

Ćwiczenie Nr 3a  
**BADANIE SILNIKA SZEREGOWEGO PRĄDU STAŁEGO**  
Autor: S. Osowski

**1. Cel ćwiczenia**

Poznanie dynamiki silnika szeregowego prądu stałego w różnych warunkach pracy. Badania będą przeprowadzone przy użyciu programu SIMULINK.

**2. Obiekt badań**

Silnik szeregowy zasilany jest ze źródła napięcia stałego  $u$  poprzez rezystancję dodatkową  $R_d$  i indukcyjność dodatkową  $L_d$  służące do ograniczenia prądu w stanach dynamicznych. Równania silnika mają następującą postać

$$u = \frac{d\psi(i)}{dt} + L_d \frac{di}{dt} + i(R_d + R_s) + e + \Delta u \quad (1)$$

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_e - M_m$$

przy czym  $e = k_e \omega \psi(i)$ ,  $M_e = k_m i \psi(i)$ ,  $\omega = \frac{2\pi n}{60}$  ( $n$  – obroty na minutę). W zależności od przyjętego modelu

indukcyjności otrzymać można różne modele silnika. Typowe parametry silnika przyjętego w badaniach:

$$P_n = 23000 \text{ W}$$

$$U_n = 220 \text{ V}$$

$$I_n = 120 \text{ A}$$

$$n_n = 660 \text{ obr/min}$$

$$\eta = 87\% \text{ (sprawność)}$$

$$\psi_n = 3.3 \text{ Wb}$$

$$\Delta u = 2 \text{ V}$$

$$R_s = 0.175 \Omega$$

$$J = 2.5 \text{ kgm}^2$$

$$\omega_n = 2\pi n_n / 60 = 69.08$$

$$k_e = \frac{u - \Delta u - I_n R_s}{\omega_n \psi_n} = 0.864$$

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n} = 332.94 \text{ Nm}$$

$$k_m = \frac{M_n}{I_n \psi_n} = 0.841$$

**2.1 Model liniowy krzywej magnesowania**

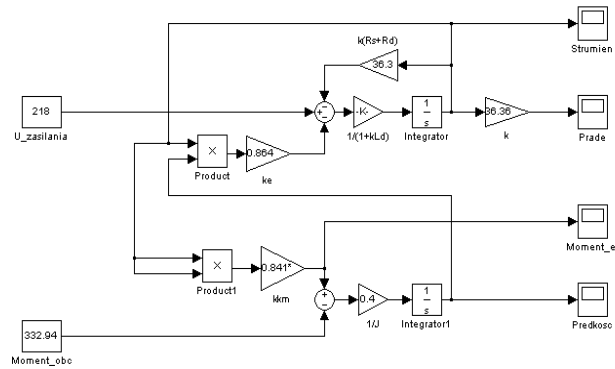
W modelu tym przyjmuje się zależność liniową między prądem i strumieniem  $i = k\psi$  (dla silnika oblicza się:  $k = I_n / \psi_n$ , gdzie  $I_n$  – prąd znamionowy,  $\psi_n$  – strumień znamionowy). Przy takim założeniu równania stanu przyjmują następującą postać normalną.

$$\frac{d\psi}{dt} = \frac{1}{1 + kL_d} [(u - \Delta u) - k_e \omega \psi - k(R_s + R_d)\psi]$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J} [k_m k \psi^2 - M_m] \quad (2)$$

$$i = k\psi$$

Rys. 1 przedstawia model silnika szeregowego o liniowej krzywej magnesowania w Simulinku (plik **sil\_szer1.mdl**)



Rys. 1 Model silnika szeregowego przy liniowej krzywej magnesowania

### 2.1 Model nieliniowy krzywej magnesowania

W modelu tym przyjmuje się zależność nieliniową między prądem i strumieniem  $i = a\psi + b\psi^3$  (typowe wartości dla silników prądu stałego:  $a=10.23$ ,  $b=2.4$ ). Przy takim założeniu równania stanu przyjmują następującą postać normalną.

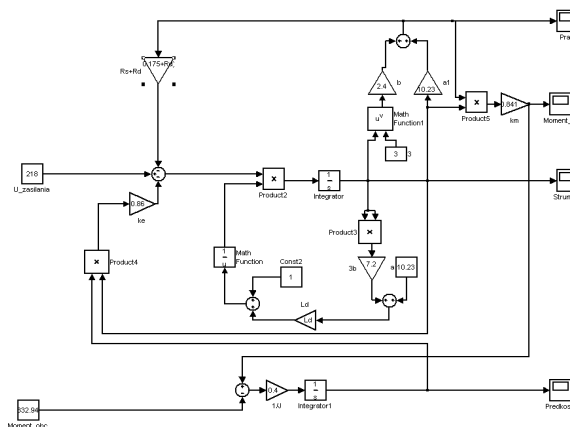
$$\frac{d\psi}{dt} = \frac{1}{1 + L_d(a + 3b\psi^2)} \left[ (u - \Delta u) - k_e \omega \psi - (R_s + R_d)(a\psi + b\psi^3) \right]$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J} \left[ k_m \psi (a\psi + b\psi^3) - M_m \right] \quad (3)$$

$$i = a\psi + b\psi^3$$

$$M_e = k_m \psi (a\psi + b\psi^3)$$

Rys. 2 przedstawia model w Simulinku silnika szeregowego o nieliniowej krzywej magnesowania (plik `sil_szer2.mdl`).



Rys. 2 Model silnika szeregowego uwzględniający nieliniowość krzywej magnesowania

### 3. Program badań

Badania dotyczyć będą różnych stanów dynamicznych silnika prądu stałego przy liniowym i nieliniowym modelu krzywej magnesowania. W obu modelach założono, że wartości dodatkowej rezystancji  $R_d$  i indukcyjności  $L_d$  są zadawane w polu roboczym Matlaba. Podstawowe badania przeprowadzić na modelu nieliniowym, ograniczając badania na modelu liniowym do rozruchu silnika. W szczególności zbadać:

- 1) rozruch silnika przy różnych wartościach momentu obciążenia, w szczególności równego zero)
- 2) zmiany momentu obciążenia w trakcie pracy silnika
- 3) zmiany wartości napięcia zasilającego przy różnych wartościach momentu obciążenia
- 4) wyłączenie napięcia zasilającego silnika przez przyjęcie zasilania równego zero (hamowanie)

Przykładowe wartości, które mogą być użyte w symulacjach:

- start silnika przy  $M_z = 0$  i różnych wartościach  $M_z$  (np.  $M_n$ ,  $2M_n$ ,  $5M_n$ )
- zmiana  $M_z$  przy ustalonych obrotach i stałym napięciu zasilania (np.  $M_z$  równy  $0.5M_n$ ,  $1.5M_n$ ,  $5M_n$ )
- zmiana napięcia zasilania przy  $M_z = 0$  i  $M_z$  różnym od zera

- zmien napięcie zasilania do zera (hamowanie elektromagnetyczne) przy  $M_z = 0$  i  $M_z$  różnym od zera (obciążenie aktywne)

5) Zbadać wpływ różnych wartości  $L_d$  i  $R_d$  (obie wartości równe zero, wartości  $L_d$  różne od zera przy zerowych wartościach  $R_d$ , wartości  $R_d$  różne od zera przy zerowych wartościach  $L_d$ , niezerowe wartości obu parametrów) na obserwowane przebiegi w silniku. Wyniki badań dotyczące startu silnika przy obciążeniu znamionowym zamieścić w tabeli 1 i tabeli 2.

Tabela 1 Wpływ dodatkowej rezystancji rozruchowej na pracę silnika szeregowego ( $L_d=0$ )

$R_d$	0	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4
$\Omega_{ust}$						
$I_{ust}$						
Czas stanu nieustalonego						

Tabela 2 Wpływ dodatkowej indukcyjności rozruchowej na pracę silnika szeregowego ( $R_d=0$ )

$R_d$	0	0.1H	0.2H	0.3H	0.4H	0.5H
$\Omega_{ust}$						
$I_{ust}$						
Czas stanu nieustalonego						

6) Dobrać tak minimalną wartość  $R_d$  i maksymalną  $L_d$  (obie wartości jednocześnie różne od zera) aby maksymalny prąd rozruchowy przy znamionowym obciążeniu nie przekroczył 2-krotnej wartości prądu znamionowego a czas stanu nieustalonego nie przekraczał 2-krotnej wartości tego czasu uzyskanej przy braku elementów dodatkowych. Zarejestruj przebiegi prędkości, prądu i momentu elektromagnetycznego dla potrzeb sprawozdania.

**Wyniki zapisane w tabelach należy zaprezentować w formie wykresów.**