

Ćwiczenie EA6 Silnik skokowy reluktancyjny

Program ćwiczenia:

1. Wyznaczenie maksymalnej częstotliwości rozruchowej przy $T_{obc} = 0$, dla pracy całoskokowej i półskokowej; rejestracja przebiegów czasowych prądów pasm i położenia wirnika przy obu rodzajach pracy i różnych prędkościach obrotowych silnika
2. Wyznaczenie zależności momentu postojowego silnika od kąta położenia wirnika przy jednym paśmie zasilonym prądem 0.9A
3. Wyznaczenie stałej czasowej pasma metodą rejestracji przebiegu czasowego swobodnego zaniku prądu w paśmie zwartym, przy dwóch położeniach zatrzymanego wirnika: odpowiadającym maksymalnej i minimalnej wartości wyznaczanej stałej czasowej
4. Pomiar rezystancji pasma metodą techniczną prądu stałego z dokładnym pomiarem napięcia, w stanie nagrzanym i w stanie zimnym pasma
5. Obliczenia symulacyjne

Dane znamionowe silnika:

Typ: LD20ACM-25 (prod. *Eastern Air Devices*; odpowiednik LD20ACM-9)

$T_N = 0.247 \text{ Nm}$ (35 oz·in), $I_N = 1.4 \text{ A}$, $U_N = 28 \text{ V}$, $R_{\text{pasma}} = 20 \Omega$, skok 15° , $J = 3.2 \cdot 10^{-6} \text{ kgm}^2$

Literatura:

J.Rusek "Elektrotechnika z elementami napędów", wyd.AGH 1993 r.

R.Sochocki "Mikromaszyny elektryczne", 1996 r.

T.Wróbel „Silniki skokowe”

J.Owczarek i in. "Elektryczne maszynowe elementy automatyki", 1983 r.

www.eadmotors.com - strony producenta badanego silnika

www.mikroma.com - krajowy producent m.in. silników skokowych

www.silniki.pl - oferta silników skokowych, sterowników i osprzętu do nich

Uwagi wykonawcze:

1. Prąd maksymalny pasma silnika nie powinien przekraczać wartości 1A
2. Napięcie stałe zasilające sterownik silnika musi być mniejsze niż 24V (zalecane 21V)
3. Sterownik zatrzymuje silnik pod prądem – dlatego, jeżeli ma być on dłużej nie używany, należy wyłączyć zasilacz sterownika
4. Sterowanie pracą sterownika silnika:

Start/Stop		Kierunek obrotu		
DIS	WAVE	DIR	H/F	
↑↓	↓	↑↓	↓	Skoki 15°
↑↓	↑	↑↓	↓	Skoki 7.5°

Ćwiczenie EA-6

Silnik skokowy reluktancyjny

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zbadanie własności ruchowych silnika skokowego reluktancyjnego (ang. *Switched Reluctance Motor - SRM*), identyfikacja parametrów przyjętego modelu silnika oraz weryfikacja praktycznej przydatności modelu na drodze porównanie wybranych wyników symulacyjnych z odpowiednimi wynikami pomiarowymi.

Badany silnik działa wyłącznie w oparciu o moment elektromagnetyczny reluktancyjny, tj. moment, którego generacja wynika z asymetrii magnetycznej wirnika i ew. stojana. W silniku ćwiczeniowym asymetryczny magnetycznie jest zarówno wirnik jak i stojan. Cewki uzwojenia silnika nawinięte są na 8 zębach stojana (a więc jest ich 8). Każde dwie przeciwległe cewki połączone są szeregowo w jedno pasmo, w taki sposób, że strumienie magnetyczne tych cewek dodają się. Wirnik jest całkowicie bierny, ferromagnetyczny, lity, 6-zębowy. Przełączając prąd w kolejnych pasmach uzyskuje się ciągłą generację momentu i – w konsekwencji – ciągły ruch wirnika – kolejno zasilone pasma przyciągają kolejne pary (przeciwległych) zębów wirnika. Rozmontowany drugi egzemplarz silnika znajduje się na stanowisku ćwiczeniowym.

2. Wykonanie ćwiczenia

Uwagi wykonawcze:

5. Prąd maksymalny pasma silnika nie powinien przekraczać wartości 1A
6. Napięcie stałe zasilające sterownik silnika musi być mniejsze niż 24V (zalecane 21V)
7. Sterownik zatrzymuje silnik pod prądem – dlatego, jeżeli ma być on dłużej nie używany, należy wyłączyć zasilacz sterownika
8. Sterowanie pracą sterownika silnika:

Start/Stop		Kierunek obrotu		
DIS	WAVE	DIR	H/F	
↑↓	↓	↑↓	↓	Skoki 15°
↑↓	↑	↑↓	↓	Skoki 7.5°

Ad. 1

Maksymalną częstotliwość rozruchową silnika należy wyznaczyć przez nastawienie żądanej częstotliwości na generatorze i następnie próbę startu silnika z tą częstotliwością – silnik albo ruszy albo nie. Wadą takiego podejścia jest niemożność wychwycenia sytuacji kiedy silnik rusza, ale podczas pracy gubi niektóre skoki. Wartość maksymalnej częstotliwości rozruchowej należy zmierzyć jako częstotliwość przełączeń prądu pasma A lub B, obserwowanych z użyciem pakietu *DasyLab* (plik *Srm1.dsb*).

Rejestracje przebiegów czasowych prądów pasm A, B należy przeprowadzić dla pracy całoskokowej i półskokowej, dla każdego sterowania przy dwóch istotnie różnych prędkościach obrotowych:

1. na tyle małej żeby prąd miał przebieg czasowy prawie prostokątny, a poszczególne skoki silnika były dobrze widoczne (praca pojedynczoskokowa),
2. zbliżonej do maksymalnej startowej (prąd silnie odkształcony od prostokąta i praca płynnoskokowa).

W sumie 4 rejestracje. Do ich wykonania z zapisem przebiegów czasowych prądów pasm A, B i kąta położenia wirnika do zbiorów na dysku służy w środowisku pakietu *DasyLab* plik *Srm2.dsb*. Uwaga, przed każdą rejestracją trzeba zmienić nazwę pliku do którego zapisywane będą wyniki danej rejestracji, bo inaczej poprzednie wyniki zostaną nadpisane !

Ad. 2

Przed rozpoczęciem pomiarów należy rozłączyć wszystkie połączenia silnika ze sterownikiem i także zasilacza ze sterownikiem, ze względów napięciowych (ograniczenie dopuszczalnego napięcia zasilania sterownika do 24V).

Pomiary należy wykonywać w taki sposób aby grubsza część nici nawiniętej na tarczę była całkowicie odwinięta z tarczy. Jest to istotne ponieważ ta grubsza część jest dosyć sprężysta. Podczas właściwych pomiarów powinno być zasilone pasmo A, prądem 0.9 A.

Pomiary zaczyna się od zmierzenia momentu sił tarcia statycznego na łożyskach silnika. Przy niezasilanym silniku należy znaleźć największą możliwą wartość ciężaru zawieszanego na nici przy której niezasilony silnik nie kręci się. Brak ruchu oznacza, że moment sił tarcia równoważy moment pochodzący od zawieszonego ciężaru. Moment sił tarcia statycznego jest równy iloczynowi tego ciężaru (mg) i (wewnętrznego) promienia tarczy ($r = 21.4 \text{ mm}$):

$$T_T = mg \cdot r$$

W ćwiczeniu w charakterze obciążenia do wyznaczenia momentu tarcia wykorzystywane są małe podkładki metalowe; 10 takich podkładek waży 5.25 dkG. Proponuje się dowieszać po jednej takiej podkładce (czyli po 0.525 dkG), aż do ruszenia wirnika.

Podczas właściwych pomiarów proszę nie przekraczać prądu 0.9 A, bo na postoju silnik grzeje się szczególnie mocno. Pomiary wykonuje się zasilając pasmo A bezpośrednio z zasilacza w połączeniu szeregowym z przekładnikiem prądowym i opornicą suwakową 8.9Ω do regulacji wartości prądu (rysunek 2). **Przed rozpoczęciem pomiarów należy rozłączyć wszystkie połączenia silnika ze sterownikiem i także zasilacza ze sterownikiem, ze względów napięciowych (ograniczenie napięcia zasilania sterownika do 24V).** Ustawioną wartość prądu (0.9 A) należy dokładnie kontrolować w trakcie pomiarów (pomiar komputerem pod *DasyLabem* z plikiem *Srm1.dsb*), bo moment silnie od niej zależy. Przy stałym napięciu zasilającym pasmo prąd istotnie zmienia się w trakcie pomiarów ($\approx 20\%$), ponieważ istotnie zmienia się rezystancja pasma z temperaturą – tym bardziej trzeba go pilnować. Jedyną możliwością płynnego doregulowywania prądu jest zmiana wartości dodatkowej rezystancji dołączonej szeregowo do pasma A. Rolę tej rezystancji pełni opornica suwakowa 8.9Ω . Należy ją początkowo ustawić na maksymalną rezystancję i stopniowo płynnie obniżać wartość rezystancji tak, aby prąd stale wynosił 0.9 A. W związku z obecnością opornicy w obwodzie fazy A należy podnieść napięcie zasilające z zasilacza do (26÷27) V. Schemat na rysunku 2.

Całość pomiarów należy przeprowadzić następująco:

1. **Rozłączyć wszystkie połączenia sterownika z silnikiem i z zasilaczem,**
2. Włączyć przekładnik prądowy i opornicę szeregowo w pasmo A i całość podłączyć do zasilacza z zachowaniem odpowiedniej biegunowości (w szczególności „+” zasilacza powinien być połączony z dużym czarnym zaciskiem punktu gwiazdowego silnika),
3. Ustawić napięcie zasilające w zasilaczu na (26÷27) V,
4. Załączyć zasilacz i ustawić opornicą prąd 0.9 A,
5. Pilnując wartości prądu 0.9A (opornicą) stopniowo dokładać odważniki; pomiar prądu i kąta pod *DasyLab-em* z plikiem *Srm1.dsb*.

Minimalna dająca dobrze mierzalną zmianę kąta wychylenia wirnika zmiana ciężaru zawieszanego wynosi $\approx 10 \text{ dkG}$. Zerwanie następuje przy $\approx 1 \text{ kG}$ (dla prądu 0.9 A). W ćwiczeniu w charakterze obciążenia wykorzystywane są duże podkładki metalowe; 10 takich podkładek waży 46.5 dkG. Wyniki stąd, że należy dowieszać po dwie podkładki (czyli po 9.3 dkG).

Podczas wykonywania pomiarów nie należy trząść stołem, ponieważ 10-bitowy dekoderek położenia reaguje na takie rzeczy. Należy również unikać gwałtownych zmian prądu – po to jest opornica suwakowa, żeby nią delikatnie podregulowywać prąd do zadanej wartości 0.9 A. Ogólnie pomiary należy wykonywać dokładnie i spokojnie, bo inaczej źle wyjdą !

Moment elektryczny silnika wylicza się wg wzoru:

$$T_e = mg \cdot r - T_T$$

Obliczenie zależności teoretycznej i naniesienie na jej tle punktów pomiarowych wykonują Studenci w ramach wykonywania sprawozdania, posługując się skryptyem MATLAB-owym *srmimom.m*.

Ad. 3

Przy wyznaczaniu stałych czasowych należy pamiętać o tym, żeby prąd płynął w takim kierunku jak podczas normalnej pracy silnika, dlatego „+” zasilacza powinien być w punkcie gwiazdowym silnika (duży zacisk czarny). Opornica suwakowa 8.9Ω powinna być włączona bezpośrednio za zasilaczem, aby przy zwarcu pasma nie zewrzeć zasilacza. Do zwierania służy mały przełącznik obok sterownika silnika, opisany słowami „Zwarte/Otwarte” (rysunek 3). Rejestracja prądów zanikowych wykonywana jest z użyciem pakietu *Dasy Lab* z plikiem *Srm3.dsb*. Uwaga, przed każdą rejestracją trzeba zmieniać nazwę zbioru do którego będą zapisywane próbki, inaczej zostaną nadpisane poprzednie wyniki. Całość na rysunku 3.

Ad. 4

Rezystancję pasma w stanie nagrzanym mierzy się na paśmie A, które po wszystkich pomiarach ćwiczeniowych niewątpliwie jest nagrzane. Rezystancję pasma w stanie zimnym mierzy się na paśmie C, które fizycznie jest najbardziej odległe od pasma A i dlatego w miarę „zimne”. Podczas pomiarów nie należy przekraczać prądu 0.5 A. Pomiar z dokładnym pomiarem napięcia, schemat oczywisty.

Ad. 5

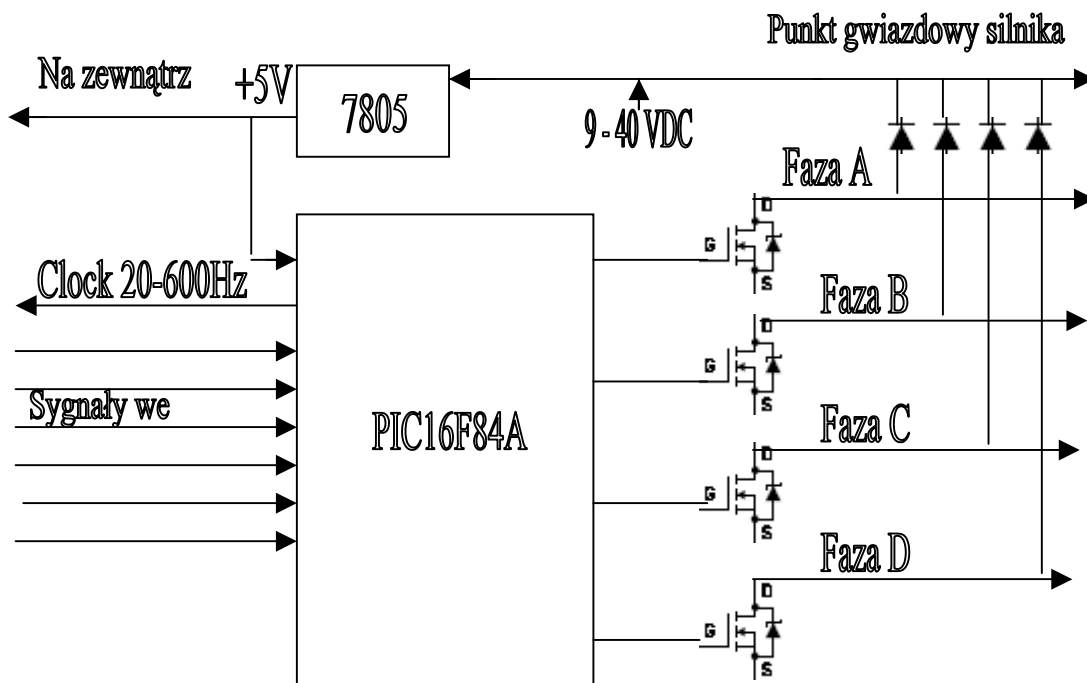
Obliczenia symulacyjne studenci wykonują we własnym zakresie – pliki *srmimom.m*, *srmu.m*, *Rsrmu.m* zawierają odpowiednie komentarze.

3. Zawartość sprawozdania

1. Schemat podstawowego układu ćwiczeniowego, schemat układu do wyznaczania zależności momentu synchronizującego od kąta położenia wirnika i schemat układu do wyznaczania stałej czasowej pasma metodą rejestracji przebiegu czasowego swobodnego zaniku prądu w paśmie zwartym
2. Wyrysowane w funkcji kąta położenia wirnika idealne (tzn. prostokątne) przebiegi prądów pasm silnika gwarantujące pracę:
 - a) całoskokową (skoki 15°),
 - b) półskokową (skoki 7.5°).
3. Zarejestrowane i obliczeniowe przebiegi czasowe prądów pasm podczas pracy silnika:
 - c) całoskokowej,
 - d) półskokowej.
4. Wartości maksymalnych częstotliwości rozruchowych silnika przy $T_{obc} = 0$, dla pracy całoskokowej i półskokowej, pochodzące zarówno z pomiarów jak i z obliczeń symulacyjnych (pliki: *srmu.m*, *Rsrmu.m*). Obliczenia symulacyjne powinny zostać wykonane w oparciu o zidentyfikowane parametry modelu silnika (L_{max} , L_{min} , R_{pasma}), dla parametrów zasilania jak w ćwiczeniu.
5. Podane tabelarycznie i wyrysowane zależności momentu synchronizującego od kąta położenia wirnika przy jednym paśmie zasilanym wymuszonym prądem, pochodzące zarówno z pomiarów jak i z obliczeń symulacyjnych (plik *srmimom.m*).
6. Zarejestrowane przebiegi czasowe swobodnego zaniku prądu w paśmie silnika oraz wyznaczone stałe czasowe i indukcyjności pasma; wzory z których wyznaczono te wielkości.
7. Zmierzoną rezystancję pasma, w stanie nagrzanym i w stanie zimnym.
8. Równania stosowanego w obliczeniach symulacyjnych modelu silnika (z pliku *Rsrmu.m*).

4. Opis sterownika silnika

Do zasilania silnika użyto sterownika *RSSM2* przeznaczonego do sterowania jednego silnika skokowego 4-pasmowego unipolarnego, umożliwiającego pracę pełnoskokową i półskokową przy częstotliwości prowadzącej do 2000 Hz (sam sterownik daje częstotliwości do 600 Hz, regulowane potencjometrem na płytce sterownika). W przeciwieństwie do sterownika *MONOpack LT* ten sterownik nie daje możliwości ani zadawania prądu w paśmie (jest on ograniczany po prostu przez rezystancję pasma silnika + ew. dodatkową) ani możliwości zadawania rampy prędkości. Dlatego jego budowa jest znacznie prostsza (rysunek 4). Sercem sterownika jest 8-bitowy mikrokontroler *PIC16F84A* prod. *Microchip Technology*, który bezpośrednio wyzwala 4 tranzystory MOSFET *D12NE06L* 60V/12A sterujące 4 pasmami silnika. Tranzystory są zabezpieczone przed przepięciami diodami zwrotnymi bocznikującymi pasma silnika (dzięki temu możliwa jest praca tranzystorów na odbiory typu *RL* i *L*, a więc na pasma silnika). Na płytce sterownika znajduje się również stabilizator napięcia 7805, który dostarcza napięcia +5V do zasilania mikrokontrolera i do sygnałowego wykorzystania na zewnątrz sterownika. Maksymalne napięcie zasilania pasm silnika skokowego wynosi (+)40 V DC, minimalne (+)9 V DC; maksymalne napięcie zasilania logiki sterującej sterownika *RSSM2* wynosi 24 V DC. Dlatego w ćwiczeniu nie należy przekraczać wartości napięcia 24V.



Rys. 4. Architektura sterownika *RSSM2*

<p style="text-align: center;">Akademia Górniczo-Hutnicza im. S.Staszica w Krakowie KATEDRA MASZYN ELEKTRYCZNYCH LABORATORIUM <i>Elektrotechnika z napędami elektrycznymi</i></p> <p style="text-align: center;">Ćwiczenie EA6 <i>Silnik skokowy reluktancyjny</i></p>
--

Wydz. E A Ii E kier. Ai R rok II	Grupa ćw.	Grupa laborat.
--	-----------	----------------

Grupa laborat.

[illegible]

1. Dane znamionowe silnika

2. Wyznaczone pomiarowo maksymalne częstotliwości rozruchowe silnika; częstotliwości przy których wykonano rejestracje przebiegów czasowych prądów i położenia wirnika silnika

3. Zależności momentu postojowego silnika od kąta wychylenia wirnika: pomiarowa i obliczeniowa

[illegible]

4. Wyznaczone stałe czasowe pasma przy różnych położeniach wirnika

5. Wyniki pomiarów rezystancji pasma w stanie nagrzanym i w stanie zimnym

6. Wyniki obliczeń symulacyjnych

Uwagi prowadzącego:

Data.....

Podpis.....