśle z równań różniczkowych układu, może być w większości przypadków praktycznych oceniona na podstawie charakterystyk statycznych silników i sieci zasilającej. Podstawą do oceny stabilności są naturalne charakterystyki silnika zdjęte przy zasilaniu napięciem sztywnym i charakterystyka zewnętrzna linii zasilającej.

Duża rozbieżność granicy stabilności statycznej silników indukcyjnych od warunków przy zasilaniu z sieci sztywnej występuje w praktyce w przypadku zasilania silników indukcyjnych z generatora synchronicznego bez regulatora napięcia bądź w przypadku zasilania grupy silników indukcyjnych na krańcu odbiorczym linii przesyłowej, której impedancja zewnętrzna jest porównywalna z impedancją zwarcia silników. Ten ostatni przypadek odnosi się nie tylko do linii przesyłowych słabo powiązanych z systemem elektroenergetycznym, lecz również do coraz częstszych w praktyce układów auto-

nomicznych zasilania odbiorników z elektrowni na statkach morskich lub na poligonach wojskowych.

- W szczególnych przypadkach ocena stabilności na podstawie charakterystyk statycznych może być niewystarczająca. W tych przypadkach do oceny stabilności statycznej jest konieczna znajomość równań różniczkowych układu linia-silnik.

LITERATURA

[1] Markowicz I.M. - Reżimy energeticzeskich sistem Gosenergoizdat 1963

[2] Gogolewski Z., Paszek W., Gabryś W., Kubek J., - Uszkodzenia maszyn elekrycznych W.N.T. Warszawa 1968

[3] Beckenbach E.F. - Nowoczesna matematyka dla inżynierów PWN Warszawa 1962.

[4] Paszek W. - Zastosowanie wzmacniaczy magnetycznych do układów regulacji napięcia. Komitet Elektrotechniki PAN PWN Warszawa 1967.

[5] Bogucki A.,Lawera E., - Wstępna analiza kompensacji równoległej mocy biernej na stabilność pracy odbiorów energetycznych. Biuletyn Sympozium Komitetu Elektryfikacji PAN, Jabłonna 1967.

Wpłynęło do readkcji w maju 1971 r.

СТАТИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ИНДУКЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПИТАЕМЫХ ИЗ СЕТИ КОНЕЧНОЙ МОЩНОСТИ

Р е з ю м е

Представлено необходимые условия статической устойчивости индукционных двигател питаемых из сети, которой внутренный импеданс влияет на работу энергетических приёмов.

Учитывано влияние компесирующей ёмкости на предел устойчивости Обсуждено случаие неустойчивости вызывающей ёмкостное самовозбуждение индукционных двигателей или колебания угла векторов внутренного напряжения компесирующих сынхронных двигателей.

STEADY STATE STABILITY OF INDUCTION MOTORS
SUPLIED FROM LIMITED POWER NETWORK

S u m m a r y

The necessary conditions of steady state stability of induction motors suplied from limited power network are presented. The influence of compensating static or rotating parallel capacitance on stability is taken into account. Cases of instability caused by capacitive selfexcitation of induction motors as well as by hunting of overexcited synchronous motors were discussed.