

ANTONI NIEDERLIŃSKI  
Katedra Napędu Elektrycznego

UWAGI O STRUKTURZE UKŁADÓW REGULACJI  
SILNIKÓW ELEKTRYCZNYCH

Streszczenie. Wykazano że każdy układ regulacji silnika elektrycznego jest co najmniej dwuparametrowym układem regulacji o trzech pętlach sprzężenia zwrotnego. Przedstawiono ogólny schemat strukturalny układu regulacji silnika elektrycznego umożliwiający powiązanie często stosowanego w teorii napędu elektrycznego kryterium "stabilności statycznej" z kryterium stabilności dynamicznej. Przedstawiono ogólny schemat strukturalny układu regulacji silnika prądu stałego i silnika asynchronicznego.

Każdą maszynę elektryczną można sprowadzić do tzw. maszyny uogólnionej [1] o ilości cewek zależnej od typu maszyny. Rozpatrzmy przypadek szczególny uogólnionej maszyny o czterech cewkach pokazanej schematycznie na rys.1. Cewki D i Q znajdują się na wirniku maszyny, cewki G i F na stojanie. Maszyna uogólniona z rys.1 odpowiada wprost najczęściej stosowanym w zautomatyzowanym napędzie silnikom prądu stałego i silnikom komutatorowym prądu zmiennego, a korzystając z przekształcenia Parka można do niej sprowadzić również silnik asynchroniczny. Przy pominięciu nasycenia i wyższych harmonicznych maszyna z rys.1 jest opisana następującymi równaniami:

$$U_f = r_f i_f + L_f \frac{di_f}{dt} + M_{df} \frac{di_d}{dt} \quad (1)$$

$$U_d = M_{df} \frac{di_f}{dt} + r_d i_d + L_d \frac{di_d}{dt} + L_q \omega i_q + M_{qg} \omega i_g \quad (2)$$

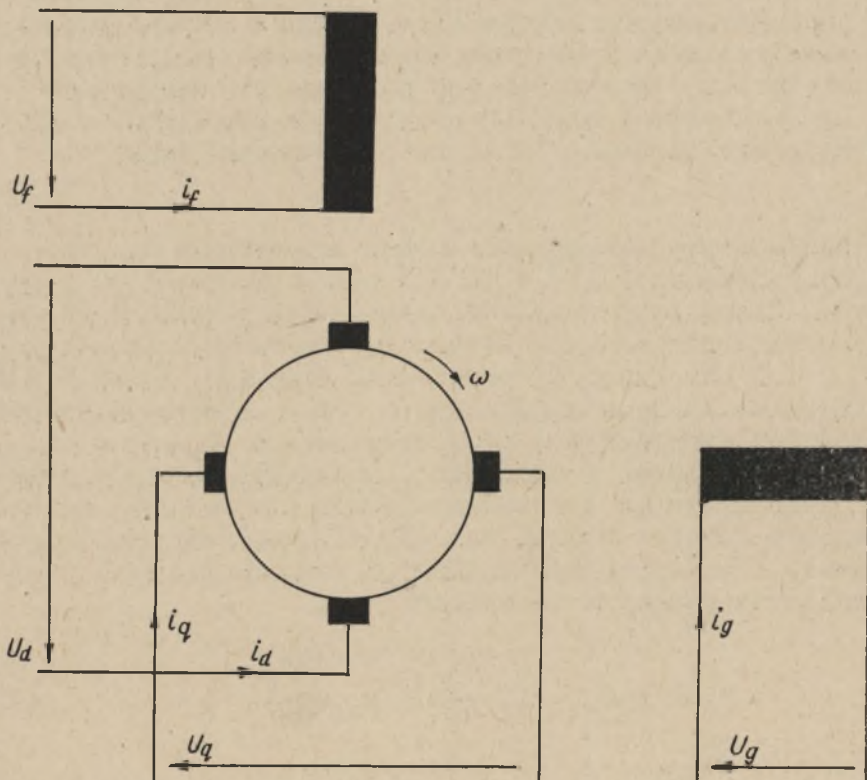
$$U_q = -M_{df} \omega i_f - L_d \omega i_d + r_q i_q + L_q \frac{di_q}{dt} + M_{qg} \frac{di_g}{dt} \quad (3)$$

$$U_g = M_{qg} \frac{di_q}{dt} + r_g i_g + L_g \frac{di_g}{dt} \quad (4)$$

$$M_e = k_m [M_{df} i_q i_f - M_{qg} i_d i_g + (L_d - L_q) i_d i_q] \quad (5)$$

gdzie

- $r_f, r_d, r_g, r_q$  - oporności cewek,
- $L_f, L_d, L_g, L_q$  - całkowite indukcyjności cewek,
- $M_{df}, M_{qg}$  - indukcyjności wzajemne,
- $M_e$  - moment elektryczny silnika,
- $\omega$  - prędkość obrotowa silnika.



Rys.1. Schemat maszyny uogólnionej

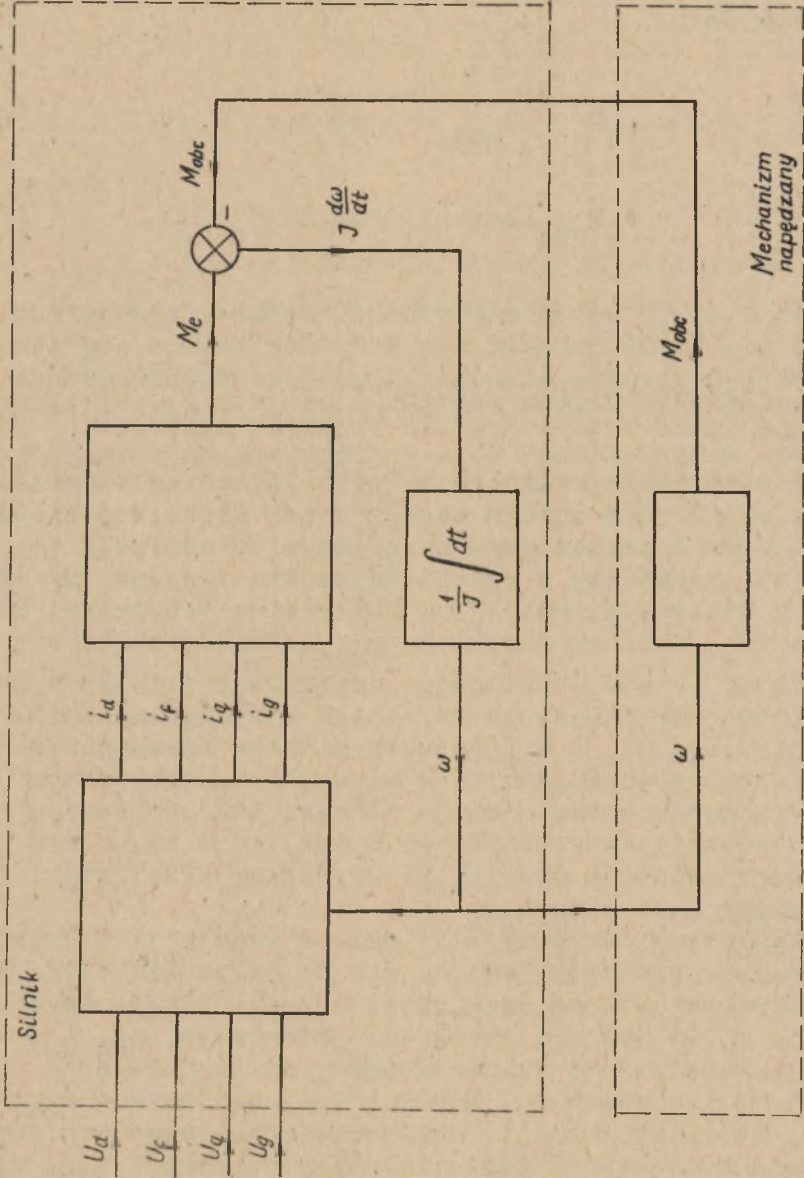
Niech silnik uogólniony z rys.1 napędza mechanizm dający moment obciążenia  $M_{obc} = f(t, \omega)$ . Oznaczając przez  $J$  wypadkowy moment bezwładności układu można napisać dodatkową zależność:

$$M_e - M_{obc} = J \frac{d\omega}{dt} \quad (6)$$

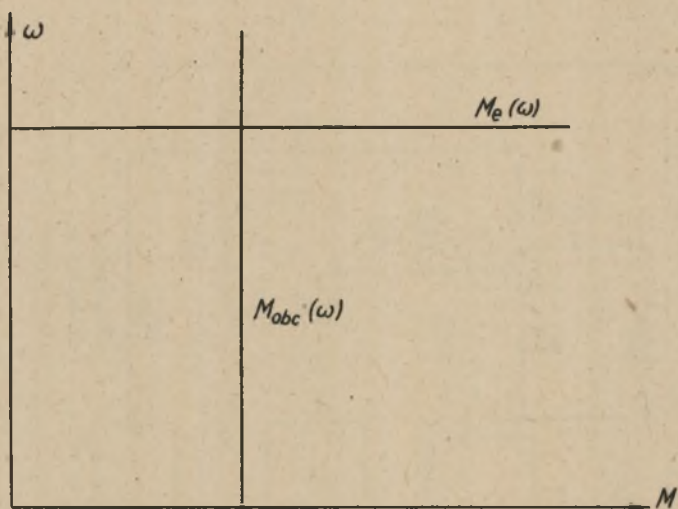
$$M_{obc} = f(t, \omega) \quad (7)$$

Równaniom 1,2...7 odpowiada schemat strukturalny przedstawiony na rys.2. Schemat ten jest fizykalnie poprawną interpretacją silnika elektrycznego jako elektromechanicznego astatycznego układu regulacji momentu  $M_e$ . Wielkością nastawioną" jest w tym układzie prędkość obrotowa, a ściśle biorąc wielkość sił elektromotorycznych rotacji indukowanych w stojanie i wirnika silnika. Zagadnienie stabilności układu z rys.2 jest znanym zagadnieniem stabilnej współpracy silnika z mechanizmem napędzanym. Stabilność tę określa się zazwyczaj w oparciu o często zawodne [2] [3] kryterium statyczne pomijające dynamiczne zależności między  $\omega$  a  $M_e$  oraz między  $\omega$  a  $M_{obc}$ . Kryterium to nie umożliwia np. oceny stabilności współpracy silnika synchronicznego napędzającego mechanizm o stałym momencie obciążenia (rys.3), a w przypadku silnika bocznikowego prądu stałego z odzwbudzającym dozwojeniem szeregowym współpracującego z takim samym mechanizmem napędzanym (rys.4) prowadzi do błędnych wniosków, gdyż układ ten wbrew przewidywaniom opartym na kryterium stabilności "statycznej" jest stabilny.

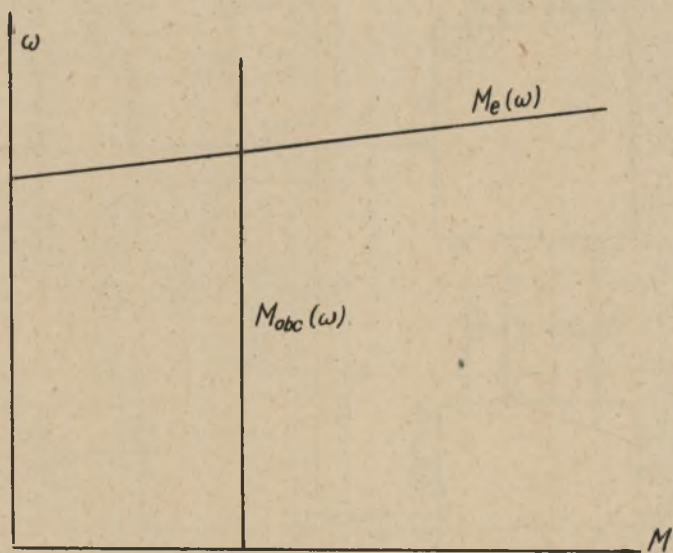
Ogólny schemat strukturalny układu regulacji silnika elektrycznego przedstawiono na rys.5. Układ ten jest wieloparametrowym układem regulacji. W najprostszym wypadku istnienia tylko jednego sprzężenia zwrotnego, np. od prędkości  $\omega$  będzie to dwuparametrowy układ regulacji prędkości  $\omega$  i momentu  $M_e$ . Schemat ten umożliwia w oparciu o metody teorii regulacji powiązanie rozpatrywanych dotąd oddzielnie zagadnienia "stabilności statycznej" tzn. stabilnej współpracy silnika z mechanizmem napędowym oraz zagadnienia stabilności dynamicznej układu regulacji.



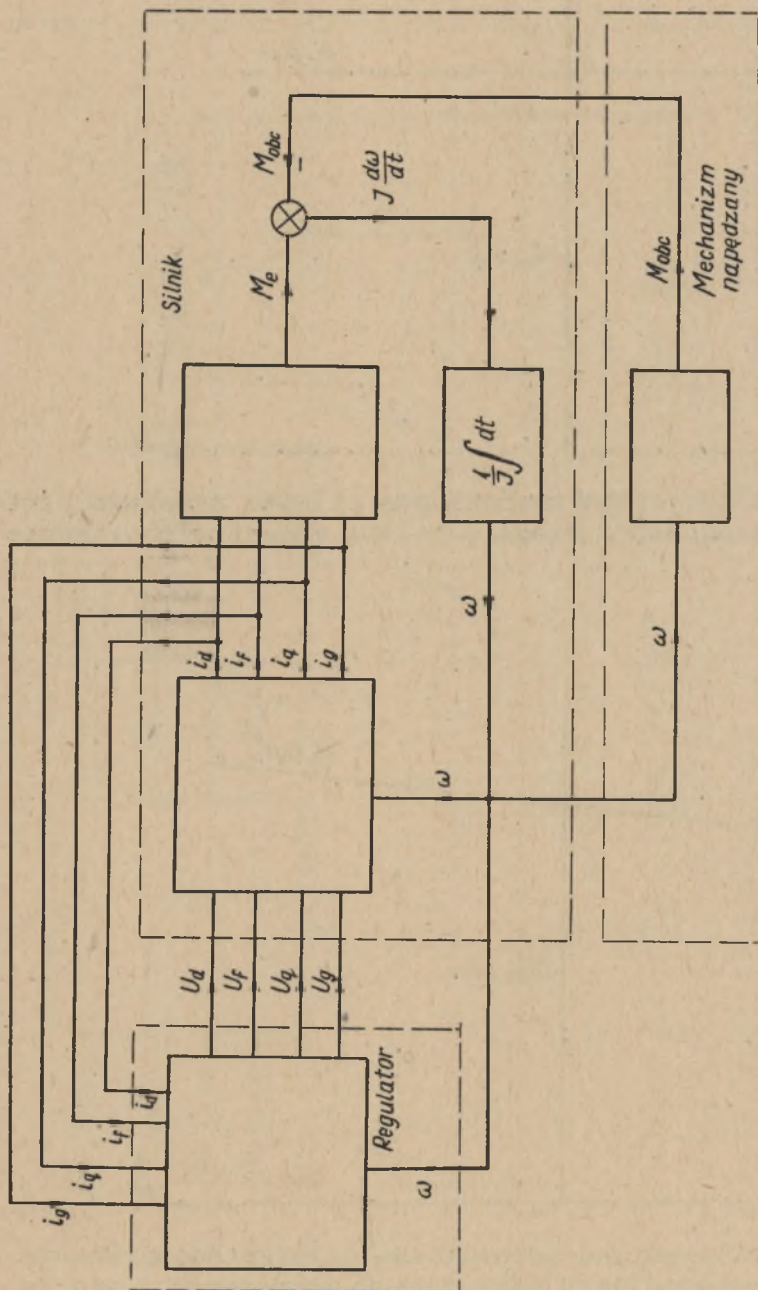
Rys.2. Schemat strukturalny układu maszyna uogólniona -  
mechanizm napędzany



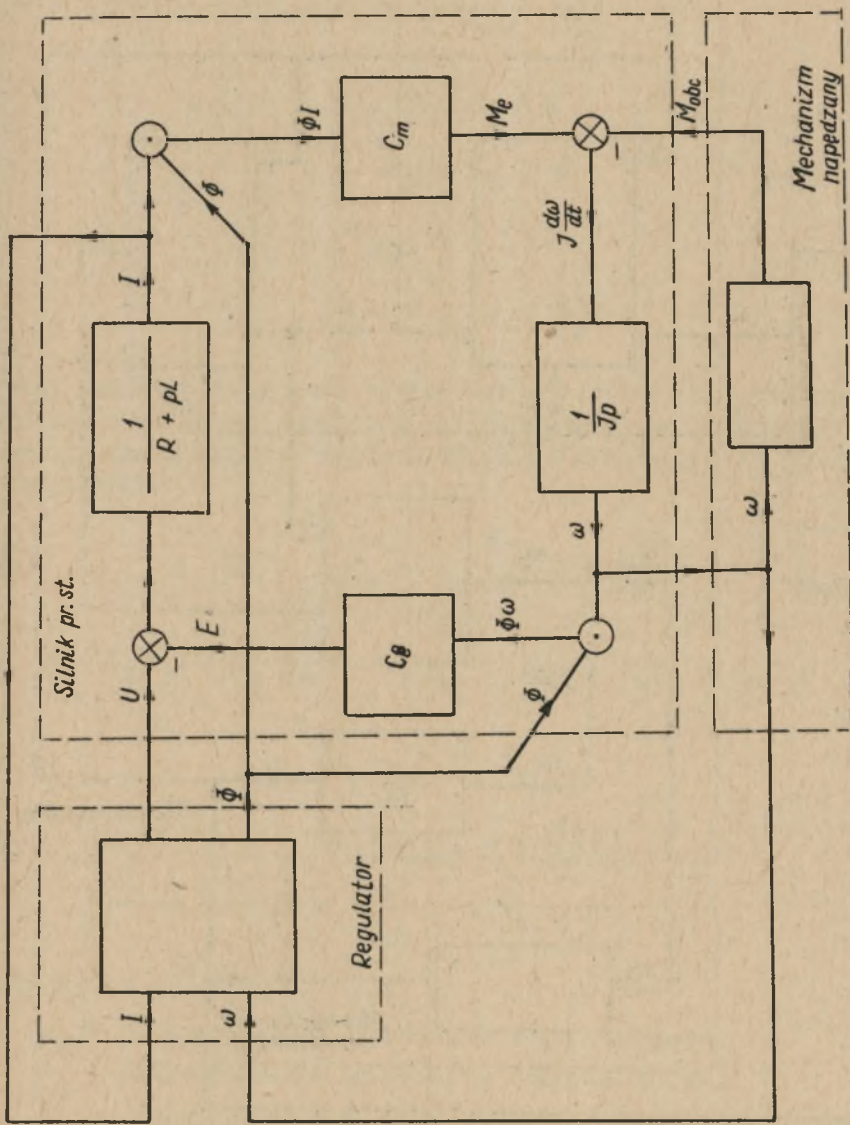
Rys.3. Charakterystyka mechaniczna silnika synchronicznego i mechanizmu napędzanego o stałym momencie obciążenia



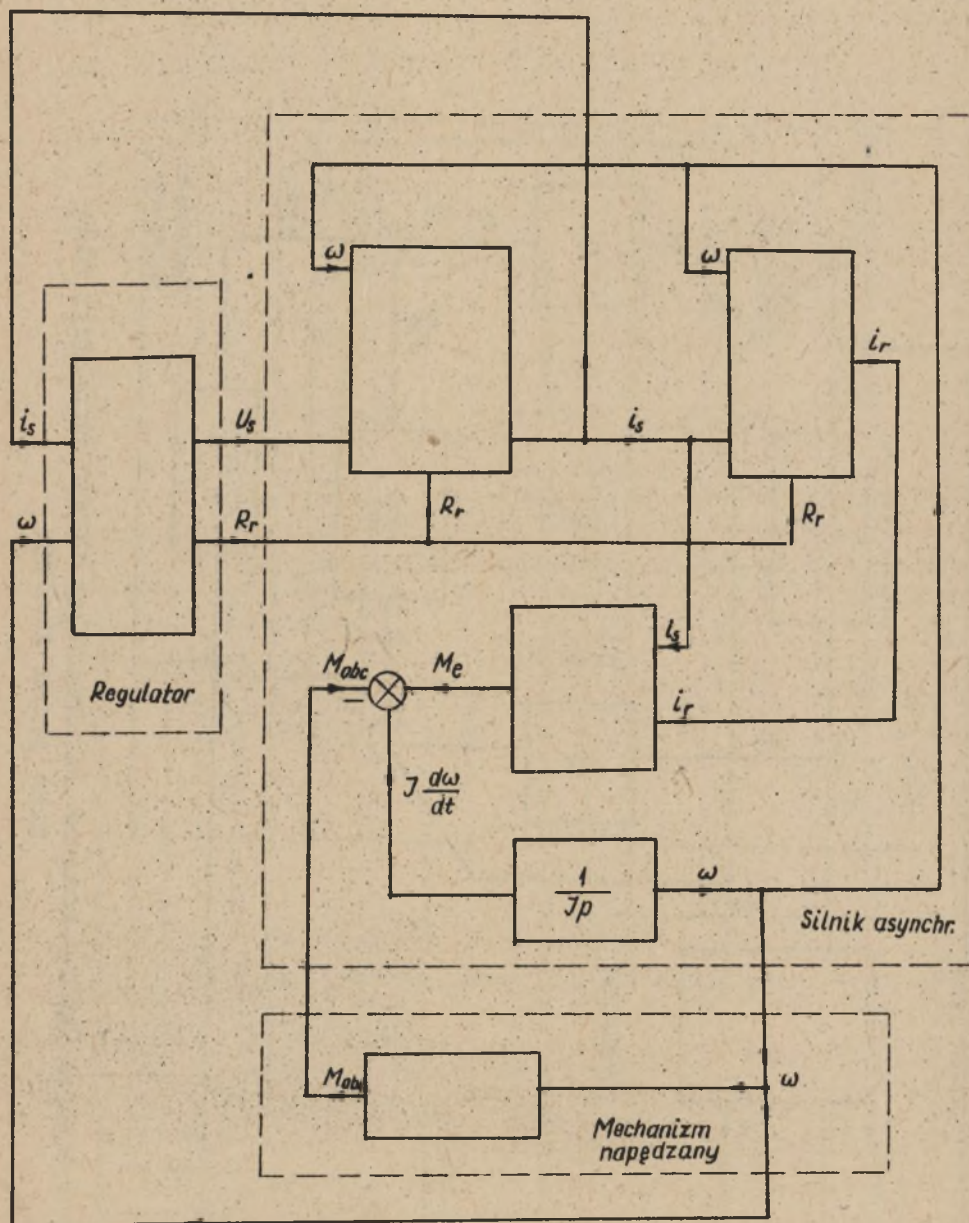
Rys.4. Charakterystyka mechaniczna silnika bocznikowego pr.st. z odwzbuźniającym dozwojeniem szeregowym i mechanizmu napędzanego o stałym momencie obciążenia



Rys.5. Ogólny schemat strukturalny układu regulacji silnika uogólnionego



Rys.6. Ogólny schemat strukturalny układu regulacji silnika prądu stałego



Rys.7. Ogólny schemat strukturalny układu regulacji poślizgu silnika asynchronicznego



Przykładem szczególnym układu regulacji z rys.5 jest przedstawiony na rys.6 ogólny schemat strukturalny układu regulacji silnika prądu stałego opisanego równaniami:

$$U = E + IR + L \frac{dI}{dt} \quad (8)$$

$$E = C_e \Phi \omega \quad (9)$$

$$M_e = C_m I \Phi \quad (10)$$

$$M_{obc} = f(t, \omega) \quad (11)$$

$$M_e - M_{obc} = J \frac{d\omega}{dt} \quad (12)$$

oraz przedstawiony na rys.7 ogólny schemat strukturalny układu regulacji poślizgu silnika asynchronicznego opisanego (w układzie współrzędnych sprzężonym ze stojanem) równaniami:

$$U_s = i_s R_s + L_s \frac{di_s}{dt} + L_m \frac{di_r}{dt} \quad (13)$$

$$0 = i_r R_r + L_m \frac{di_s}{dt} + L_r \frac{di_r}{dt} - j\omega (i_s L_m + i_r L_r) \quad (14)$$

$$M_e = \frac{3}{2} L_m i_r x i_s \quad (15)$$

$$M_e - M_{obc} = J \frac{d\omega}{dt} \quad (16)$$

$$M_{obc} = f(t, \omega) \quad (17)$$

gdzie

$L_s$  - indukcyjność całkowita fazy stojana,

$L_r$  - indukcyjność całkowita fazy wirnika,

$L_m$  - indukcyjność główna jednego uzwojenia fazowego,

$R_s$  - oporność fazy stojana,

- $R_r$  - oporność fazy wirnika,  
 $i_s$  - prąd stojana (wektor przestrzenny),  
 $i_r$  - prąd wirnika (wektor przestrzenny),  
 $u_s$  - napięcie stojana (wektor przestrzenny).

Rękopis złożono w redakcji w maju 1963.

#### LITERATURA

- [1] B. Adkins: The General Theory of Electrical Machines Chapman and Hall, London 1959.
- [2] Л. Гейлер: Электропривод в тяжелом машиностроении. Машигиз 1959.
- [3] A. Leonhard: Elektrische Antriebe. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart 1959.

## О СТРУКТУРЕ РЕГУЛИРОВОЧНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

### С о д е р ж а н и е

Доказано, что каждая система регулировки электродвигателя является не менее двухпараметровой системой регулировки с тремя петлями обратной связи. Представлена общая структурная схема системы регулировки электродвигателя, дающая возможность выявить зависимость часто применяемого в теории электропривода критерия "статической стабильности" с критерием динамической стабильности. Приведена общая структурная схема системы регулирования электропривода постоянного тока и асинхронного двигателя.

## RÉMARQUES CONCERNANT LA STRUCTURE DES SYSTÈMES DE RÉGLAGE DES MOTEURS ÉLECTRIQUES

### R é s u m é

On a démontré que chaque système de réglage du moteur électrique c'est celui à deux paramètres au moins et à trois circuits de la contre-réaction. On a présenté le schéma général structural du système de réglage du moteur électrique qui permet de joindre le critère de "stabilité statique", si souvent appliqué dans la théorie de la commande électrique, au critère de stabilité dynamique. On a présente le schéma structural général du système de réglage du moteur du courant continu et du moteur asynchrone.