

CWICZ Nr 1

UKŁAD NAPĘDOWY Z SILNIKIEM WYKONAWCZYM PRĄDU STAŁEGO STEROWANYM IMPULSOWO Z PRZEKSZTAŁTNIKA TRANZYSTOROWEGO

1.1. Program ćwiczenia

Wykonanie ćwiczenia obejmuje następujący zakres:

- zapoznanie się z silnikiem wykonawczym jego budową i podstawowymi parametrami
- omówienie przekształtnika tranzystorowego do sterowania nawrotnego silnikiem wykonawczym
- wyznaczenie charakterystyk mechanicznych silnika w układzie otwartym i ze sprzężeniem prędkościowym i prądowym
- analiza otrzymanych wyników i poznanie właściwości ruchowych silnika w zastosowaniach do automatyki i robotyki

1.2. Wiadomości podstawowe

Silnik wykonawczy prądu stałego znajduje zastosowanie w układach napędowych automatyki i robotyki. Od tych układów napędowych żąda się dużej szybkości działania, dokładnej stabilizacji wielkości wyjściowych (prędkość obrotowa, kąt obrotu, moment) małych wymiarów, trwałości konstrukcji, zwartej budowy. Układ zasilania i sterowania silnika wykonawczego jest konstruowany pod względem jego zastosowania. Na rys. 1.

przedstawiono schemat zastępczy silnika wykonawczego.

Wzbudzenie takiego silnika stanowią magnesy trwałe co upraszcza ich budowę. Do opisu matematycznego przyjęto następujące oznaczenia:

E - siła elektromotoryczna indukowana w tworniku [V]

I_A - prąd twornika [A]

M_e - moment elektromagnetyczny silnika [Nm]

M_b - moment obciążenia maszyny roboczej [Nm]

ψ - strumień wzbudzenia od magnesów trwałych [Wb]

Ω - prędkość kątowa wału silnika [rad/s]

n - prędkość obrotowa wału silnika [obr/min]

R_A - rezystancja uzwojenia twornika [Ω]

L_A - indukcyjność uzwojenia twornika [H]

J - moment bezwładności silnika lub silnika i maszyny roboczej [kgm^2]

MR – maszyna robocza

Zastosowany w układzie napędowym silnik wykonawczy jest produkcji krajowej i jego dane są następujące:

Typ – PZTK88-35TRR

Moment długotrwały (dla $n = 0$) – 0,55 Nm

Napięcie maksymalne zasilania – 35 V

Prędkość maksymalna 3200 obr/min

Moment maksymalny – 2,8 Nm

Prąd maksymalny – 27 A

Stała momentowa - $k_M * \psi = \frac{M_e}{I_A} = 0,105 \pm 5\% \text{ Nm/A}$

Stała napięciowa - $k_e * \psi = \frac{E}{n} = 11V / 1000 obr / min$

Rezystancja twornika - $R_A = 0,56 \Omega$

Indukcyjność twornika - $L_A = 0,9 mH$

Moment bezwładności - $J = 1,45 * 10^{-4} kgm^2$

Na wspólnym wale z twornikiem silnika jest umieszczona prądnica tachometryczna o stałej napięciowej identycznej jak twornika silnika oraz jeszcze jeden twornik małej maszyny elektrycznej-rezolvera – służącego do określania położenia wirnika. W jednej obudowie, na jednym wale oprócz twornika silnika znajduje się więc urządzenie do pomiaru prędkości obrotowej i urządzenie do pomiaru kąta obrotu wału silnika (położenia). Ułatwia to i upraszcza konstrukcję układu napędowego ze sprzężeniem prędkościowym i położeniowym. Podstawową charakterystyką układu napędowego jest zależność prędkości obrotowej (lub kątowej) wału silnika od momentu rozwijanego przez twornik silnika. Ze względu na to, że obie te wielkości opisują mechanikę układu zależność tę nazwano charakterystyką mechaniczną. Dla silnika prądu stałego ma ona postać matematyczną:

$$\Omega = \frac{U_A}{C} - \frac{R_A * M_e}{C^2} \quad (1.1)$$

Moment elektromagnetyczny silnika (M_e) zależy wprost proporcjonalnie od prądu twornika (I_A):

$$M_e = C * I_A \quad (1.2)$$

Na tej podstawie otrzymuje się inną postać charakterystyki mechanicznej często stosowaną w praktyce

$$\Omega = \frac{U_A}{C} - \frac{R_A I_A}{C} \quad (1.3)$$

Stała C jest równa:

$$C = k_E * \psi [Vs / rad] = k_m \psi [Nm / A] \quad (1.4)$$

Ponieważ:

$$\Omega = \frac{\pi n}{30} \quad (1.5)$$

można charakterystykę mechaniczną opisywać używając prędkości obrotowej zamiast kątowej po odpowiednim przeliczeniu stałych.

Podstawowe zjawiska dynamiczne (zależność prędkości kątowej i momentu od czasu) można opisać przy pomocy transmitancji:

$$\frac{\Delta\Omega(s)}{\Delta U_A(s)} = \frac{1}{C(s^2 T_A T_m + s T_m + 1)} \quad (1.6)$$

$$\frac{\Delta\Omega(s)}{\Delta M_b(s)} = -\frac{R_A(1+sT_A)}{C^2(s^2T_A T_m + sT_m + 1)} \quad (1.7)$$

Pierwsza, opisuje zależność pomiędzy przyrostem napięcia ΔU_A jako wymuszenia a wielkością wyjściową w postaci przyrostu prędkości kątowej $\Delta\Omega$, przy momencie obciążenia $M_b = 0$.

Druga transmitancja opisuje zależność pomiędzy przyrostem prędkości obrotowej jako odpowiedzią na zakłócenia ΔM_b w postaci zmiany momentu obciążenia, przy stałej wartości napięcia zasilającego twornik, U_A .

Stałe czasowe T_A i T_m są określone następująco:

$$T_A = \frac{L_A}{R_A} [s] - \text{elektromagnetyczna stała czasowa silnika}$$

$$T_m = \frac{JR_A}{C^2} [s] - \text{mechaniczna stała czasowa silnika}$$

Z powyższych zależności wynika, że silnik wykonawczy prądu stałego z magnesami stałymi jest elementem zmieniającym energię elektryczną na mechaniczną a sterowanie tej przemiany dokonuje się poprzez sterowanie napięciem twornika. W warunkach dynamicznych o szybkości regulowanych wielkości wyjściowych (prędkość kątowa, moment) decydują dwie stałe czasowe których wartości mówią o tym czy silnik jest członem aperiodycznym drugiego rzędu, czy też – co w praktyce występuje bardzo rzadko – członem oscylacyjnym drugiego rzędu.

1.3. Tranzystorowy przekształtnik jako źródło regulowanego napięcia stałego.

Wymaganie stawiane układom napędowym stosowanym w automatyce i robotyce doprowadziły do powstania konstrukcji przekształtnika tranzystorowego, który stałe napięcie nieregulowane zamienia na stałe o regulowanej średniej wartości. Regulowaną średnią wartość napięcia uzyskuje się poprzez okresowe załączanie i odłączanie napięcia stałego nieregulowanego, do odbiornika. W tym przypadku odbiornikiem jest silnik wykonawczy, którego schemat ideowy wraz ze schematem obwodu głównego tranzystorowego przekształtnika został przedstawiony na rys. 2. Tranzystor T jest załączony w okresie czasu $0-t_1$ i zablokowany w okresie czasu t_1-t_2 . Do obwodu twornika doprowadzane jest napięcie stałe U lub jest on zawierany przez diodę D gdy tranzystor T jest zablokowany a napięcie indukowane:

$$L_A \frac{dI_A}{dt} \quad (1.8)$$

jest większe od siły elektromagnetycznej:

$$E = k_E \psi * \Omega \quad (1.9)$$

Na rys. 3a został przedstawiony przebieg czasowy napięcia doprowadzanego do twornika. Średnia wartość tego napięcia wynosi

$$U_{sr} = U \frac{t_1}{t_2} = \varepsilon U \quad (1.10)$$

Ponieważ częstotliwość powtarzania tych impulsów jest stała i wynosi

$$f_1 = \frac{1}{T_i} \quad (1.11)$$

przy czym:

$$T_i = t_2 \quad (1.12)$$

a zamienia się czas załączenia tranzystora T w zakresie

$$0 \leq t_1 \leq T_i \quad (1.13)$$

więc

$$0 \leq \varepsilon \leq 1 \quad (1.14)$$

Wielkość ε nazywa się wypełnieniem. Wartość U_{sr} zależy od wypełnienia i zmienia się w granicach

$$0 \leq U_{sr} \leq U \quad (1.15)$$

Opisana wyżej metoda sterowania napięciem zasilania silnika prądu stałego nosi nazwę impulsowej i może polegać także na przyjęciu stałej wartości ε a regulacji częstotliwości f_i . Jednak najczęściej stosuje się regulację szerokości impulsu przy stałej częstotliwości impulsowania.

Przebieg prądu twornika został przedstawiony na rys. 3b. Zależność tego prądu od czasu wynika z różnicy napięć U-E oraz wartości R_A , L_A i czasu T_i .

Wartość okresu impulsowania dobiera się tak aby

$$T_i \ll T_A \quad (1.16)$$

przy czym należy pamiętać, że straty mocy w tranzystorze kluczującym T rosną wraz ze wzrostem częstotliwości

$$f_i = \frac{1}{T_i} \quad (1.17)$$

Prawidłowo dobrana wartość częstotliwości f_i umożliwi ciągłość prądu twornika w całym zakresie obciążeń. Dzięki temu optymalizuje się straty mocy w silniku a charakterystyki mechaniczne mają postać:

$$\Omega = \frac{\varepsilon U - R_A I_{sr}}{C} \quad (1.18)$$

Przebiegi tych charakterystyk w zależności od ε zostały przedstawione na rys. 4. Moment elektromagnetyczny silnika określony jako średnia jego wartość ma postać:

$$M_e = C I_{sr} \quad (1.19)$$

Krzywą przerywaną zaznaczono zakres charakterystyk mechanicznych kiedy prąd twornika nie jest ciągły (w zakresie czasu $t_1 - t_2$ wartość prądu spada do zera).

W zastosowaniach praktycznych w robotyce i automatyce takie charakterystyki mechaniczne mają wadę, że ze wzrostem obciążenia momentem, prędkość kątowa (obrotowa) maleje a prąd silnika może osiągnąć dużą wartość (większą od dopuszczalnej) przy prędkości równej zeru (zatrzymanie silnika dużym momentem obciążenia). W celu uniknięcia tych wad stosuje się ujemne sprzężenia zwrotne: prędkościowe i prądowe. Regulowany przekształtnik tranzystorowy umożliwi zbudowanie układu napędowego z regulatorem prędkości i prądu, które umożliwiają uzyskanie charakterystyk mechanicznych o przebiegach jakie zostały przedstawione na rys. 5.

Drugą korzyścią z zastosowania sprzężeń zwrotnych jest skrócenie czasów przejściowych przy zadawaniu prędkości obrotowej i zmianach momentu obciążenia.

1.4. Opis stanowiska laboratoryjnego.

Na rys. 6 został przedstawiony schemat ideowo-blokowy stanowiska laboratoryjnego. Transformator 1T wraz z prostownikiem diodowym PD i filtrem pojemnościowym C1, C2 stanowi źródło napięcia stałego o wartościach 8V, 22V, 36 V (regulowanych skokowo poprzez przełącznik Pr – przy pomocy odczepów transformatora 1T).

Napięcie to zasila czoper CP (impulsator tranzystorowy) w którym pracuje zawsze parami 2 tranzystory, co umożliwia dwukierunkowe zasilanie silnika wykonawczego M. Częstotliwość impulsowania wynosi 8 kHz a zmiana kierunku napięcia wyjściowego jest realizowana poprzez blokowanie tranzystorów kluczujących, chwilową przerwę czasu pracy aby prąd wyjściowy osiągnął wartość równą zero, i rozpoczęcie kluczenia przez drugą parę tranzystorów dającą na wyjściu czopera CP przeciwny kierunek napięcia.

Sterowanie tranzystorów czopera odbywa się ze sterownika St1 którego sygnał zadający może pochodzić z potencjometrów 1R_p i 2R_p lub z regulatora prądu RI (układ otwarty – przełącznik 1S pozycja – 0; układ zamknięty – przełącznik 1S pozycja Z). Do obciążenia silnika wykonawczego służy hamownica mechaniczna (F1, F2) lub elektryczna z maszyną prądu stałego G zasilaną z przekształtnika tyrystorowego PS sterowanego potencjometrem 3 R_p. Kierunek obciążenia wybiera się przełącznikiem 5S.

Prądnice tachometryczne 1 GT i 2GT służą do sprzężenia prędkościowego i pomiaru prędkości obrotowej. Bocznik 1 R_b umożliwia tworzenie sygnału sprzężenia prądowego a bocznik 2 R_b służy do obserwacji. Dławiki L1, L2 ograniczają stromości narastania prądu twornika silnika. Przełącznik 2S służy do blokowania regulatora prędkości (W) lub do pracy ze sprzężeniami (Z). Przełącznik 3S umożliwia ograniczenie prądu twornika (I_{Ag}) na poziomie wartości 6A i 11A co daje ograniczenie momentu silnika na charakterystykach mechanicznych układu zamkniętego (M_g).

1.5 Wykonanie ćwiczenia.

Po zaznajomieniu się ze stanowiskiem pomiarowym wykonać pomiary umożliwiające zdjęcie charakterystyk mechanicznych:

- 1) Silnik bezpośrednio zasilany jest ze źródła napięcia o wartości 8 V, 22 V, 36 V
- 2) Silnik zasilany jest z czopera CP, dla dwu kierunków obrotów i kilku wartości ε .
- 3) Silnik zasilany jest z czopera w układzie zamkniętym ze sprzężeniem prędkościowym i prądowym.

Obciążenie silnika zmieniać w ten sposób aby wartość prądu twornika zmieniała się od 0 do 5A (przynajmniej 5 punktów).

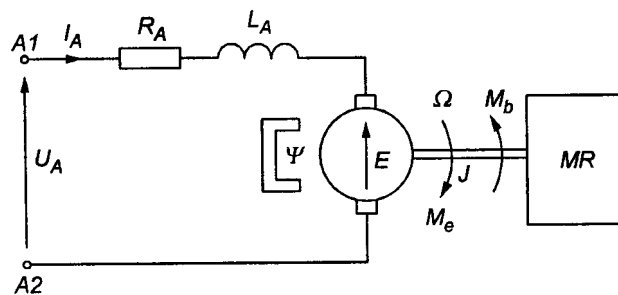
Podczas wykonywania pomiarów zaobserwować przebiegi napięcia i prądu twornika silnika dla kilku wartości ε i obciążenia momentem.

Przy pomocy przełącznika 4S zaobserwować czas nawrotu silnika w układzie otwartym i zamkniętym dla tych samych wartości zadanej prędkości w lewo i prawo.

1.6. Sprawozdanie.

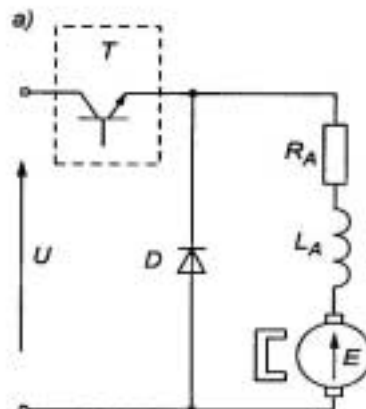
W sprawozdaniu należy podać:

- schemat uproszczony stanowiska pomiarowego
- charakterystyki mechaniczne $\Omega = f(M)$
- przebiegi prądów i napięć jeżeli były rejestrowane
- wnioski dotyczące właściwości statycznych i dynamicznych układu napędowego

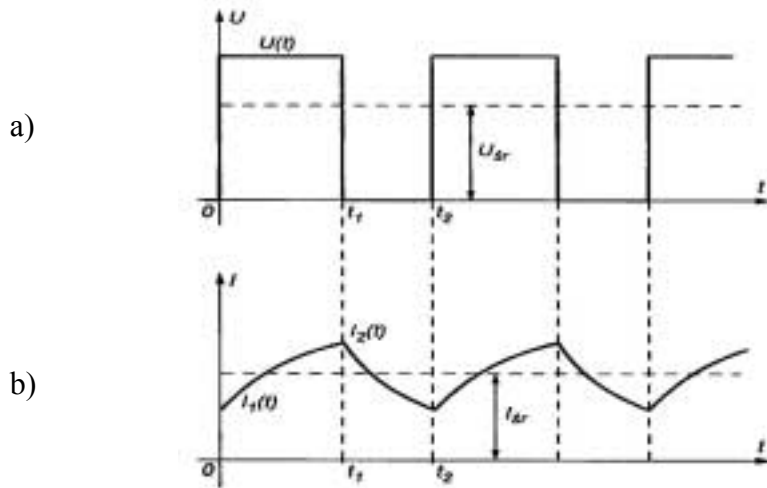


Rys. 1.

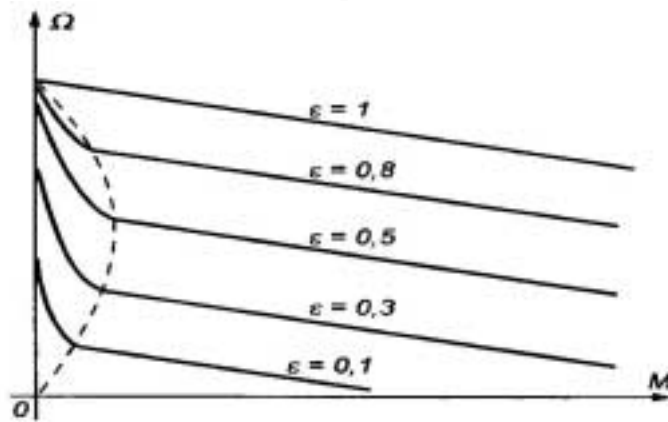
Schemat ideowo-blokowy układu napędowego z silnikiem wykonawczym prądu stałego.



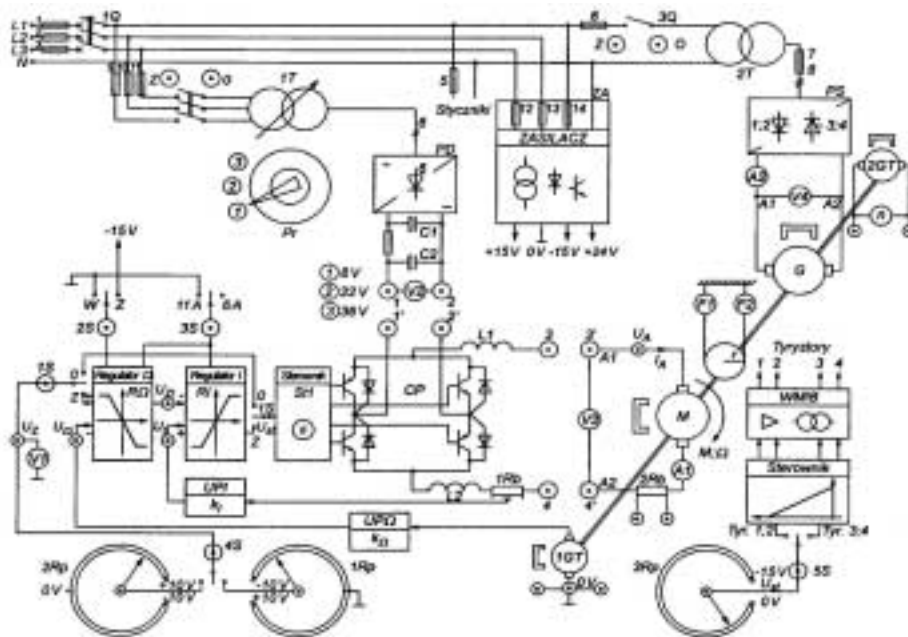
Rys. 2. Schemat ideowy silnika wykonawczego zasilanego z jednokierunkowego czopera tranzystorowego.



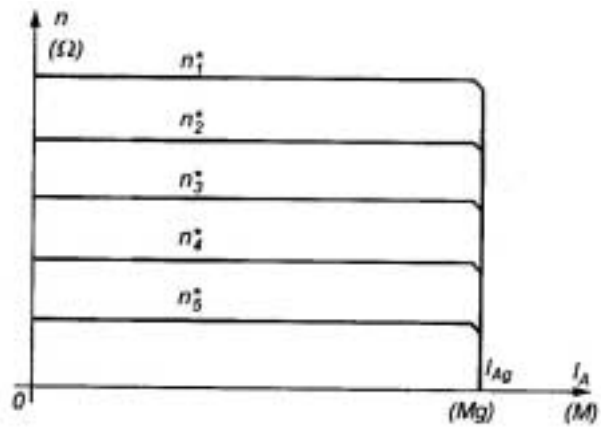
Rys. 3. Przebieg napięcia twornika (a) i prądu twornika (b) silnika wykonawczego zasilanego z czopera.



Rys. 4. Charakterystyki mechaniczne silnika wykonawczego zasilanego z czopera.



Rys. 5. Schemat ideowo-blokowy laboratoryjnego układu napędowego z silnikiem wykonawczym zasilanym z dwukierunkowego czopera (nawrotnego).



Rys. 6. Charakterystyki mechaniczne silnika wykonawczego z ujemnymi sprzężeniami zwrotnymi-prędkościowymi i prądowymi.