

KRYSTIAN JANCZAK

Katedra Napędu Elektrycznego

**ANALIZA I WYNIKI POMIARÓW LABORATORYJNYCH
ASYNCHRONICZNEJ KASKADY PROSTOWNIKOWEJ
"NA STAŁY MOMENT"**

Streszczenie. Praca zawiera analizę asynchronicznej kaskady prostownikowej na "stały moment" oraz omówienie podstawowych własności tego układu. Podano zarys uproszczonej analizy procesu przejściowego. Przedstawiono charakterystyki statyczne kaskady oparte o wyniki pomiarów wykonane na modelu z silnikiem o mocy $P = 6,5$ kW.

1. Wstęp

Zbudowanie elementów półprzewodnikowych dużej mocy o działaniu zaporowym (dioda, tyrystor) o bardzo wysokiej sprawności, małych gabarytach i nie wymagających żadnej konserwacji spowodowało udoskonalenie starych i powstanie wielu nowych rozwiązań w dziedzinie napędów elektrycznych.

Przykładem udoskonalenia starego układu przy pomocy elementów półprzewodnikowych są układy kaskadowe oparte na silniku asynchronicznym. Układy te pozwalają na płynną regulację prędkości obrotowej przy zachowaniu dużej sprawności, co ma zasadnicze znaczenie dla napędów dużej mocy.

Efekt regulacji prędkości obrotowej kaskady jest wynikiem wprowadzenia napięcia dołatkowego do obwodu wirnika silnika asynchronicznego.

Kaskady oparte na przetwornicach maszynowych tzw. układy Kraemera znalazły stosunkowo ograniczone zastosowanie z uwagi na niety-

powość i dużą ilość maszyn wirujących zastosowanych w tym rozwiązaniu.

Przy projektowaniu napędów dużych mocy przy dużych prędkościach obrotowych moc silnika prądu stałego stosowanego w układzie Kraemera na "stałą moc" może okazać się większa niż moc graniczna maszyny prądu stałego.

Z tego względu godnym szerszego zainteresowania jest układ kaskadowy na "stały moment", który przy zastosowaniu statycznego prostownika i inwertora zbudowanych z elementów półprzewodnikowych, teoretycznie może posiadać nieograniczoną moc i pozwala wyeliminować zupełnie z urządzeń pomocniczych elementy wirujące a tym samym znacznie ułatwić jego obsługę.

W dalszym ciągu rozpatrywany więc będzie układ na "stały moment". Przedmiotem rozważań będzie model tego układu, który składa się z:

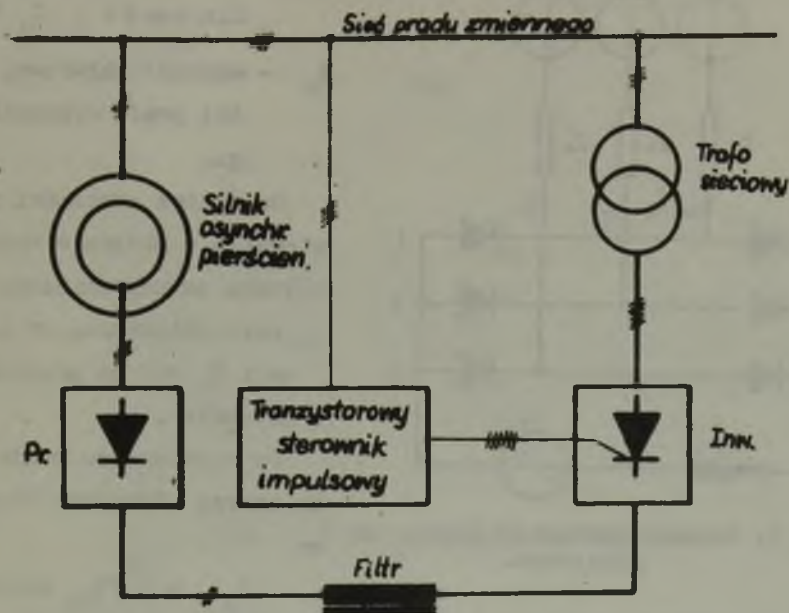
- 1) głównego silnika asynchronicznego pierścieniowego,
- 2) prostownika trójfazowego w układzie mostkowym,
- 3) inwertora 6-fazowego,
- 4) tranzystorowego sterownika impulsowego,
- 5) transformatora sieciowego,
- 6) filtra dolnoprzepustkowego (dławnik z rdzeniem ferromagnetycznym).

Schemat układu modelowego przedstawiony jest na rys. 1.

2. Charakterystyki statyczne układu kaskadowego

W analizie układów kaskadowych ze względu na to, że do obwodu wirnika silnika asynchronicznego przyłączone są inne obwody elektryczne, wygodnie jest zastosować schemat zastępczy, który jak najwierniej odzwierciedlałby zjawiska elektromagnetyczne (w stanie ustalonym) zachodzące w jego uzwojeniach.

Jednym z takich schematów jest schemat zastępczy dla rzeczywistego prądu wirnika zamieszczony w pracy [4].



Rys. 1. Schemat ideowy asynchronicznej kaskady prostowniczej

Na podstawie tak przyjętego schematu można narysować elektryczny schemat kaskady

Na rysunku oznaczono:

$$e_a = \sqrt{2} E_2 \sin \omega t,$$

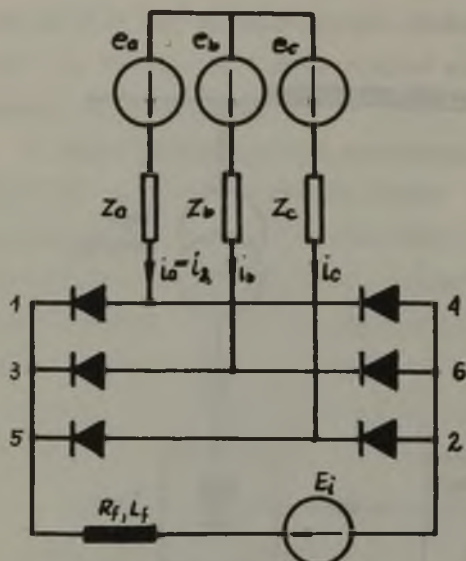
$$e_b = \sqrt{2} E_2 \sin (\omega t - 120^\circ),$$

$$e_c = \sqrt{2} E_2 \sin (\omega t + 120^\circ),$$

$$Z_{a,b,c} = \frac{R_f}{S} + r_2 + j x_2 = R + j X_2,$$

L_f, R_f - indukcyjność i oporność filtra

$$E_1 - \text{SEM inwertora } E_1 = E_{10} \cos \beta,$$



Rys. 2. Schemat zastępczy układu kaskadowego.

E_2 - skuteczna wartość fazowa SEM wirnika dla $s = 1$,

E_{i0} - napięcie idealnego biegu jakowego inwertora dla $\cos \beta = 1$ $I_d \neq 0$

I_d - wartość składowej stałej prądu wyprostowanego.

Na skutek obecności prostownika w obwodzie wirnika silnika asynchronicznego prąd i_2 przy założeniu, że $L_f = \infty$ i $X_2 = 0$ ma przebieg prostokątny.

Po rozwinięciu prądu i_2 na szereg Fouriera otrzymamy

$$i_2 = \sum_{k=1}^{\infty} \bar{I}_{2k} \sin k \omega_0 t \quad (1)$$

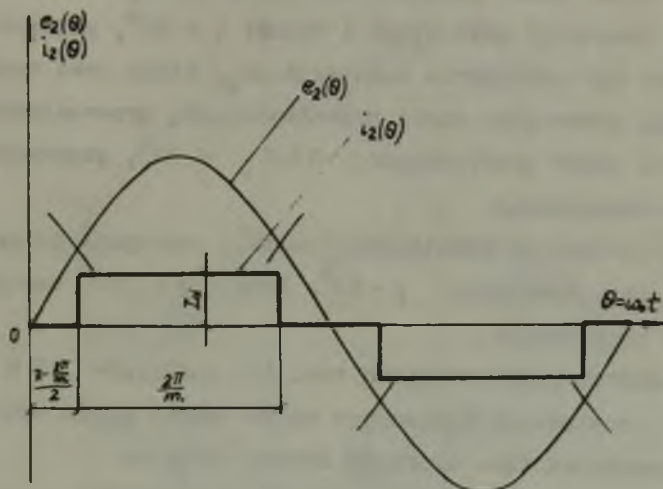
$$k = 6l \pm 1 \quad k = 1, 3, 5, \dots \quad (1)$$

I_{2k} - skuteczna wartość k-tej harmonicznej. prądu wirnika

$$I_{2k} = \frac{4}{\sqrt{2}\pi} \frac{\sin k \frac{\pi}{2} \sin k \frac{\pi}{3}}{k} I_d \quad (2)$$

Współczynnik odkształcenia prądu wirnika wynosi:

$$k_0 = \frac{I_{21}}{\sqrt{I_{21}^2 + I_{23}^2 + \dots}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \sum_{l=1}^{\infty} \frac{1}{(6l \pm 1)^2}}} = \frac{3}{\pi} = 0,955 \quad (3)$$



Rys. 3. Przebieg prądu wirnika

W normalnym transformatorze prostownikowy stosunek X/R impedancji źródła zasilania jest b. duży. W silniku asynchronicznym natomiast w schemacie zastępczym występuje oporność $R = \frac{R_2}{s} + r_2$ ($r_2 \ll R_2$), która jest funkcją poślizgu. Daje to w rezultacie zmienność stosunku X/R w granicach $0 \leq \frac{X}{R} < \infty$ dla zmian poślizgu $0 \leq s < \infty$. Stąd wniosek, że analiza pracy prostownika załączonego w obwód wirnika silnika asynchronicznego winna być przeprowadzona z uwzględnieniem wpływu oporności czynnej i biernej.

Przy małych prędkościach $s = 1$ charakter pracy prostownika jest taki sam jak przy zasilaniu transformatora prostownikowego.

Pracę prostownika można wtedy podzielić na trzy przedziały obciążenia:

- I-kąt komutacji dla tego przedziału spełnia warunek $\gamma < 60^\circ$.
Komutują tylko anody parzyste lub nieparzyste,
- II-kąt komutacji jest stały i wynosi $\gamma = 60^\circ$, pojawia się natomiast kąt opóźnienia komutacji α_w , który jest wynikiem niższego potencjału anody przechwytyjącej przewodzenie w stosunku do anody przekazującej $0 < \alpha_w \leq 30^\circ$, przewodzą dwie anody równocześnie,
- III-kąt opóźnienia komutacji $\alpha_w = 30^\circ$, następuje dalsze powiększenie kąta komutacji $\gamma > 60^\circ$. Przy $\gamma = 120^\circ$ następuje zwarcie prostownika.

Przy małych wysterowaniach tzn. dla poślizgów $S \approx 0$ na warunki pracy prostownika dominujący wpływ będzie miała oporność czynna obwodu zasilania tzn. oporność obwodu wirnika.

Przy uwzględnieniu spadku napięcia na oporności czynnej pojawia się skutkiem obniżenia napięcia anody przekazującej pracę wymuszone przyspieszenie zapłomu.

Moment rozwijany przez silnik asynchroniczny można obliczyć z ogólnej zależności

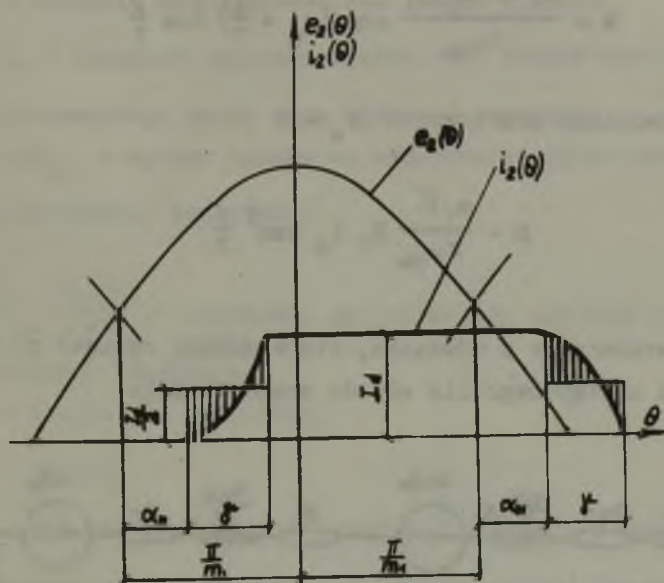
$$M = \frac{P_\psi}{\omega_{om}} \quad (4)$$

ω_{om} - mechaniczna prędkość synchroniczna

Moc pola wirującego P_ψ można wyznaczyć z relacji:

$$P_\psi = \frac{m_1}{2\pi} \int_0^{2\pi} e_2(\theta) i_2(\theta) d\theta \quad (5)$$

m_1 - liczba faz wirnika



Rys. 4. Rysunek do wyznaczenia momentu rozwijanego przez kaskadę

$$P_{\psi} = 2 \frac{m_1}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{m_1} + \alpha_w}^{\frac{\pi}{m_1} + \alpha_w + \gamma} e_2(\theta) i_2(\theta) d\theta \quad (6)$$

W celu uproszczenia obliczeń rzeczywisty przebieg prądu wirnika zastępujemy przebiegiem schodkowym przyjmując, że w czasie komutacji prąd wirnika i_2 wynosi $\frac{I_d}{2}$

Po wykonaniu obliczeń otrzymujemy

$$P_{\psi} = \frac{m_1 \sqrt{6} B_2 I_d}{f} \cos\left(\alpha_w + \frac{\gamma}{2}\right) \cos \frac{\gamma}{2} \quad (7)$$

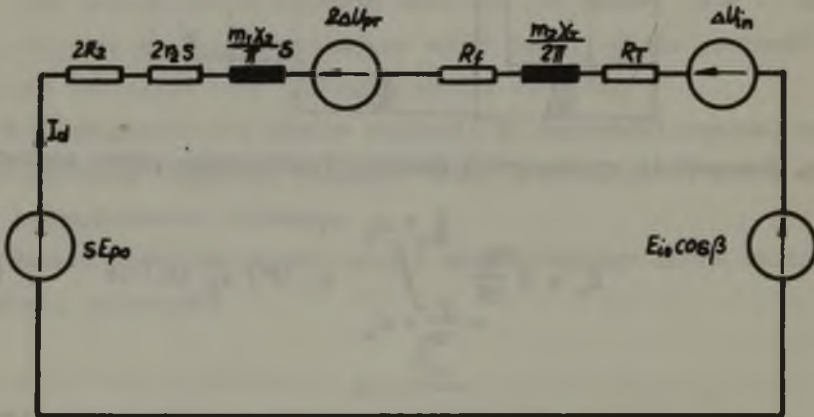
Stąd moment rozwijany przez silnika

$$M = \frac{m_1 \sqrt{6} E_2 I_d}{\pi \omega_{om}} \cos \left(\alpha_v + \frac{j}{2} \right) \cos \frac{j}{2} \quad (8)$$

dla I przedziału prostownika $\alpha_v = 0$

$$M = \frac{m_1 \sqrt{6}}{\pi \omega_{om}} E_2 I_d \cos^2 \frac{j}{2} \quad (8a)$$

Prąd I_d wyznaczamy z równania, które możemy napisać na podstawie schematu zastępczego dla obwodu prądu stałego



Rys. 5. Schemat zastępczy reprezentujący obwód prądu stałego

$$I_d = \frac{E_{po} s - E_{i0} \cos \beta - 2 \Delta U_{pr} - \Delta U_{in}}{\frac{m_1 X_2}{\pi} s + \frac{m_2 X}{2\pi} + 2 R_2 + 2 r_2 s + R_T + R_f} \quad (9)$$

$$E_{po} = 2 \sqrt{2} E_2 \frac{m_1}{\pi} \sin \frac{\pi}{m_1} = \frac{3 \sqrt{6}}{\pi} E_2 = 1,35 E_{2p}$$

E_{po} - wartość napięcia stałego na biegu jałowym prostownika,

E_{2p} - napięcie międzyprzewodowe obwodu wirnika,

R_T, X_T - oporność schematu zastępczego transformatora dla rzeczywistego prądu jego wtórnego uzwojenia,

$\Delta U_{pr}, \Delta U_{in}$ - spadki napięć na elementach półprzewodnikowych prostownika, inwertora,

$\frac{m_1 X_2}{s}, \frac{m_2 X_T}{2s}$ - oporności odpowiadające spadkom napięć spowodowanych komutacją,

m_2 - liczba faz inwertora,

$E_{i0} = 1,35 E_T$,

E_T - SEM fazowa strony wtórnej transformatora sieciowego.

Ostatecznie wzór na moment w pierwszym przedziale obciążenia można przedstawić w postaci:

$$M = \frac{E_{po}^2}{\omega_{cm}} \frac{R(s_0)}{R^2(s)} (s - s_0) \quad (10)$$

$R(s)$ - sumaryczna oporność obwodu zastępczego prądu stałego

$$R(s) = \frac{m_1 X_2}{s} + \frac{m_2 X_T}{2s} + 2R_2 + 2r_2 s + R_T + R_f$$

$$s_0 = \epsilon \cos \beta + \lambda \quad (11)$$

$$\epsilon = \frac{E_{i0}}{E_{po}}$$

$$\lambda = \frac{\Delta U}{E_{po}}$$

ΔU - sumaryczny spadek napięć na elementach półprzewodnikowych,
 s_0 - poślizg idealnego biegu jałowego ($M = 0$)

$$s_{0\min} = \frac{\Delta U}{E_{po}} \quad (12)$$

Moment krytyczny obliczony z warunku

$$\frac{\partial M}{\partial s} = 0 \rightarrow s_k = 2 s_0 + \varrho$$

$$\varrho = \frac{\frac{m_2 X_T}{2s} + 2R_2 + R_T + R_f}{\frac{m_1 X_2}{s} + 2r_2} \quad (12)$$

$$M_{kI} = 0,955 \frac{3 E_2^2}{2 \omega_{om} X_2}$$

$$M_{ks} = \frac{3 E_2^2}{2 \omega_{om} X_2}$$

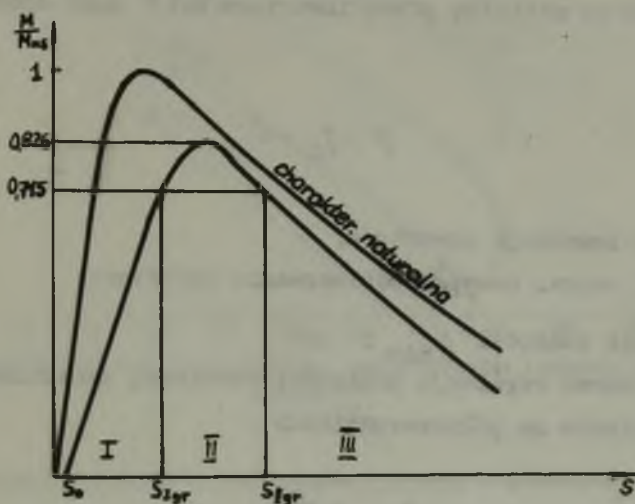
M_{ks} - moment krytyczny silnika pracującego samotnie.

Wartość momentu krytycznego rozwijanego przez silnik pracujący w układzie kaskadowym jest o 5% mniejsza od silnika pracującego samotnie. Osiągnięcie tego momentu w realnym układzie jest jednak niemożliwe ze względu na przejście prostownika w II przedział obciążenia ($s_{Igr} = \frac{4 s_0 + \varrho}{3}$).

Wartość momentu krytycznego, który osiąga kaskada prostownikowa znajduje się w II przedziale obciążenia i wynosi

$$M_{kII} = 0,826 \frac{3 E_2^2}{2 \omega_{cm} X_2}$$

czyli w stosunku do silnika pracującego samotnie jest zmniejszony o około 17%. Przy dalszym wzroście poślizgu następuje przejście prostownika w III przedział obciążenia, ($s_{IIgr} = 2,31 s_o + \rho$) który ze względu na duże prądy niedopuszczalne w eksploatacji kaskady nie ma sensu rozpatrywać.



Rys. 6. Charakterystyka mechaniczna kaskady z zaznaczonymi przedziałami obciążenia prostownika

Poślizg krytyczny kaskady prostownikowej (II przedział obciążenia) wynosi $s_k = 1,675 s_o + 0,675$ co wskazuje na zmniejszanie się sztywności charakterystyki mechanicznej w miarę zregulowywania prędkości obrotowej układu w dół. Sztywność charakterystyki mecha-

nicznej jak to wynika z wyrażenia (11) zależna jest także od przekładni transformatora sieciowego. Przy większych napięciach inwertora czyli mniejszej przekładni transformatora sztywność charakterystyki mechanicznej maleje. Dobór przekładni transformatora sieciowego zależy jest od wymaganego stopnia zregulowania prędkości obrotowej kaskady.

$$s_{\text{omin}} = \frac{1,35 E_T}{E_{\text{po}}} \cos \beta_{\text{min}} + \lambda \quad (13)$$

$$E_T = \frac{E_{\text{po}} s_{\text{omin}} - \lambda}{1,35 \cos \beta_{\text{min}}}$$

Ze względu na stabilną pracę inwertora kąt β musi spełniać zależność

$$\beta > \gamma_i + \delta \quad (14)$$

γ_i - kąt komutacji inwertora,

δ - kąt odpow. czasowi odblokowania tyrystora.

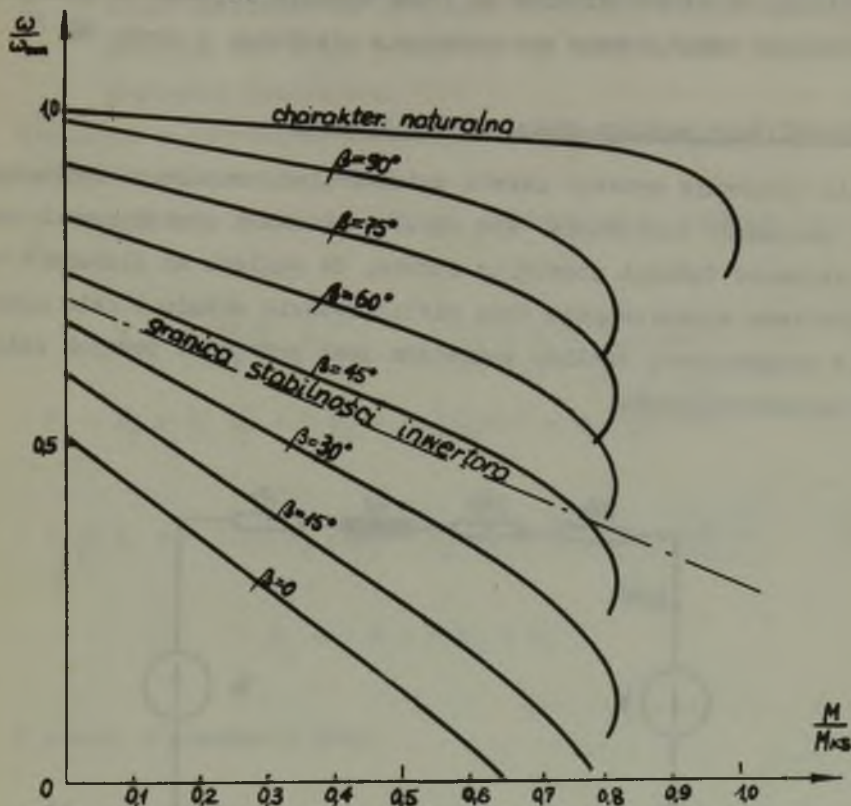
Praktycznie zachodzi $\beta_{\text{min}} \cong 40^\circ$

Od góry zakres regulacji prędkości obrotowej ograniczony jest spadkiem napięcia na półprzewodnikach

$$s_{\text{min}} = \frac{\Delta U}{E_{10}}$$

Przy małych prądach obciążenia może nastąpić zakres pracy prądów przerywanych. Analiza tego rodzaju pracy jest b. skomplikowana ze względu na to, że na procesy zachodzące w prostowniku nakładają się zjawiska zachodzące w inwertorze.

Wykorzystanie cieplne silnika pracującego w kaskadzie należy zmniejszyć o około 5% w stosunku do silnika pracującego samotnie.



Rys. 7. Teoretyczne charakterystyki mechaniczne kaskady prostownicowej

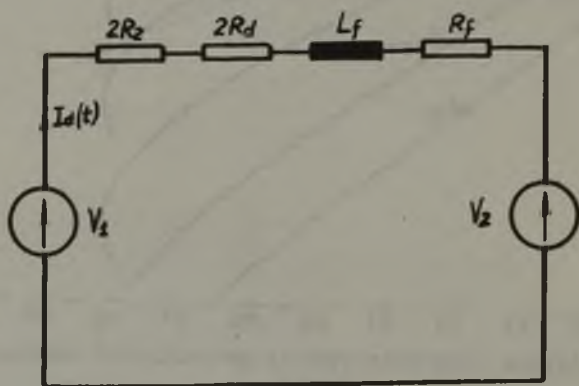
Wykorzystanie cieplne silnika pracującego w kaskadzie należy zmniejszyć o około 5% w stosunku do silnika pracującego samotnie.

Wniosek ten wynika bezpośrednio ze współczynnika kształcenia krzywej prądu wirnika $k_0 = \frac{3}{9}$. Ponieważ zasadniczy efekt elektrodynamiczny daje tylko 1 harmoniczną prądu wirnika (działanie momentów pasożytniczych od wyższych harmonicznych czasowych prądu wirnika pomijamy) więc przy tym samym momencie obciążenia straty w wirniku silnika pracującego w kaskadzie są w przybliżeniu $\frac{1}{k_0} = \frac{9}{3} = 1,09$ razy

większe niż straty w wirniku silnika pracującego samotnie. Przy założeniu, że straty wirnika są równe stratom stojana otrzymamy ostatecznie zmniejszenie wykorzystania ciepłego o około 5%.

3. Przybliżona analiza stanu przejściowego

W celu dokonania syntezy układu automatycznej regulacji konieczna jest znajomość zachowania się układu w stanach przejściowych czyli znajomość funkcji przejścia układu. Ze względu na złożoność tego problemu spowodowanego dużą nieliniowością układu w celu dokonania uproszczonej analizy konieczne jest przyjęcie pewnych założeń upraszczających:



Rys. 8. Przybliżony schemat zastępczy dla stanu przejściowego

- 1) Stała czasowa obwodu prądu wyprostowanego jest o wiele większa niż stała czasowa obwodu prądu zmiennego $T_d \gg T_z$.
- 2) Układ cechuje duża bezwładność mechaniczna tzn. zmiany prędkości obrotowej układu są b. powolne w stosunku do okresu prądu zmiennego.
- 3) Moment silnika w czasie trwania procesu przejściowego jest proporcjonalny do prądu stałego

$$M_{em} = c_M I_d$$

C_M - stała określana na podstawie stanu ustalonego może być przyjęta dla stanu przejściowego przy małych zmianach prędkości (patrz rys. 13)

Wychodząc z powyższych założeń można określić schemat zastępczy dla stanu przejściowego

R_d - oporność dynamiczna diody prostownika w punkcie jego pracy

$$V_1 = 1,35 E_2 s \qquad V_2 = 1,35 E_T \cos \beta$$

$$V_1 - V_2 = (2 R_2 + 2 R_d + R_f) I_d(t) + L_f \frac{d I_d(t)}{dt}$$

$$1,35 E_2 s - 1,35 E_T \cos \beta = R_c I_d(t) + L_f \frac{d I_d(t)}{dt} \quad (16)$$

$$R_c = 2 R + 2 R_d + R_f$$

Z zasady d'Alemberta mamy

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_{em} - M,$$

M_{em} - moment elektromagnetyczny rozwijany przez silnik,

M - moment obciążenia.

$$\omega = \omega_{om} (1 - s)$$

$$\frac{d\omega}{dt} = -\omega_{om} \frac{ds}{dt},$$

$$- \omega_{om} J \frac{ds}{dt} = M_{em} - M. \quad (17)$$

Z równań (15), (16) i (17) po wyrugowaniu prądu I_d oraz przy założeniu, że $M = \text{const}$ otrzymujemy

Z równań (15), (16) i (17) po wyrugowaniu prądu I_d oraz przy założeniu, że $M = \text{const}$ otrzymujemy

$$\frac{d^2 s}{dt^2} + \frac{R_c}{L_f} \frac{ds}{dt} + \frac{1,35 c_M E_2}{J \omega_{\text{om}} L_f} s = \frac{M R_c}{J \omega_{\text{om}} L_f} + \frac{1,35 c_M E_2 \cos \beta}{J \omega_{\text{om}} L_f} \quad (18)$$

Dokonyjąc transformacji Laplace'a na równaniu (18) traktując sygnał wejściowy $x = \cos \beta$ a wyjściowy $y = s$ możemy otrzymać funkcję przejścia charakteryzującą zmianę prędkości obrotowej od sygnału, regulującego ($\cos \beta$) i która może być wykorzystana do syntezy układu automatycznej regulacji.

4. Charakterystyki statyczne otrzymane z pomiarów wykonanych na modelu asynchronicznej kaskady prostownikowej

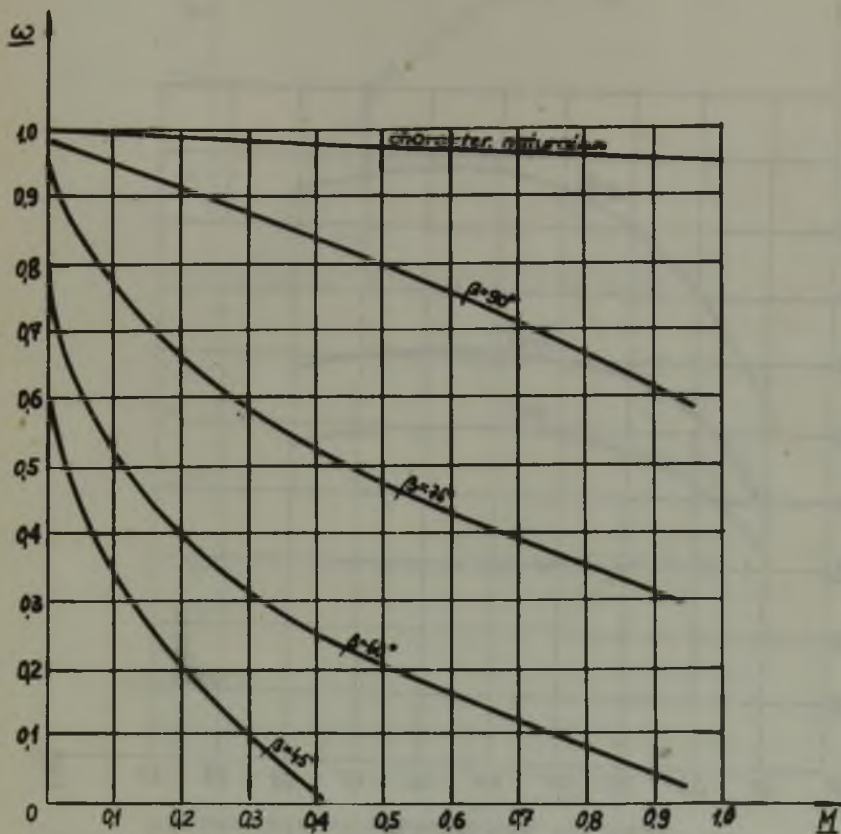
Dane silnika $P_N = 6,5 \text{ kW}$ $U = 380 \text{ V}$ $\cos \varphi_N = 0,80$
 $\omega_N = 25 \pi \text{ 1/s}$

Wszystkie charakterystyki narysowane zostały w jednostkach względnych

$$\underline{I} = \frac{I}{I_{\text{N wirnika}}} \quad \underline{M} = \frac{M}{M_{\text{N}}} \quad \underline{P} = \frac{P}{P_{\text{N}}} \quad \underline{\omega} = \frac{\omega}{\omega_{\text{om}}}$$

Charakterystyka mechaniczna układu przy różnych kątach wysterowania β .

Wyjątkowa miękkość charakterystyk mechanicznych przy kątach $\beta = 75^\circ, 60^\circ, 45^\circ$ dla małych obciążeń jest wynikiem wystąpienia prądów przerywanych w prostowniku i inwertorze co powoduje "okresowe-wyłączenie" obwodu wirnika, a więc chwilowy zanik efektu elektrodynamicznego. Zwrot energii poślizgu do sieci prądu zmiennego pozwala na zwiększenie sprawności energetycznej układu. Przebieg

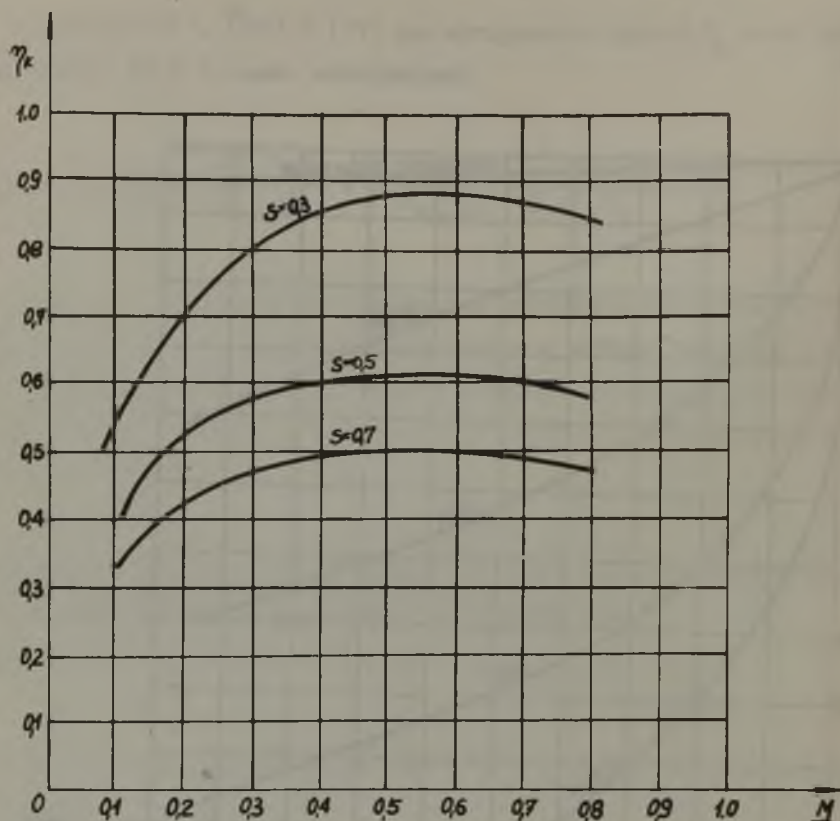


Rys. 9. Charakterystyki mechaniczne modelu kaskady

charakterystyk sprawności jest płaski dla $M > 0,5$ co należy uznać za zjawisko korzystne. Sprawność układu zależy od poślizgu i rośnie w miarę jego zmniejszania.

Wynikiem odkształcenia prądu zasilającego układ jest bardzo mały współczynnik mocy kaskady, który dla rozpatrywanego modelu był niewiele większy niż $\cos \nu_k = 0,4$

Bardzo interesującą i przydatną jest charakterystyka $M = f(I_d)$ ze względu na swoją liniowość i małą zależność od prędkości obro-

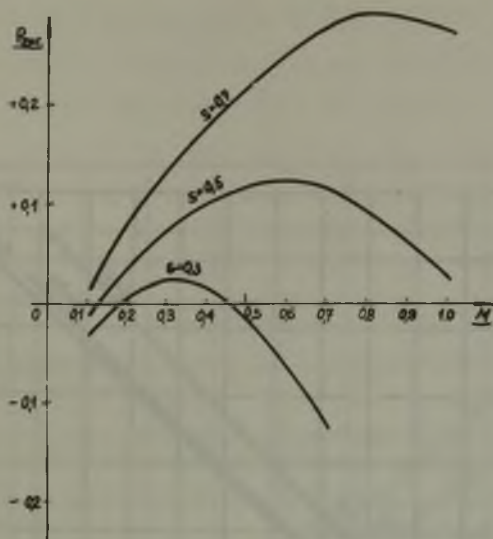


Rys. 10. Charakterystyka sprawności

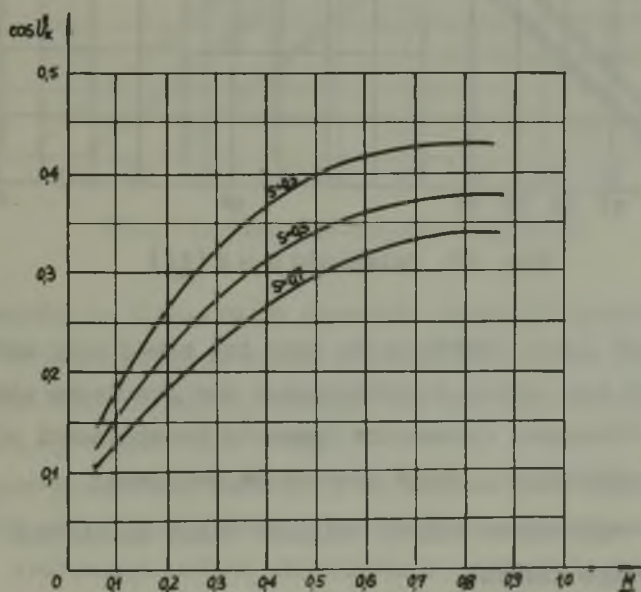
towej układu pozwoliła ona na istotne uproszczenie analizy procesu przejściowego. Liniowa jest także charakterystyka regulacji $\cos \beta = f(s)$.

5. Wnioski

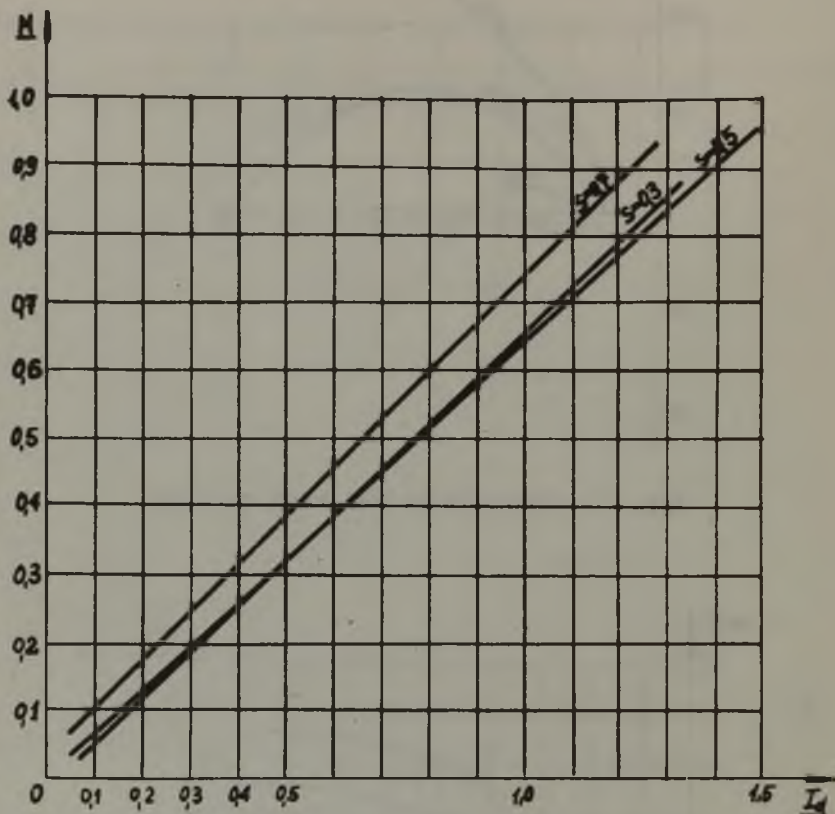
Układ asynchronicznej kaskady prostownikowej swoimi właściwościami przypomina prostownikowy napęd prądu stałego. Posiada jedna w stosunku do niego szereg zalet z których najważniejsze to:



Rys. 11. Charakterystyki mocy zwrotnej



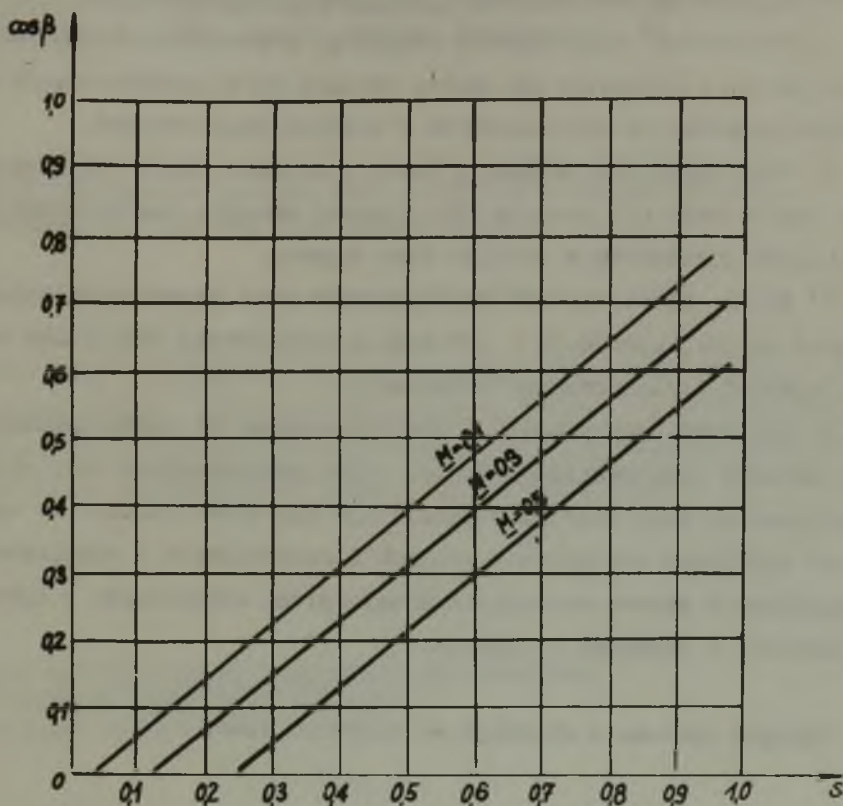
Rys. 12. Charakterystyki współczynnika mocy



Rys. 13. Zależność $M = f(I_d)$

- 1) mniejszy koszt inwestycyjny przy tej samej mocy układu,
- 2) większa moc układu przewyższająca moc graniczną układu,
- 3) dobre własności dynamiczne (momenty bezwładności silnika prądu zmiennego i stałe czasowe są mniejsze)

Do zalet tego układu należy zaliczyć także możliwości łatwego zautomatyzowania układu.



Rys. 14. Charakterystyki regulacji

W stosunku do klasycznych sposobów regulacji prędkości obrotowej silnika asynchronicznego kaskada prostownikowa, na skutek zwrotu energii poślizgu do sieci, cechuje się wysokim współczynnikiem sprawności ($\eta \approx 0,8$ dla $s = 0,3$)

Wady asynchronicznej kaskady prostownikowej są następujące:

1) Duża ustepliwość charakterystyk mechanicznych co jednak przy łatwości zbudowania układu stabilizacji prędkości obrotowej jest zagadnieniem mniej ważnym.

2) Zmniejszenie o około 17% przeciążalności momentem w stosunku do silnika asynchronicznego pracującego indywidualnie.

3) Konieczność zmniejszenia cieplnego wykorzystania silnika pracującego w kaskadzie na skutek wzrostu strat spowodowanych obecnością wyższych harmonicznych w prądach jego uzwojeń.

4) Przy dużej mocy napędu i dużej oporności sieci odkształcenie prądów może być powodem złej jakości energii dostarczonej dla odbiorców położonych w pobliżu tego napędu.

5) Bardzo niska wartość współczynnika mocy spowodowana odkształceniem prądów, komutacją i obecnością dodatkowego odbiornika energii biernej (transformator sieciowy).

Z przeprowadzonych badań i analizy wynika, że układ asynchronicznej kaskady prostownikowej oprócz zalet posiada wiele wad, niemniej zastosowanie tego rodzaju napędu staje się znów aktualne ze względu na możliwość zastąpienia drogich i kłopotliwych w eksploatacji pomocniczych maszyn wirujących urządzeniami statycznymi o dużej sprawności i pewności działania.

Rękopis złożono w redakcji we wrześniu 1968.

LITERATURA

- [1] Sandler A.S.: Regulirovanije skorosti wraszczenijsa asinchronnych dwigatielej. Moskwa 1966 Leningrad Izdatielstwo "Energija"
- [2] Lavi A. Polge R.J.: Induction motor speed control with static inverter in the rotor. 1966 Vol. 85 Nr 1. IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems
- [3] Bisztyga K.: Wpływ nieliniowości prostownika na charakterystyki asynchronicznej kaskady zaworowej. Nr 151/ r. 73. Kraków 1966. Zeszyt Naukowy AGH.

- [4] Kuczewski Z.: Charakterystyki mechaniczne silnika asynchronicznego trójfazowego przy regulacji prędkości obrotowej przez wprowadzenie dodatkowego napięcia do obwodu wirnika. Z. 17/ nr 98. Gliwice 1964, Zeszyt Naukowy Politechniki Śl.

АНАЛИЗ И РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬНОЙ АСИНХРОННОЙ КАСКАДЫ "НА ПОСТОЯННЫЙ МОМЕНТ"

Р е з ю м е

В статье приведен анализ выпрямительной асинхронной каскады на постоянный момент, который также содержит простой метод анализа динамического процесса. Статические характеристики получены из измерений на лабораторной модели мощностью 6,5 кв.

ANALYSIS AND RESULTS OF LABORATORY MEASUREMENTS OR ASYNCHRONOUS RECTIFIER CASCADE ON "CONSTANT TORQUE"

S u m m a r y

The elaboration consists of analysis of asynchronous rectifier cascade on "constant torque" and talk over the basic properties of this system. It is given the profile of simplified analysis of the transient process. It is also given the statical characteristics of cascade which are based on results of measurements carried out on model with motor of power $P = 6,5$ kW.