ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1971
Seria: ELEKTRYKA z. 30 Nr kol. 298

KAZIMIERZ GIERLOTKA
Katedra Elektrotechniki Przemysłowej

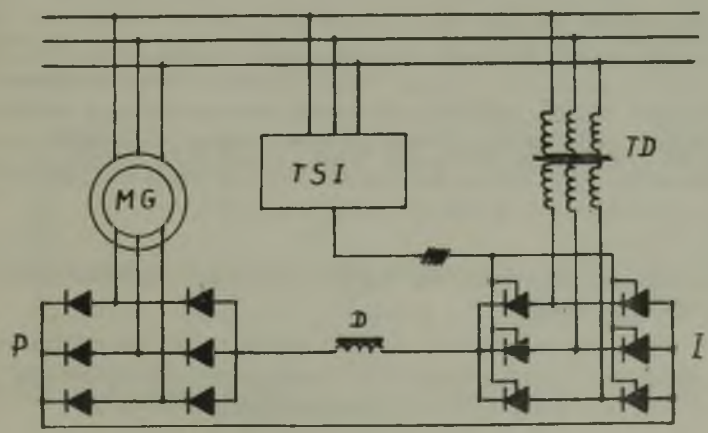
PRZYBLIŻONA ANALIZA STANÓW PRZEJŚCIOWYCH OTWARTEGO UKŁADU ASYNCHRONICZNEJ KASKADY PROSTOWNIKOWEJ

Streszczenie. W pracy przeprowadzono uproszczoną analizę teoretyczną stanów przejściowych otwartego układu asynchronicznej kaskady prostownikowej "na stały moment". Przedstawiono przebiegi wyprostowanego prądu wirnika i poślizgu układu dla skokowej zmiany kąta sterowania i dla skokowej zmiany momentu obciążenia kaskady.

1. Wstęp

Zastąpienie drogich i nietypowych maszyn pomocniczych w tradycyjnym układzie kaskady Kraemera "na stały moment" urządzeniami półprzewodnikowymi pozwoliło na uzyskanie wygodnego układu regulacji prędkości obrotowej silnika asynchronicznego pierścieniowego, tzw. asynchronicznej kaskady prostownikowej (rys. 1), która składa się z:

1) silnika asynchronicznego pierścieniowego MG,
2) prostownika trójfazowego w układzie mostkowym P,
3) inwertora tyrystorowego I,
4) transformatora dopasowującego TD,
5) tranzystorowego sterownika impulsowego TSI,
6) dławika D.



Rys. 1. Schemat asynchronicznej kaskady prostownikowej z inwertorem mostkowym

Efekt sterowania prędkości obrotowej układu otrzymujemy poprzez wprowadzenie dodatkowego napięcia do obwodu wirnika silnika asynchronicznego. Ze zmianą kąta sterowania tyrystorów inwertora zmienia się poślizg biegu jałowego układu

$$s_o = \frac{E_i}{E_p} \cos \beta + \frac{\Delta U}{E_p} = \varepsilon_p \cos \beta + \lambda \tag{1}$$

gdzie

$$\varepsilon_p = \frac{E_i}{E_p} \qquad \lambda = \frac{\Delta U}{E_p} \tag{2}$$

$$E_i = \frac{U_{TD}}{k_i} \qquad E_p = \frac{U_2}{k_i} \tag{3}$$

E_i - napięcie idealnego biegu jałowego inwertora dla $\cos \beta = 1$,

E_p - napięcie idealnego biegu jałowego prostownika dla poślizgu $s = 1$,

U_{TD} - skuteczna wartość SEM fazowej strony wtórnej transformatora dopasowującego,

U_2 - międzyprzewodowa skuteczna wartość SEM wirnika dla $s = 1$,

k_i - współczynnik układu inwertora,

k_p - współczynnik układu prostownika,

ΔU - sumaryczny spadek napięcia na połączonych szeregowo elementach półprzewodnikowych inwertora i prostownika,

β - kąt wyprzedzenia zapłonu inwertora.

Charakterystyki mechaniczne silnika pracującego w układzie asynchronicznej kaskady prostownikowej cechują się znaczną ustępliwością zwiększającą się ze wzrostem poślizgu biegu jałowego. Wadę tą można łatwo zlikwidować przez objęcie układu pętlą sprzężenia zwrotnego w celu stabilizacji jego prędkości obrotowej. Aby synteza układu automatycznej regulacji była prawidłowa, niezbędna jest znajomość zachowania się asynchronicznej kaskady prostownikowej w stanach przejściowych.

2. Właściwosci przebiegu procesów przejściowych w asynchronicznej kaskadzie prostownikowej

Przy rozpatrywaniu procesów przejściowych układu asynchronicznej kaskady prostownikowej należy uwzględnić szereg warunków związanych z obecnością w układzie sterowanych i niesterowanych prostowników.

Prąd I_d w obwodzie stałoprądowym kaskady może płynąć tylko w jednym kierunku, co uwarunkowane jest jednostronną przewodnością prostowników. Prąd w obwodzie wirnika płynie jeżeli

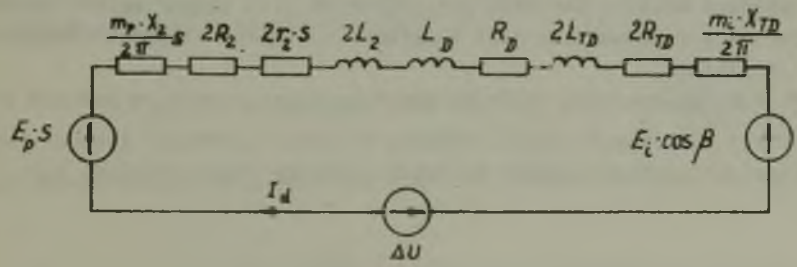
$$E_p s > E_i \cos\beta + \Delta U$$

Należy również zauważyć, że sterowane przetworniki tyrystorowe są wzmacniaczami średnich wartości. Dlatego przy rozpatrywaniu właściwości statycznych układu wykorzystuje się średnie wartości prądu i napięcia. W niektórych jednak przypadkach posługiwanie się średnimi wartościami wielkości prowadzi do nieprawidłowych rezultatów. Inwertor tyrystorowy charakteryzuje się dyskretnym charakterem pracy wyrażającym się w tym, że po otwarciu kolejnego tyrystora do otwarcia następnego oddziaływania na układ sterowania nie doprowadza do zmiany przebiegu procesu. Opóźnienie to zależy od momentu przyłożenia sygnału sterującego i zmienia swą wartość od 0 do $\frac{\pi}{m_i}$

m_i - liczba faz inwertora.

W układzie asynchronicznej kaskady prostownikowej szybkość przegiegu procesów przejściowych jest określona stałą czasową elektromagnetyczną obwodu prądu wyprostowanego i stałą czasową elektromechaniczną układu, których wartości w porównaniu z okresem napięcia sieci są dość znaczne, dlatego w analizie stanów przejściowych inwertor można przedstawić jako wzmacniacz bezinercyjny, bez opóźnienia i posługiwać się wartościami średnimi wielkości.

Analizę elektromechanicznych procesów przejściowych przeprowadzono w oparciu o schemat zastępczy dla obwodu prądu wyprostowanego asynchronicznej kaskady prostownikowej, z inwertorem w układzie mostka trójfazowego (rys. 2).



Rys. 2. Schemat zastępczy asynchronicznej kaskady prostownikowej z inwertorem w układzie mostkowym

Na schemacie oznaczono:

I_d - wartość składowej stałej prądu wyprostowanego,

R_2 - rezystancja fazy wirnika,

r_2 - rezystancja w schemacie zastępczym silnika asynchronicznego dla rzeczywistego prądu wirnika,

R_{TD} - rezystancja fazy transformatora dopasowującego sprowadzona na stronę wtórną,

R_D - rezystancja dławika,

X_2 - reaktancja fazy silnika sprowadzona na stronę wirnika,

X_{TD} - reaktancja fazy transformatora sprowadzona na stronę wtórną,

m_p - liczba faz prostownika,

L_D - indukcyjność dławika,

$L_2 = \frac{X_2}{2\pi f_1}$ - indukcyjność fazy silnika sprowadzona na stronę wirnika,

$L_{TD} = \frac{X_{TD}}{2\pi f_1}$ - indukcyjność fazy transformatora sprowadzona na stronę wtórną,

f_1 - częstotliwość napięcia sieci zasilającej.

Oznaczmy

$$R_z(s) = 2\,R_2 + 2\,r_2\,s + 2\,R_{TD} + R_d + \frac{m_p}{2\pi}\,X_2\,s + \frac{m_i}{2\pi}\,X_{TD} \qquad (4)$$

$$L_z = L_D + 2\,L_2 + 2\,L_{TD}$$

$R_z(s)$ - rezystancja całkowita schematu zastępczego kaskady dla prądu wyprostowanego,

L_z - indukcyjność całkowita schematu zastępczego.

Dokładna analiza procesów przejściowych jest zagadnieniem bardzo złożonym i wręcz niemożliwe jest uwzględnienie wielu czynników wpływających na ich przebieg.

W celu uproszczenia obliczeń konieczne jest przyjęcie pewnych założeń:

1. Moment elektromagnetyczny silnika w czasie przebiegu procesu przejściowego jest proporcjonalny do wyprostowanego prądu wirnika I_d:

$$M = k_M I_d$$

gdzie:

$k_M = \frac{E_p}{\omega_o}$ - stała określona na podstawie stanu ustalonego,

ω_o - prędkość kątowa mechaniczna pola wirującego.

2. Układ cechuje duża bezwładność mechaniczna i elektryczna, tzn. zmiany przebiegów są wolne w porównaniu z okresem napięcia zasilającego.
3. W rozpatrywanym przedziale zmian poślizgu rezystancja schematu zastępczego R_z jest wielkością stałą i równa jest rezystancji na początku rozpatrywanego przedziału.

$$R_z(s) = R_z(s_1) = R_{z1}$$

gdzie:

s_1 - poślizg układu na początku rozpatrywanego 1-tego przedziału,

R_{z1} - rezystancja obwodu zastępczego dla poślizgu $s = s_1$.

Analizę elektromechanicznych procesów przejściowych przeprowadzono dla skokowej zmiany kąta sterowania tyrystorów inwertora i dla skokowej zmiany momentu obciążenia układu M_m.

3. Przebiegi dynamiczne przy skokowej zmianie kąta sterowania

a) Dla wzrostu prędkości obrotowej układu

Wzrost prędkości obrotowej układu następuje przy zwiększeniu wartości kąta β. W czasie tego procesu w każdej chwili zachodzi

$$E_p s > E_i \cos\beta + \Delta U$$

Niesterowane diody w obwodzie wirnika są więc przez cały czas trwania stanu nieustalonego spolaryzowane w kierunku przewodzenia. Na podstawie schematu zastępczego asynchronicznej kaskady prostownikowej, uwzględniając dokonane założenia napisać można równanie napięć

$$E_p s(t) - E_i \cos\beta(t) - \Delta U = R_{z1} I_d(t) + L_z \frac{dI_d(t)}{dt} \qquad (6)$$

Równanie momentów przy uwzględnieniu stałości momentu obciążenia przyjmie postać

$$M(t) - M_m = J \frac{d\omega(t)}{dt} = - J\omega_o \frac{ds(t)}{dt} \qquad (7)$$

Dokonując transformacji Laplace'a-Carsona równań (6) i (7) z uwzględnieniem warunków początkowych

$$I_d(t=0) = \frac{M_m}{k_M} = I_m \qquad s(t=0) = s_1$$

otrzymamy wyrażenia operatorowe

$$E_p\, s(p) - E_i \cos\beta(p) - \Delta U = R_{z1} I_d(p) + pL_z\left[I_d(p) - I_m\right] \tag{8}$$

$$M(p) - M_m = -J\omega_o p\left[s(p) - s_1\right] \tag{9}$$

Po uwzględnieniu założenia (1) powyższe równanie przyjmie postać

$$I_d(p) - I_m = -\frac{J\omega_o}{k_M}\, p\left[s(p) - s_1\right] \tag{9a}$$

W układzie asynchronicznej kaskady prostownikowej występuje człon nieliniowy - inwertor. Analizę układu wygodnie jest prowadzić linearyzując kosinusoidę w rozważanym przedziale zmian kąta.
Załóżmy zmianę kąta β o $\Delta\beta$ od wartości początkowej

$$\cos\beta(p) = \cos\left[\beta_1 + \Delta\beta(p)\right] = \cos\beta_1 \cos\Delta\beta(p) - \sin\beta_1 \sin\Delta\beta(p)$$

Dla dostatecznie małej wartości kąta $\Delta\beta$ można przyjąć

$$\cos\Delta\beta = 1 \qquad \sin\Delta\beta = \Delta\beta$$

stąd

$$\cos\beta(p) = \cos\beta_1 - \sin\beta_1\, \Delta\beta(p) \tag{10}$$

Z równań (2), (8), (9a), (10) po prostych przekształceniach otrzymamy wyrażenia operatorowe na przebieg prądu wyprostowanego $I_d(p)$ i poślizgu $s(p)$

$$I_d(p) = \frac{pT_{m1}\, \varepsilon_p \sin\beta_1 \cdot \Delta\beta(p)}{p^2\, T_{m1}\, T_{z1} + pT_{m1} + 1} + I_m \tag{11}$$

$$s(p) = s_1 - \frac{\varepsilon_p \sin\beta_1\, \Delta\beta(p)}{p^2\, T_{z1}\, T_{m1} + p\, T_{m1} + 1} \tag{12}$$

w których oznaczono

$T_{z1} = \frac{L_z}{R_{z1}}$ - elektromagnetyczna stała czasowa schematu zastępczego asynchronicznej kaskady prostownikowej dla poślizgu $s = s_1$

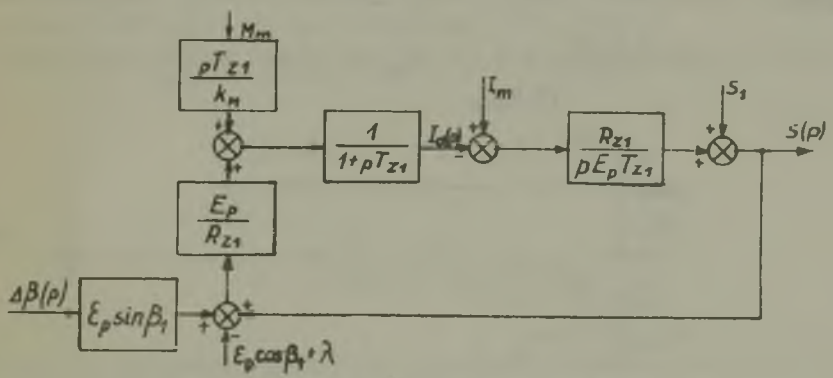
$$T_{m1} = \frac{J\omega_o}{k_M} \frac{R_{z1}}{E_{po}} = \frac{J\omega_o}{k_M} \frac{1}{I_{z1}}$$

$$I_{z1} = \frac{E_{po}}{R_{z1}}$$

T_{m1} - elektromechaniczna stała czasowa układu dla poślizgu $s = s_1$.

Zarówno elektromagnetyczna jak i elektromechaniczne stałe czasowe układu nie są wielkościami stałymi, lecz zależą od poślizgu układu. Zgodnie z założeniem (3) obydwie stałe czasowe przyjęto jako niezmienne w rozważanym przedziale zmian poślizgu.

Schemat blokowy kaskady uwzględniający dokonane założenia dla zmiany wartości kąta $\beta_o + \Delta\beta$ przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Schemat blokowy asynchronicznej kaskady prostownikowej dla zmiany kąta sterowania $\beta_o + \Delta\beta$

Dokonując odwrotnej transformacji Laplace'a-Carsona równań (11) i (12) można obliczyć przebiegi czasowe prądu i poślizgu dla skokowej zmiany kąta β

$$\Delta\beta(t) = \Delta\beta \cdot 1(t) \text{ czyli } \Delta\beta(p) = \Delta\beta$$

Obliczmy pierwiastki równania charakterystycznego wyrażeń (11) i (12)

$$p_1, p_2 = \frac{-T_{m1} \pm \sqrt{T_{m1}^2 - 4\, T_{m1}\, T_{z1}}}{2\, T_{m1}\, T_{z1}}$$

Zakładamy, że pierwiastki te są rzeczywiste, czyli $T_{m1} \geqslant 4\,T_{z1}$, co w prawidłowo zbudowanym układzie zachodzi. Zauważmy, że $p_1, p_2 < 0$. Wtedy

$$I_d(t) = I_m + \frac{\varepsilon_p\, I_{z1}\, \sin\beta_1 \Delta\beta}{T_{z1}(p_1-p_2)} \left[e^{p_1 t} - e^{p_2 t} \right] \tag{13}$$

$$s(t) = s_1 - \varepsilon_p \sin\beta_1 \Delta\beta \left[1 + \frac{p_2}{p_1-p_2}\, e^{p_1 t} - \frac{p_1}{p_1-p_2}\, e^{p_2 t} \right] \tag{14}$$

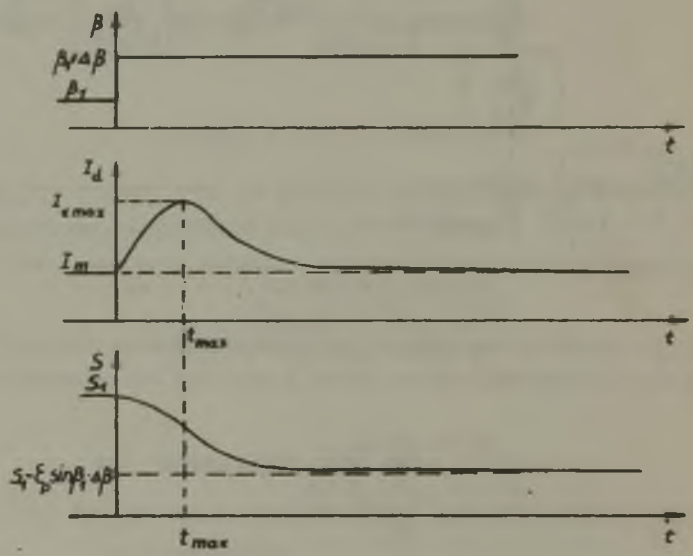
Wartości ustalone przebiegów

$$I_d(t=\infty) = I_m \qquad s(t=\infty) = s_1 - \varepsilon_p \sin\beta_1 \cdot \Delta\beta$$

Z przeprowadzonej analizy wynika, że dla skokowej zmiany kąta sterowania β przebiegi prądu $I_d(t)$ i poślizgu $s(t)$ są przebiegami aperiodycznymi z inercją drugiego rzędu (rys. 4).

Maksymalne przeregulowanie prądu $I_{d\,max}$ i czas t_{max} można obliczyć z warunku

$$\left.\frac{d\,I_d(t)}{dt}\right|_{t=t_{max}} = 0 \qquad t_{max} = \frac{1}{p_2-p_1} \cdot \ln\frac{p_1}{p_2}$$



Rys. 4. Przebiegi dynamiczne w układzie dla skokowej zmiany kąta sterowania inwertora β o $+\Delta\beta$

i stąd

$$I_{d\ max} = I_m + \frac{\varepsilon_p\ I_{z1}\ \sin\beta_1\Delta\beta}{T_{z1}\ (-p_1)} \left[\frac{p_1}{p_2}\right]^{\frac{p_2}{p_2-p_1}}$$

b) Przebiegi dynamiczne dla zmniejszania prędkości obrotowej układu

Zmniejszanie prędkości obrotowej układu następuje przy zmniejszaniu wartości kąta β, czyli przy wzroście napięcia inwertora. W asynchronicznej kaskadzie prostownikowej z niesterowaną grupą wirnikową prostowników przy zmniejszeniu kąta sterowania β, tak że $\Delta U + E_i \cos\beta > E_p\ s$, po obniżeniu prądu wyprostowanego I_d do zera napęd staje się niesterowny. Przebiegi dynamiczne przy zmniejszaniu prędkości obrotowej kaskady rozważać należy w trzech przedziałach:

1) $\Delta U + E_i \cos\beta > E_p\ s \qquad I_d > 0$

2) $\Delta U + E_i \cos\beta > E_p\ s \qquad I_d = 0$

3) $\Delta U + E_i \cos\beta < E_p\ s \qquad I_d > 0$

Charakter przebiegów w pierwszym przedziale jest taki sam jak dla zwiększania prędkości obrotowej układu i dla skokowej zmiany kąta sterowania β o wartość $-\Delta\beta$ jest określony równaniami (13) i (14).

Czas trwania pierwszego przedziału t_2 (rys. 5) obliczamy z warunku

$$I_d(t=t_2) = 0 \longrightarrow t_2 = \frac{-1 + \sqrt{\Delta}}{p_2 + p_1}$$

gdzie

$$\Delta = 1 + 2(p_1+p_2)\ \frac{I_m}{I_{z1}\ \varepsilon_p\ \sin\beta_1\Delta\beta}$$

Poślizg s_2 na granicy przedziału pierwszego i drugiego otrzymamy po wstawieniu czasu t_2 do równania (14).

Drugi przedział rozpoczyna się w chwili t_2 w której prąd wyprostowany osiąga wartość zero i trwa do chwili zrównania się napięć inwertora i prostownika.

W przedziale tym $I_d = 0$ czyli $M = 0$

Stąd $\quad 0 = M_m - J\omega_o\ \frac{ds(t)}{dt}$

Po rozwiązaniu otrzymamy wyrażenie na przebieg poślizgu

$$s(t) = s_2 + \frac{I_m}{I_{z2}} \frac{t}{T_{m2}}$$

Czas liczony jest od chwili $t = t_2$

Czas trwania przebiegów w przedziale drugim określa zależność

$$\Delta t_2 = t_3 - t_2 = T_{m2} \frac{I_{z2}}{I_m} \left[\varepsilon_p (\cos\beta_2 - \cos\beta_1) - \frac{I_m}{I_{z1}} - (s_2 - s_1) \right]$$

$$\beta_2 = \beta_1 - \Delta\beta$$

Prąd wirnikowy nie zanika, czyli przedział drugi nie występuje jeżeli

$$\Delta\beta \leqslant - \frac{2(p_1+p_2)\ I_m}{I_{z1}\ \varepsilon_p\ \sin\beta_1}$$

Trzeci przedział rozpoczyna się w chwili, gdy

$$E_p\ s_3 = E_1 \cos(\beta_1 - \Delta\beta) + \Delta U$$

Od tego momentu powstają w układzie znowu warunki dla przepływu prądu I_d.

Charakter przebiegów w trzecim przedziale, dla początku liczenia czasu w chwili t_3 jest określony równaniami operatorowymi

$$I_d(p) = I_m \left[1 - \frac{(1 + p\ T_{z3})\ T_{m3}}{p^2\ T_{z3} T_{m3} + pT_{m3} + 1} \right] \tag{15}$$

$$s(p) = s_3 + \frac{I_m}{I_{z3}} \cdot \frac{1 + pT_{z3}}{p^2\ T_{z3}\ T_{m3} + pT_{m3} + 1} \tag{16}$$

i czasowymi

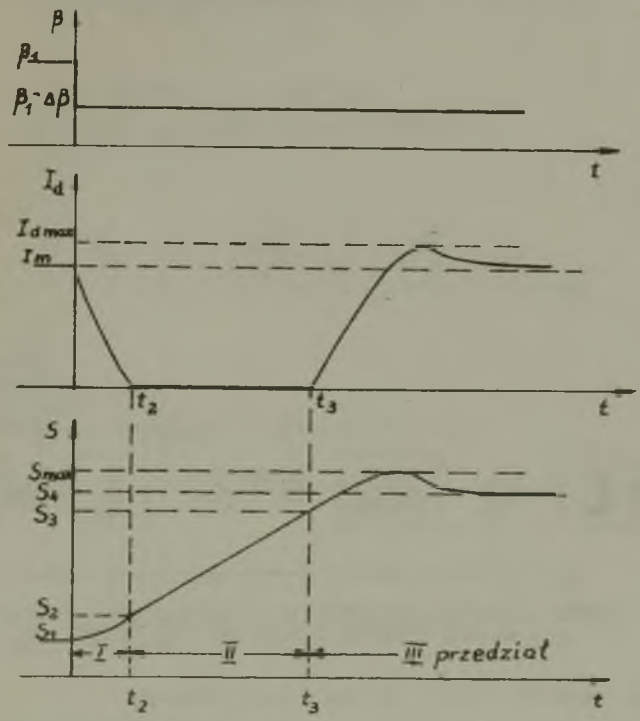
$$I_d(t) = I_m \left\{ 1 - \frac{1}{T_{z3}(p_1 - p_2)} \left[(1 + p_1 T_{z3}) e^{p_1 t} - (1 + p_2 T_{z3}) e^{p_2 t} \right] \right\} \tag{17}$$

$$s(t) = s_3 + \frac{I_m}{I_{z3}} \left[1 + \frac{p_2}{p_1 - p_2} (1 + p_1 T_{z3}) e^{p_1 t} - \frac{p_1}{p_1 - p_2} (1 + p_2 T_{z3}) e^{p_2 t} \right] \tag{18}$$

Wartości ustalone prądu I_d i poślizgu s

$$I_d(t=\infty) = I_m \qquad s(t=\infty) = s_3 + \frac{I_m}{I_{z3}} = s_4$$

Przebiegi czasowe prądu i poślizgu w trzech przedziałach dla zmniejszania prędkości obrotowej układu przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Przebiegi dynamiczne dla skokowej zmiany kąta sterowania β o $-\Delta\beta$

Z równań (17) i (18) obliczyć można maksymalne przeregulowania prądu i poślizgu

$$I_{d\,max} = I_m \cdot \frac{1+p\,T_{z3}}{p_1 T_{z3}} \left[\frac{p_1(1+p_1T_{z3})}{p_2(1+p_2T_{z3})}\right]^{\frac{p_2}{p_2-p_1}}$$

$$s_{max} = s_3 + \frac{I_m}{I_{z3}} \left[1 - (1+p_2T_{z3})\left(\frac{1+p_1T_{z3}}{1+p_2T_{z3}}\right)^{\frac{p_2}{p_1-p_2}}\right]$$

4. Przebiegi dynamiczne przy skokowej zmianie momentu obciążenia układu

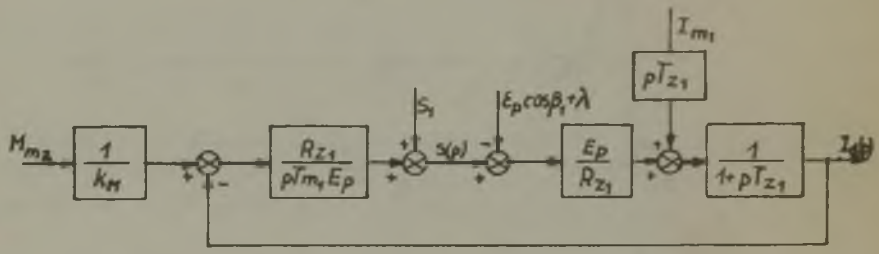
Dla skokowej zmiany momentu obciążenia układu od wartości M_{m1} do M_{m2} przy stałej wartości kąta sterowania β otrzymamy wyrażenia operatorowe na przebieg prądu wyprostowanego i poślizgu układu

$$I_d(p) = I_{m2} - (I_{m2}-I_{m1}) \frac{pT_{m1}(1+pT_{z1})}{p^2T_{m1}T_{z1}+pT_{m1}+1} \tag{19}$$

$$s(p) = s_2 + \frac{I_{m2}-I_{m1}}{I_{z1}} \frac{1 + p\,T_{z1}}{p^2T_{m1}T_{z1} + pT_{m1}+1} \tag{20}$$

w których

$$I_{m1} = \frac{M_{m1}}{k_M}; \quad I_{m2} = \frac{M_{m2}}{k_M}; \quad I_{z1} = \frac{E_{p0}}{R_{z1}}$$



Rys. 6. Schemat blokowy asynchronicznej kaskady prostownikowej dla skokowej zmiany momentu obciążenia M_m układu $M_{m2} > 0$

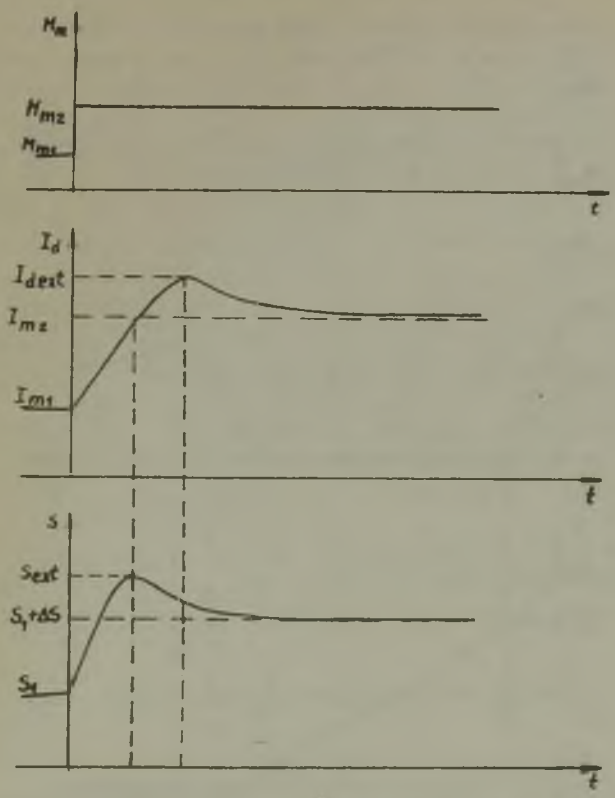
Przebiegi czasowe (rys. 7) opisane są równaniami

$$I_d(t) = I_{m2} - \frac{I_{m2} - I_{m1}}{T_{z1}(p_1 - p_2)}\left[(1 + p_1T_{z2})e^{p_1t} - (1 + p_2T_{z1})e^{p_2t}\right]$$

$$s(t) = s_1 + \frac{I_{m2} - I_{m1}}{I_{z1}}\left[1 + \frac{p_2}{p_1 - p_2}(1 + p_1T_{z1})e^{p_1t} - \frac{p_1}{p_1 - p_2}(1 + p_2T_{z1})e^{p_2t}\right]$$

w których

p_1, p_2 - pierwiastki równania charakterystycznego wyrażeń (19) i (20).



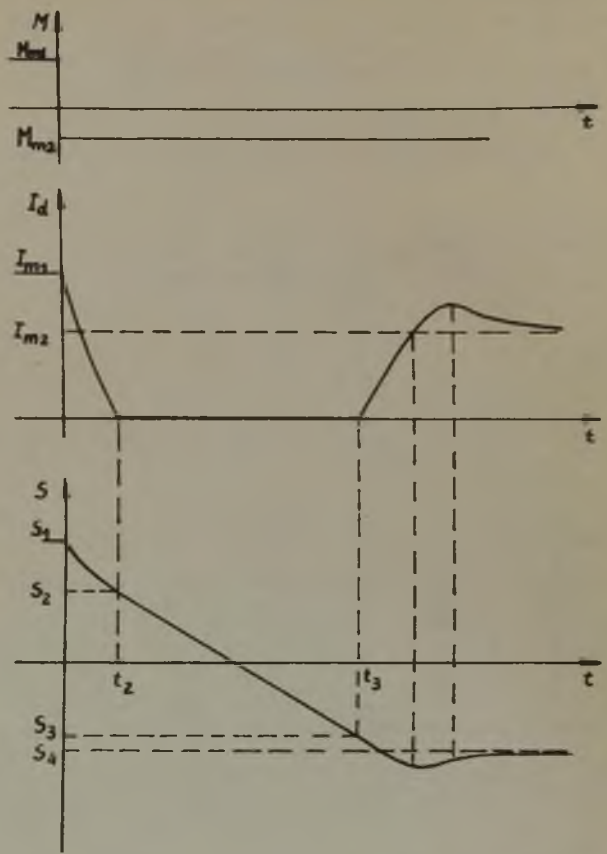
Rys. 7. Przebiegi dynamiczne dla skokowej zmiany momentu obciążenia układu asynchronicznej kaskady prostownikowej $M_{m2} > 0$

Wartości ustalone przebiegów

$$I_d(t=\infty) = I_{m2} \qquad s(t=\infty) = s_1 + \frac{I_{m2} - I_{m1}}{I_{z1}}$$

Analiza powyższa dla asynchronicznej kaskady prostownikowej z niesterowaną grupą wirnikową prostowników jest słuszna tylko dla $M_{m2} \geqslant 0$. Jeżeli $M_{m2} < 0$ prąd I_d po dojściu do zera zanika. Poślizg układu maleje - jego prędkość obrotowa rośnie do nadsynchronicznej.

Warunki dla przepływu prądu I_d powstaną dopiero wtedy, gdy napięcie wyprostowane wirnika zrówna się z napięciem inwertora. Układ będzie pracował wtedy w stanie hamowania generatorowego przy prędkości wyższej od synchronicznej.



Rys. 8. Przebiegi dynamiczne w układzie asynchronicznej kaskady prostownikowej dla skokowej zmiany momentu obciążenia układu, dla $M_{m2} < 0$

Przebiegi czasowe prądu wyprostowanego I_d i poślizgu s dla skokowej zmiany momentu obciążenia przy $M_{m2} < 0$ przedstawiono na rys. 8, na którym oznaczono

$$s_4 = s_3 - \frac{I_{m2}}{I_{z3}}; \qquad I_{m2} = -\frac{M_{m2}}{k_M}$$

$$s_3 = -\varepsilon_p \cos\beta_1 - \lambda$$

5. Wnioski

Obecność w układzie asynchronicznej kaskady prostownikowej sterowanych i niesterowanych zaworów powoduje, że przebiegi dynamiczne przy zwiększaniu i zmniejszaniu prędkości obrotowej układu jak równie przy zmianie jego momentu obciążenia dla $M_{m2} > 0$ i $M_{m2} < 0$, są różne. Przy zwiększaniu prędkości obrotowej przebiegi dynamiczne zależą od elektromagnetycznej i elektromechanicznej stałej czasowej układu. W drugim przypadku,przy zmniejszaniu prędkości, prąd w obwodzie wirnika po dojściu do zera zanika,układ staje się niesterowany i przebieg prędkości obrotowej zależy tylko od mechanicznej stałej czasowej układu i jego momentu obciążenia.

Wadę tą można zlikwidować przez zastosowanie w miejsce diod w prostowniku wirnikowym tyrystorów. Wtedy możliwy jest stan pracy generatorowej układu przy prędkości niższej od synchronicznej jak również stan pracy silnikowej przy prędkości nadsynchronicznej, przez co zwiększa się zakres regulacji prędkości obrotowej kaskady. Zastąpienie diod tyrystorami jest również korzystne z uwagi na wyeliminowanie zwierania inwertora przez prostownik wirnikowy dla chwilowych wartości dodatnich napięcia inwestora przy prędkości bliskiej synchronicznej.

Trudności w zastosowaniu tyrystorów w prostowniku wirnikowym wynikają z konieczności sterowania ich ze zmienną częstotliwością napięcia wirnika, co jest szczególnie trudne przy małych poślizgach układu.

LITERATURA

[1] Bisztyga K. - Kaskadowe układy asynchroniczne z tyrystorami Przegląd elektrotechniczny 1968 z. 5.

[2] Koczara W., Żochowski K. - Regulacja prędkości obrotowej silnika asynchronicznego pierścieniowego w układzie ze statyczną przetwornicą częstotliwości w obwodzie wirnika (kaskada zaworowa "na stały moment"). Przegląd elektrotechniczny 1969, z. 7.

[3] Oriszczenko G. - Asinchonnyj wientilnyj kaskad, Eniergia,Moskwa 1967.

[4] Lavi A., Polge R. - Induction motor speed control with static inverter in the rotor. IEEE trans. Power Appar and Syst. 1966, 88 nr 1.

ПРИБЛИЖЕННЫЙ АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В АСИНХРОННОМ ВЕНТИЛЬНОМ КАСКАДЕ БЕЗ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

Р е з ю м е

В статье приведен теоретический анализ электромеханических переходных процессов в асинхронном вентильном каскаде. Приведено кривые изменения выпрямленного тока ротора и скольжения двигателя при скачкообразном изменений угла управления инвертора и скачкообразном изменений момента нагрузки двигателя.

APPROXIMATIVE ANALYSIS OF THE TRANSIENTS OF ASYNCHRONOUS RECTIFIER CASCADE WITHOUT FEED- BACK COUPLING

S u m m a r y'

The eleboration introduces the theoretical analysis of electromechanical transients of asynchronous rectifier cascade on "constant torque" without feed-back coupling. It gives the curves of direct current and slip of the motor with jump change of control angle of inverter and with jump change of the load moment of the motor.

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

KT 15