

ZBIGNIEW MANTORSKI

Katedra Napędu Elektrycznego

UKŁAD LEONARDA STEROWANY PRZY POMOCY
PRZETWORNIKÓW JONOWYCH

Streszczenie. W referacie omówiono kilka najczęściej spotykanych układów automatycznej regulacji prędkości obrotowej silnika prądu stałego w układzie Leonarda, sterowanego przy pomocy przetworników jonowych, a następnie podano przykładowo dla wybranego układu sposób analizowania ich własności dynamicznych.

1. W s t ę p

Regulowane napędy prądu stałego są obecnie bardzo często stosowane w przemyśle, przede wszystkim do napędu obrabiarek, walcarek, maszyn wyciągowych, papierniczych, włókienniczych itp.

Prędkość obrotowa silników obcowzbudnych prądu stałego może być, jak wiadomo, regulowana przez zmiany napięcia twornika i zmiany prądu wzbudzenia silnika. Podczas gdy przy pomocy zmian napięcia twornika można regulować prędkość obrotową silnika od zera do pewnej wartości maksymalnej, przy pomocy zmian prądu wzbudzenia można regulować prędkość obrotową silnika tylko w pewnym ograniczonym zakresie. Regulacja przy pomocy prądu wzbudzenia silnika odbywa się tylko przez jego zmniejszenie, tzn. regulacja prędkości obrotowej odbywa się w górę od pewnej prędkości podstawowej. Ponieważ przy osłabieniu wzbudzania silnika zachodzi równocześnie redukcja momentu, silnik nie będzie wówczas w pełni wykorzystany. Ze względów konstrukcyjnych (ograniczona prędkość obrotowa) i elektrycznych (komutacja) nie stosuje się większego zakresu regulacji prędkości obrotowej przy pomocy strumienia jak 1:3.

Do zasilania twornika silnika prądu stałego konieczne jest regulowane źródło napięcia stałego, którego moc przewyższa moc silnika o jego straty. Istnieją dwa sposoby zasilania spełniające te warunki:

- zasilanie z regulowanego generatora prądu stałego (napęd w układzie Leonarda),
- zasilanie z prostownika sterowanego.

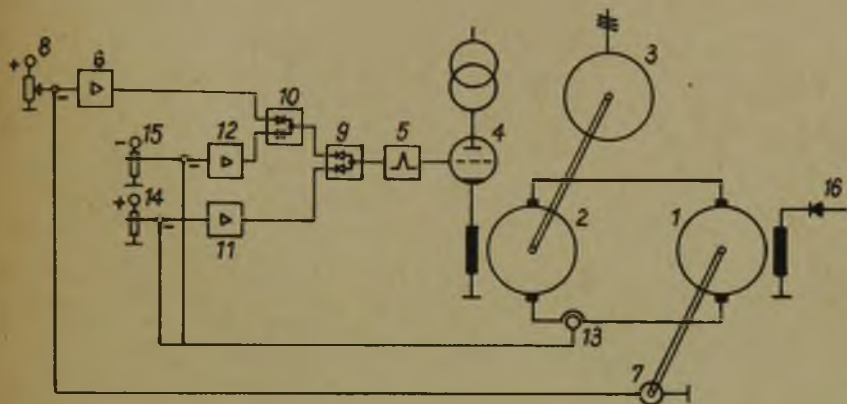
W niniejszym referacie omówiono kilka najczęściej spotykanych układów automatycznej regulacji prędkości obrotowej silnika prądu stałego w układzie Leonarda, sterowanego przy pomocy przetworników jonowych (tyratronów).

2. Układ Leonarda z obwodem regulacji prędkości obrotowej i z obwodem służącym do ograniczenia prądu twornika przy rozruchu i hamowaniu

Układ ten został przedstawiony na rysunku 1. Generator prądu stałego 2 jest wzbudzany poprzez prostownik sterowany 4, który z kolei jest sterowany przez urządzenie sterujące siatki 5. Napięcie wzbudzenia generatora może być zmienione przy pomocy tego urządzenia od zera do pewnej wartości maksymalnej. Urządzenie sterujące siatki 5 jest sterowane przez wzmacniacz regulacyjny 6, który wzmacnia różnicę między napięciem wejściowym, nastawionym na potencjometrze 8 i napięciem tachogeneratora 7, proporcjonalnym do prędkości obrotowej silnika 1. Żądaną prędkość obrotową można więc uzyskać przez odpowiednie nastawienie potencjometru 8. Silnik prądu stałego 1 jest wzbudzany w tym układzie z niesterowanego prostownika 16.

Oprócz obwodu regulacji prędkości obrotowej układ ten posiada obwód służący do ograniczenia prądu twornika przy rozruchu i hamowaniu. Obwód ten jest wyposażony w następujące elementy: element "wybierający" sygnał mniejszy 9, element "wybierający" sygnał większy 10, wzmacniacze regulacyjne 11 i 12, przekładnik prądu stałego 13 oraz oporniki regulacyjne 14 i 15. Napięcie na przekładniku 13 będzie porównywane z napięciami nastawionymi na opornikach regulacyjnych 14 i 15, a następnie różnice napięć będą wzmocnione przez wzmacniacze 11 i 12.

W czasie rozruchu, gdy wartość prądu twornika jest mniejsza od wartości dopuszczalnej, wzmacniacz 11 jest wystero- wany i na wyjściu posiada duże napięcie dodatnie, odpowia- dające jego naturalnemu ograniczeniu, zaś wzmacniacz 12 jest



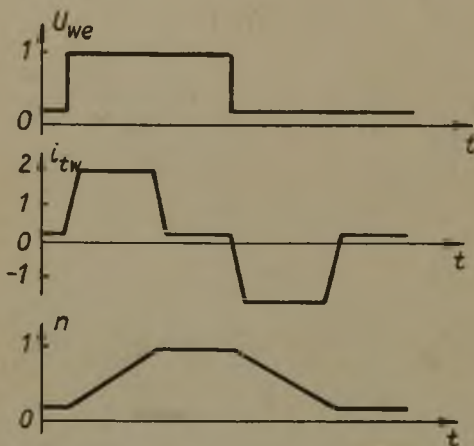
Rys. 1. Układ Leonarda z obwodem regulacji prędkości obro- towiej i z obwodem służącym do ograniczenia prądu twornika przy rozruchu i hamowaniu

- 1 - silnik prądu stałego, 2 - generator prądu stałego, 3 - silnik prądu zmiennego, 4 - prostownik sterowany, 5 - urzą- dzenie sterujące statki, 6 - wzmacniacz, 7 - tachogenera- tor, 8 - potencjometr, 9 - element "wybierający" sygnał mniejszy, 10 - element wybierający sygnał większy, 11 i 12 - wzmacniacze, 13 - przełącznik prądu stałego, 14 i 15 - oporniki, 16 - prostownik

zablokowany i na wyjściu posiada duże napięcie ujemne. W tym stanie napięcie wyjściowe wzmacniacza 6 jest większe niż napięcie wzmacniacza 12 i mniejsze niż napięcie wzmacnia- cza 11. Elementy 10 i 9 podadzą więc sygnał z wzmacniacza 6 na urządzenie sterujące siatki i w tej sytuacji ograni- czenie prądu twornika nie działa. Po dojściu prądu twornika do wartości dopuszczalnej, wzmacniacz 11 nie będzie już więcej wystero wany i na wyjściu będzie posiadać małe napięcie, mniejsze niż wzmacniacz 6. Element 9 wybierze wów- czas sygnał mniejszy, a więc sygnał z wzmacniacza 11. Syg- nał ten podany na urządzenie sterujące siatki 5, spowoduje

zmniejszenie napięcia wzbudzenia generatora do tego stopnia, że prąd rozruchu nie przekroczy wartości dopuszczalnej.

Po obniżeniu prądu rozruchu poniżej wartości dopuszczalnej znowu sygnał z wzmacniacza 6 będzie podawany na urządzenie sterujące siatki.



Rys. 2. Uproszczone przebiegi czasowe

U_{we} - napięcia wejściowego (nastawionego na potencjometrze 8)
 i_{tw} - prądu twornika, n - prędkości obrotowej

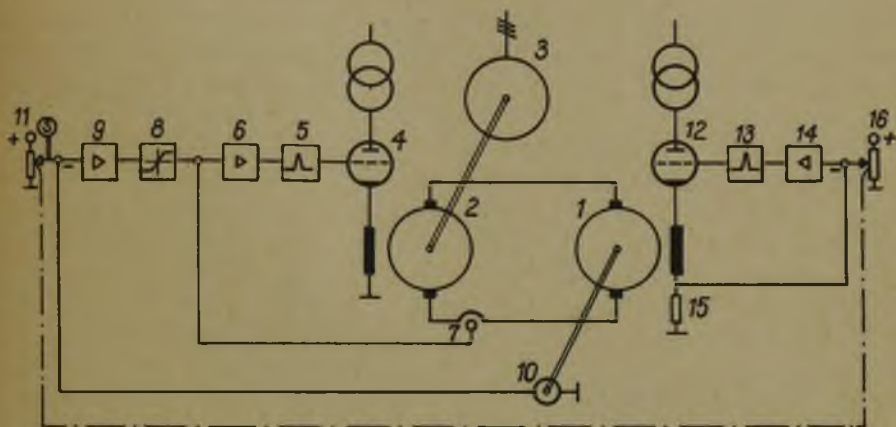
W wypadku przekroczenia wartości dopuszczalnej przez prąd hamowania, wzmacniacz 12 będzie wysterowany i da napięcie większe niż wzmacniacz 6. Element 10 poda napięcie z wzmacniacza 12 poprzez element 9 na urządzenie sterujące siatki, tak duże, że napięcie wzbudzenia wzrośnie i uniemożliwi przekroczenie przez prąd hamowania wartości dopuszczalnej.

Na rysunku 2 przedstawiono w uproszczony sposób przebiegi prądu twornika i prędkości obrotowej w funkcji czasu, w przypadku skokowej zmiany wielkości zadającej na potencjometrze 8.

3. Układ Leonarda z obwodem regulacji prędkości obrotowej, z dodatkowym obwodem regulacji prądu twornika i ze sterowaniem w celu osłabienia wzbudzenia silnika

Opisany poprzednio układ ma wadę, a mianowicie pomiędzy utraceniem możliwości regulacji prędkości obrotowej, a wystąpieniem ograniczenia prądu twornika i odwrotnie, mogą wystąpić niepożądane procesy przejściowe. Usterkę tę można usunąć stosując tzw. dodatkowy obwód regulacji prądu twornika.

Układ Leonarda z obwodem regulacji prędkości obrotowej z dodatkowym obwodem regulacji prądu twornika i ze sterowaniem w celu osłabienia wzbudzenia silnika został przedstawiony na rysunku nr 3.



Rys. 3. Układ Leonarda z obwodem regulacji prędkości obrotowej, z dodatkowym obwodem regulacji prądu twornika i ze sterowaniem w celu osłabienia wzbudzenia silnika

1 - silnik prądu stałego, 2 - generator prądu stałego, 3 - silnik prądu zmiennego, 4 - prostownik sterowany, 5 - urządzenie sterujące siatki, 6 - wzmacniacz, 7 - przekładnik prądu stałego, 8 - element nieliniowy ograniczający, 9 - wzmacniacz, 10 - tachogenerator, 11 - potencjometr, 12 - prostownik sterowany, 13 - urządzenie sterujące siatki, 14 - wzmacniacz, 15 - opornik, 16 - potencjometr

W układzie tym generator prądu stałego 2 jest wzbudzony poprzez prostownik sterowany, którego urządzenie sterujące siatki 5 jest sterowane przy pomocy wzmacniacza regulującego 6. Wzmacniacz ten wzmacnia różnicę napięć, otrzymaną z porównania napięcia wyjściowego elementu nieliniowego 8 i napięcia otrzymanego z przekładnika prądu **stałego** 7. Wszystkie te elementy składają się na obwód regulacji prądu twornika.

Element nieliniowy 8 jest sterowany poprzez wzmacniacz 9, który wzmacnia różnicę pomiędzy napięciem wejściowym, nastawionym na potencjometrze 11 i napięciem tachogeneratora 10. Napięcie na potencjometrze 11 będzie ustawione w zależności od żądanej prędkości obrotowej, a napięcie tachogeneratora będzie proporcjonalne do prędkości obrotowej silnika.

Wzmacniacz 9 poprzez element nieliniowy dostarcza napięcie wejściowe do obwodu regulacji prądu twornika. W wypadku, gdy prąd w obwodzie głównym zmienia się w dopuszczalnych granicach, prędkość obrotowa utrzymywana jest na stałym poziomie odpowiadającym wielkości żądanej na potencjometrze 11, dzięki istnieniu obwodu regulacji prędkości obrotowej.

W wypadku przekroczenia przez prąd w obwodzie głównym wartości dopuszczalnej, dzięki istnieniu obwodu regulacji tego prądu napięcie generatora spadnie i odpowiednio zmaleje prędkość obrotowa, natomiast na skutek nieliniowości elementu 8 obwód regulacji prędkości obrotowej nie będzie w stanie zwiększyć napięcia, a tym samym prędkości. Dzięki temu, że napięcie elementu 8 jest ograniczone, otrzymano w prosty sposób ograniczenie prądu twornika przy jednocześnie działających obwodach regulacji prędkości obrotowej i prądu twornika.

Oprócz opisanych już obwodów regulacji prędkości obrotowej i prądu twornika, układ przedstawiony na rysunku 3 posiada obwód do sterowania prądu wzbudzenia silnika.

Silnik prądu stałego 1 jest wzbudzany poprzez prostownik sterowany 12. Urządzenie sterujące siatki 13 i wzmacniacz 14 tworzą obwód regulacji prądu wzbudzenia silnika. Napięcie proporcjonalne do prądu wzbudzenia silnika jest brane z opornika 15, natomiast napięcie wejściowe w tym obwodzie jest brane z potencjometru 16, mechanicznie sprzężonego z potencjometrem 11, zadającym napięcie wejściowe w obwodzie regulacji prędkości obrotowej. W tym układzie każdemu ustawieniu potencjometru 11 odpowiada pewne ustawienie potencjometru 16. Potencjometr ten musi być nieliniowy i starannie zestrojony z liniowym potencjometrem 11. Między ustawieniami potencjometru 11, odpowiadającymi prędkości obrotowej równej zero i pewnej prędkości podstawowej, prąd wzbudzenia silnika powinien być stały. Dla ustawień odpowiadających prędkości obrotowej większej od prędkości

podstawowej, prąd wzbudzenia silnika winien zanikać hiperbolicznie do pewnej wartości.

Opisany tu układ do osłabiania wzbudzenia silnika posiada dwie wady: pierwszą z nich jest nieliniowość potencjometru 16, drugą możliwość wystąpienia niedopuszczalnego napięcia twornika silnika przy nagłej zmianie ustawienia potencjometru 11.

W celu opisanego tego zjawiska przyjmijmy, że silnik wiruje z maksymalną prędkością i odpowiednio prąd wzbudzenia silnika posiada wartość minimalną. Jeżeli teraz nagle zmienić ustawienie potencjometru 11, a tym samym i potencjometru 16 w położenie odpowiadające pełnemu wzbudzeniu silnika, pole silnika odbuduje się szybko, podczas gdy prędkość obrotowa zmieniać się będzie powoli. Wzrośnie wówczas SEM indukowana w silniku (równa iloczynowi prędkości obrotowej i strumienia magnetycznego) i może przekroczyć wartość dopuszczalną.

4. Nawrotny układ Leonarda z obwodem regulacji prędkości obrotowej, z dodatkowym obwodem regulacji prądu twornika i z osłabieniem wzbudzenia silnika przez ograniczenie napięcia twornika

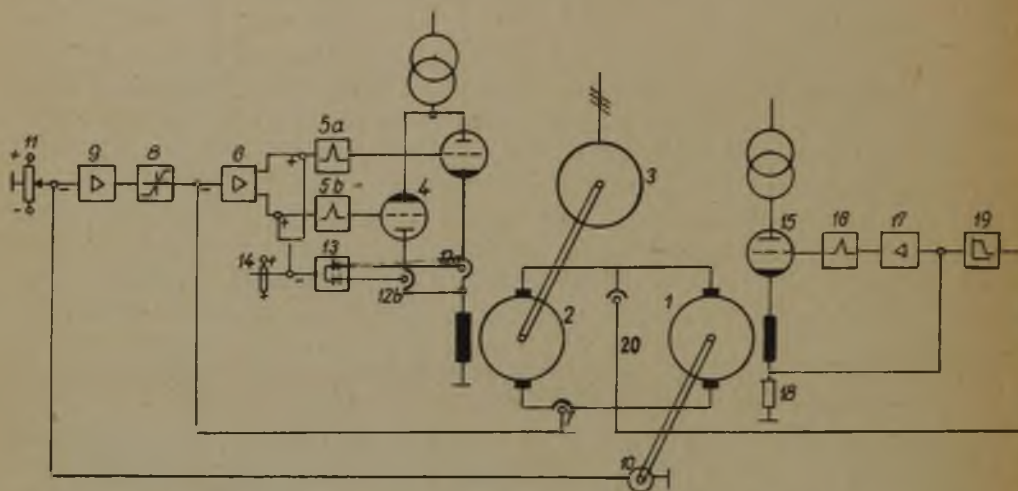
Jak wiadomo prędkość obrotowa silnika pracującego w układzie Leonarda, może być zmieniona na skierowaną przeciwnie, poprzez zmianę biegunowości uzwojenia wzbudzenia generatora.

Pojedynczy sterowany przekształtnik jonowy może przepuszczać prąd tylko w jednym kierunku, toteż aby uzyskać układ nawrotny należałoby w obwód wzbudzenia generatora włączyć przełącznik do rewersowania. Oprócz tego, aby uzyskać właściwy efekt regulacji należy zmienić na przeciwnie kierunki sygnałów reprezentujących prąd twornika i prędkość obrotową.

Przy częstych nawrotach należy stosować układ bez przełączników, tzn. układ bezstykowy. Układ taki można otrzymać przez dodanie jeszcze jednego sterowanego przekształtnika jonowego.

Na rysunku 4 przedstawiono bezstykowy układ nawrotny, przy czym przekształtniki jonowe pracują w układzie przeciwsobnym równoległym. Oba przekształtniki 4 są sterowane, każdy oddzielnie z urządzenia sterującego siatki 5a, wzglę-

dnie 5b, które to urządzenia są same z kolei sterowane przez wzmacniacz regulacyjny 6. Wzmacniacz ten posiada dwa wyjścia, przy czym sygnały wyjściowe są zawsze symetryczne i skierowane przeciwnie względem siebie.



Rys. 4. Nawrotny układ Leonarda z obwodem regulacji prędkości obrotowej, z dodatkowym obwodem regulacji prądu twornika i z osłabianiem wzbudzenia silnika przez ograniczenie napięcia twornika

1 - silnik prądu stałego, 2 - generator prądu stałego, 3 - silnik prądu zmiennego, 4 - prostownik sterowany w układzie przeciwsobnym równoległym, 5 - urządzenie sterujące siatki, 6 - wzmacniacz, 7 - przekładnik prądu stałego, 8 - element nieliniowy ograniczający, 9 - wzmacniacz, 10 - tachogenerator, 11 - potencjometr, 12 - przekładniki prądu stałego, 13 - element "wybierający" sygnał mniejszy, 14 - opornik, 15 - prostownik sterowany, 16 - urządzenie sterujące siatki, 17 - wzmacniacz, 18 - opornik, 19 - element nieliniowy, 20 - przekładnik stałego napięcia

Z obu przekształtników zawsze jeden pracuje jako prostownik, drugi jako inwertor, przy czym przejście ze stanu pracy prostowniczej w stan pracy inwertorowej i odwrotnie będzie się odbywać płynnie.

W inwertorze płynie prąd mały, zwany prądem oczkowym. Dodatkowy obwód regulacji w układzie przedstawionym na rysunku 4 ma na celu ograniczenie tego prądu. Przy pomocy przekładników prądu stałego 12a i 12b są mierzone prądy obu przetworników jonowych, a następnie sygnał odpowiadający mniejszemu z prądów zostanie przepuszczony przez element 13 i odjęty od wielkości wejściowej dla obwodu regulacji prądu oczkowego, nastawionej na potencjometrze 14. Różnica między wielkością wejściową a sygnałem odpowiadającym rzeczywistej wartości prądu oczkowego będzie dodatkowo podana na urządzenie sterujące siatki 5a i 5b i spowoduje przy zbyt dużym prądzie oczkowym występowanie obu przetworników jonowych w kierunku pracy inwertorowej. Wskutek tego napięcie wzbudzenia generatora zmaleje i w dalszej kolejności przez dodatkowy obwód regulacji prądu twornika spowoduje dalsze zablokowanie przetwornika pracującego jako inwertor i otworzenie przetwornika pracującego jako prostownik.

Ponieważ prąd oczkowy jest bardzo czuły na małe zmiany kąta zapłonu, nie jest konieczny w obwodzie regulacji tego prądu dodatkowy wzmacniacz.

W celu uzyskania nawrotu nie trzeba stosować żadnych przełączeń napięcia wejściowego, gdyż można na potencjometrze 11 uzyskiwać w sposób ciągły napięcie dodatnie i ujemne, odpowiadające wszystkim wartościom prędkości obrotowej dla obu kierunków.

W układzie przedstawionym na rysunku 4 zastosowano inny sposób osłabiania wzbudzenia silnika niż w układzie przedstawionym na rysunku 3, a mianowicie wzbudzenie silnika jest osłabiane przez ograniczenie napięcia twornika.

Przy przekroczeniu przez napięcie twornika wartości nominalnej zostaje osłabione wzbudzenie poprzez obwód regulacji. Nastąpi wówczas zwiększenie prędkości obrotowej silnika, zaś regulator tej prędkości musi podnieść napięcie twornika nieco ponad wartość znamionową, tak aby można było otrzymać żadaną prędkość obrotową.

Sygnał odpowiadający napięciu twornika jest podawany przez przekładnik napięcia stałego 20 na element nieliniowy 19. Element ten dostarcza sygnał wejściowy do obwodu regulacji prądu wzbudzenia silnika. W zależności od wielkości napięcia twornika sygnał ten będzie stały, odpowiadający pełnemu wzbudzeniu silnika dla napięcia twornika mniejszego od nominalnego lub będzie maleć do pewnej warto-

ści, wraz ze wzrostem tego napięcia ponad wartość nominalną. Wraz ze zmniejszeniem się sygnału wejściowego będzie osłabione wzbudzenie silnika.

W omówionych wyżej układach były stosowane przetworniki jonowe (tyratrony), niemniej jednak w analogicznych układach równie dobrze mogą być zastosowane przetworniki półprzewodnikowe (tyrystory). Również korzystając z powyższych układów można tworzyć układy pochodne, łącząc ze sobą zależnie od potrzeb odpowiednie obwody regulacji.

5. Przykładowe obliczenie funkcji przejścia układu Leonarda z obwodem regulacji prędkości obrotowej i z dodatkowym obwodem do regulacji prądu twornika

Dobór optymalnych parametrów elementów w obwodach sprzężeń zwrotnych w opisywanych powyżej układach musi odbywać się w oparciu o analizę własności dynamicznych tych układów.

Poniżej podano przykładowo dla układu Leonarda z obwodem regulacji prędkości obrotowej i z dodatkowym obwodem do regulacji prądu twornika metodę badania jego własności dynamicznych w oparciu o schemat przepływu sygnałów. Na rys. 5 przedstawiono ten układ wraz z oznaczonymi funkcjami przejścia oraz z wejściami i wyjściami poszczególnych elementów.

Ze względu na nieliniowości charakterystyk opisujących poszczególne elementy układu należy przy analizowaniu jego własności dynamicznych posługiwać się przyrostami.

I tak po zastosowaniu transformacji Laplace'a, dla obwodu wzbudzenia generatora będzie można napisać:

$$-\Delta U_w + \Delta I_w (R_w + sL_w) = 0 \quad (1)$$

Po wprowadzeniu wielkości znamionowych jako wielkości odniesienia i biorąc pod uwagę, że: $U_{wN} = I_{wN} R_w$, równanie (1) przedstawione w jednostkach względnych będzie wyglądać następująco:

$$-\Delta u_w + \Delta i_w (1 + sT_w) = 0 \quad (2)$$

gdzie:

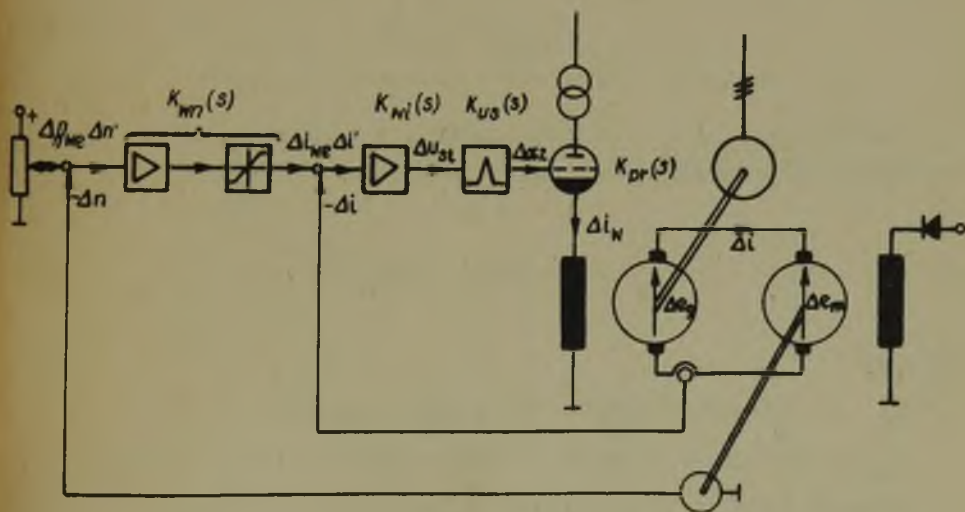
$T_w = \frac{L_w}{R_w}$ - jest stałą czasową obwodu wzbudzenia generatora.

Przy założeniu stałej prędkości silnika napędzającego generator można napisać zależność:

$$\Delta e_g = k_g \Delta i_w \quad (3)$$

a następnie dla obwodu głównego układu Leonarda:

$$-\Delta E_g + \Delta I(R + sL) + \Delta E_m = 0 \quad (4)$$



Rys. 5. Układ Leonarda z obwodem regulacji prędkości obrotowej i z dodatkowym obwodem regulacji prądu twornika

To samo równanie przedstawione w jednostkach względnych przy założeniu, że:

$r = \frac{I_N R}{E_{gN}}$ jest całkowitą opornością obwodu głównego i że

$T = \frac{L}{R}$ jest stałą czasową obwodu głównego,

przyjmie postać:

$$- \Delta e_g + r(1 + sT)\Delta i + (1 - r)\Delta e_m = 0 \quad (5)$$

Ponieważ w analizowanym układzie wzbudzenie silnika głównego jest stałe ($\phi_m = \text{const.}$), można napisać, że:

$$\Delta e_m = k_e \Delta n \quad \text{oraz} \quad (6)$$

$$\Delta m = k_m \Delta i \quad (7)$$

Zakładając $\phi_m = \text{const.}$ można w dalszym ciągu napisać równanie dla przyrostów momentów:

$$\Delta m - \Delta m_{st} = sT_M \Delta n \quad (7)$$

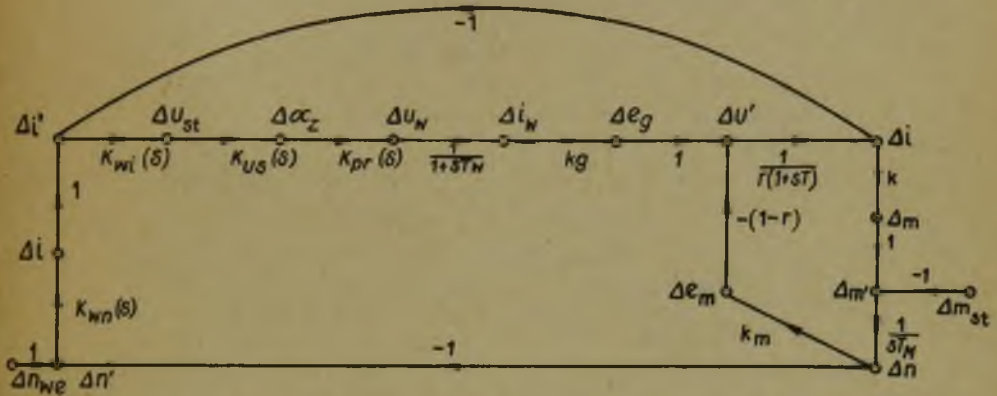
gdzie:

T_M - elektromechaniczna stała czasowa,

m_{st} - przyrost momentu statycznego na wale silnika.

Korzystając z przytoczonych powyżej zależności oraz ze schematu układu przedstawionego na rys. 5, można wykreślić schemat przepływu sygnałów (rys. 6).

W celu znalezienia funkcji przejścia dla całego układu oraz w celu zbadania jego stabilności schemat przedstawiony na rys. 6, należy uprościć. Na rys. 7 przedstawiono poszczególne fazy upraszczania schematu przepływu sygnałów.



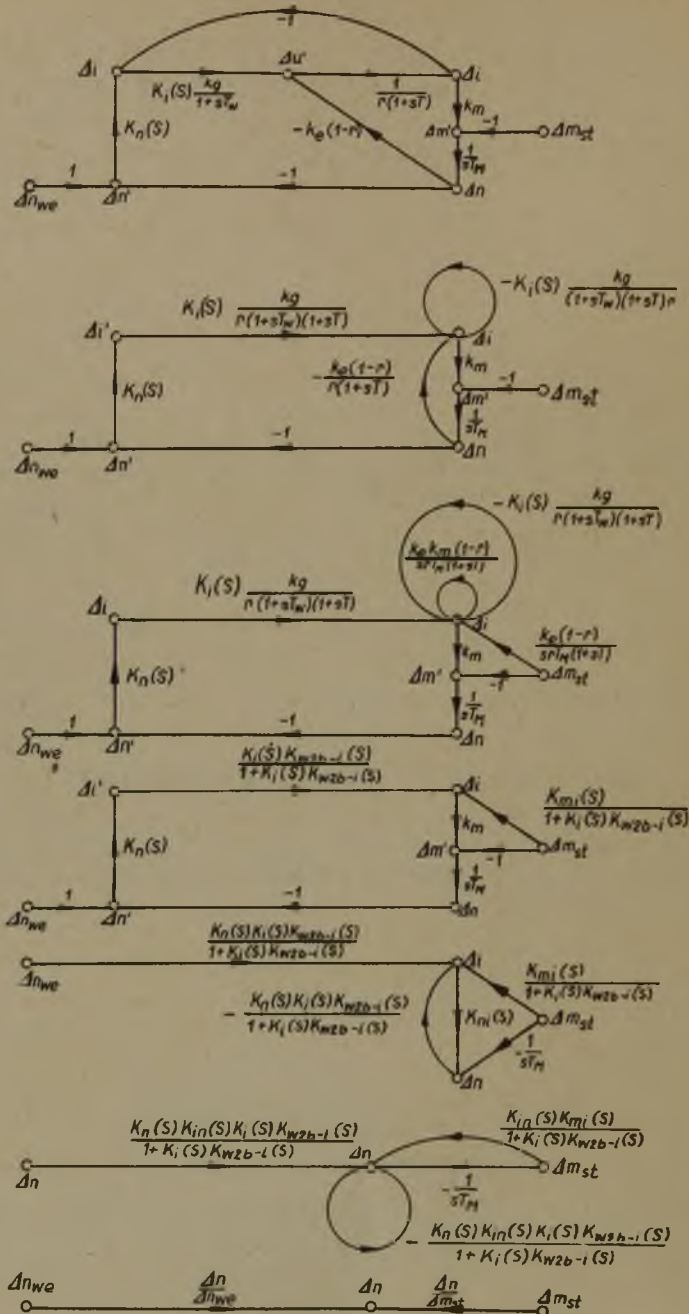
Rys. 6. Schemat przepływu sygnałów

W celu skrócenia zapisu wprowadzono na rys. 7 nowe oznaczenia, a mianowicie:

$$K_n(s) = K_{wn}(s) \quad (9)$$

$$K_i(s) = K_{wi}(s)K_{us}(s)K_{pr}(s) \quad (10)$$

$$K_{in}(s) = \frac{\Delta n}{\Delta i} = \frac{k_m}{sT_M} \quad (11)$$



Rys. 7. Poszczególne fazy upraszczania schematu przepływu sygnałów

$$K_{wzb-i}(s) = \frac{\Delta i}{\Delta u_w} = \frac{k_g}{(1+sT_w)} \frac{sT_M}{r(1+sT)sT_M + k_e k_m (1-r)} \quad (12)$$

$$K_{mi}(s) = \frac{\Delta i}{\Delta m_{st}} = \frac{k_e (1-r)}{r(1+sT)sT_M + k_e k_m (1-r)} \quad (13)$$

Ostatecznie funkcja przejścia pomiędzy przyrostem prędkości obrotowej silnika Δn , a przyrostem wielkości zadanej Δn_{we} będzie:

$$\frac{\Delta n}{\Delta n_{we}} = \frac{K_n(s)K_{in}(s) \frac{K_i(s)K_{wzb-i}(s)}{1 + K_i(s)K_{wzb-i}(s)}}{1 + K_n(s)K_{in}(s) \frac{K_i(s)K_{wzb-i}(s)}{1 + K_i(s)K_{wzb-i}(s)}} \quad (14)$$

przy założeniu $\Delta m_{st} = 0$ oraz funkcja przejścia pomiędzy przyrostem prędkości obrotowej silnika Δn , a przyrostem momentu statycznego na wale silnika Δm_{st} , będzie:

$$\frac{\Delta n}{\Delta m_{st}} = - \frac{\frac{1}{sT_M} - \frac{K_{in}(s)K_{mi}(s)}{1 + K_i(s)K_{wzb-i}(s)}}{1 + K_n(s)K_{in}(s) \frac{K_i(s)K_{wzb-i}(s)}{1 + K_i(s)K_{wzb-i}(s)}} \quad (15)$$

Dalsza analiza układu sprowadza się do zbadania stabilności. W tym celu należy rozwiązać dwa równania:

$$1) \quad 1 + K_i(s)K_{wzb-i}(s) = 0 \quad (16)$$

w celu zbadania stabilności obwodu regulacji prądu w obwodzie głównym

$$2) \quad 1 + K_n(s)K_{in}(s) \frac{K_i(s)K_{wzb-i}(s)}{1 + K_i(s)K_{wzb-i}(s)} \quad (17)$$

w celu zbadania stabilności obwodu regulacji prędkości obrotowej.

Na podstawie otrzymanych wyników można zbadać stabilność układu w oparciu o któreś z kryteriów stabilności i w razie potrzeby wprowadzić człony korekcyjne.

Powyżej podano sposób badania własności dynamicznych tylko dla jednego układu. Sposób ten nadaje się jednak do badania własności wszystkich omawianych tu układów.

Rękopis złożono w Redakcji w październiku 1965 r.

LITERATURA

- [1] Bühler H.: Einführung in die Theorie geregelter Gleichstromantrieben. "Birkhäuser Vrl." Basel 1962.
- [2] Heidepriem J.: Automatisierung in der Eisenhüttenindustrie "Elektro-Techn". 1965 Nr 13.
- [3] Levin G.M.: Goldental - Reversnyj ionnyj elektroprivod Izd. "Energija" Moskwa 1964.
- [4] Linckch H.P.: Steuerung für moderne Uferentlader und Platz Brücken "AEG-Mitt". 1965 nr 4.
- [5] Reichmann H.: Halbleiterstromrichter für geregelte Gleichstromantriebe "AEG-Mitt". 1964 nr 5-6.
- [6] Sozonov V.G.: Ionnyj elektroprivod. Izd. "Energija" Moskwa 1965.

СИСТЕМА ЛЕОНАРДА УПРАВЛЯЕМАЯ ПРИ ПОМОЩИ ИОННЫХ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Р е з ю м е

В докладе рассмотрено несколько примеров системы Леонарда, управляемой при помощи ионных преобразователей.

На основании графиков прохождения сигналов был произведен краткий анализ нереверсивной системы Леонарда, управляемой при помощи ионных преобразователей с цепью регулировки вращательной скорости, с цепью регулировки тока якоря электродвигателя.

LEONARD'S SYSTEM CONTROLLED BY THE ION CONVERTERS

S u m m a r y

Description of some examples of the Leonard's system, controlled by the ion-transducers. Based on the diagrams of signals it was shortly analysed the unreversible Leonard's system, controlled by the ion converters with the rotation speed control circuit with the armature current control circuit.