Weronika MENCEL

Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie Katedra Energoelektroniki i Automatyki Systemów Przetwarzania Energii Studenckie Koło Naukowe "MAGNESIK" Opiekun naukowy referatu: dr hab. inż. Wiesław Jażdżyński, prof. nadzw. AGH *rok akademicki 2013/2014*



Budowa, wykorzystanie i analiza polowa silników krokowych

Referat został wygłoszony na 51. Konferencji Studenckich Kół Naukowych Pionu Hutniczego AGH w ramach sekcji Elektrotechniki, Elektroenergetyki i Elektrotermii

Streszczenie

W pracy przedstawiono przykład analizy polowej jednego z silników krokowych - maszyn przetwarzających impulsy elektryczne na odpowiedni ruch mechaniczny. Silniki te stosowane są obecnie na bardzo szeroką skalę. Mimo, że ich mała maksymalna predkość obrotowa może wydawać się wadą, to w sytuacjach, gdzie potrzebny jest kontrolowany ruch, silniki te znakomicie się sprawdzają. W artykule omówione zostały również wyniki obliczeń. Analiza pracy przeprowadzona została w oparciu o model fizyczny silnika hybrydowego dwupasmowego dla sterowania bipolarnego. Na podstawie wyników doświadczeń i pomiarów dotyczących wymiarów silnika i jego własności opracowane zostały dwa modele: obwodowy oraz polowy w środowisku Flux2D. Wyniki otrzymane w czasie symulacji zostały porównane z wartościami wyliczonymi analitycznie i pomiarami.

Slowa kluczowe: silniki skokowe, silniki hybrydowe, sterowanie bipolarne, model polowy silnika.

1. Przykłady wykorzystania silników

Silniki krokowe znajdują obecnie szerokie zastosowanie z powodu swojej precyzyjnej pracy. Używa się ich do regulowania pozycji w elementach robotów, sterowania głowicami w odtwarzaczach płyt CD i DVD oraz w drukarkach atramentowych i igłowych, pozycjonowania soczewki w kamerach video. Silniki można wykorzystać również jako serwomechanizmy, gdyż zadając na wejściu silnika impuls napięciowy uzyskuje się obrót wirnika o określony kąt. Oprócz zastosowań przemysłowych, silniki te doskonale sprawdzają się w automatyce budynkowej, przy ich pomocy można sterować inteligentnymi systemami oświetlenia oraz nadążnymi panelami fotowoltaicznymi.

2. Silnik magnetoelektryczny bipolarny

Silniki krokowe możemy podzielić ze względu na sposób wytwarzania w nich strumienia magnetycznego. W silnikach *reluktancyjnych* strumień powstaje wskutek wirowania pola elektromagnetycznego tworzonego przez prąd przepływający przez cewki. W silnikach *magnetoelektrycznych* źródłem strumienia są magnesy trwałe. Trzeci rodzaj silników to połączenie dwóch poprzednich. Silniki *hybrydowe* zachowują mały skok i dużą częstotliwość pracy silników reluktancyjnych, mają natomiast większe momenty wydawane, większe współczynniki tłumienia wewnętrznego oraz zdolność zapamiętywania położenia po wyłączeniu lub zaniku zasilania, jak to ma miejsce w silnikach z magnesami trwałymi [1].

Aby silnik pracował, musi wytworzyć wirujące pole magnetyczne. Konieczną do tego zmianę kierunku prądu płynącego przez cewki można osiągnąć na dwa sposoby. W pierwszym przypadku wykorzystywany jest cały przebieg sinusoidalny prądu, który płynie na zmianę w obu kierunkach, wydzielając energię w całym uzwojeniu. Wymaga to dość skomplikowanego układu tranzystorów i odpowiedniego ich wysterowania (schemat układu dostępny jest w [3]). Taki rodzaj sterowania nazywamy sterowaniem bipolarnym. Drugim sposobem pozwalającym na zmianę kierunku prądu w cewce jest podzielenie uzwojenia na pół i zastosowanie tranzystorów warunkujących przepływ poszczególnych połówek okresu prądu przez połowy uzwojenia. W danym momencie pracuje tylko połowa uzwojenia, druga pozostaje niewykorzystana, na cewce wydziela się dwa razy mniejsza moc, a więc i moment jest mniejszy. Ten rodzaj sterowania nosi nazwę sterowania unipolarnego. W pracy zanalizowany został silnik sterowany bipolarnie o parametrach przedstawionych w tabeli 1.

Tab.1 Parametry silnika wybranego do analizy

Nazwa parametru	Wartość
Wielkość kroku	1,8°
Napięcie fazy	12 V
Prąd fazowy	0,4 A
Rezystancja fazy	30 Ω
Indukcyjność fazy	30 mH
Moment trzymający	2,88 kg·cm
Liczba doprowadzeń	6
Moment bezwładności wirnika	57 g·cm ²
Waga	0,54 kg

3. Model polowy 2D silnika

Analiza polowa silnika została przeprowadzona przy pomocy środowiska FLUX 2D. Geometria silnika została w pełni sparametryzowana. Wprowadzono 15 zmiennych określających kształt silnika, są to np.: liczba biegunów stojana i wirnika, odległości między zębami wirnika, grubości szczelin, szerokości magnesów. Jako domyślnie wartości przypisano zmiennym wyniki pomiarów suwmiarką na obiekcie rzeczywistym. Można je korygować tak, by uzyskać w wyniku symulacji wartości fizyczne zbliżone do zmierzonych i załączonych w specyfikacji silnika.

Największym problemem i wyzwaniem było zastąpienie rzeczywistego obiektu trójwymiarowego modelem 2D.

Strumień magnetyczny płynie przez wirnik w sposób pokazany na rysunku 1, równolegle do wału sinika. Ta oś jest niemożliwa do uwzględnienia w modelu z powodu ograniczeń licencyjnych. Zamiast umiejscawiać zęby rotora o namagnesowaniu S i N jeden nad drugim, w modelu zaprojektowano je na przemian obok siebie. W takim przypadku strumień przechodzi przez fragment wirnika przyporządkowany żelazu. Ma to odpowiadać jego przejściu w kierunku zgodnym z osią nieuwzględnioną w programie. Każdy kolor na rysunku 1 oznacza referencję do danego materiału, z jakiego dana część jest zbudowana. Kolor biały oznacza powietrze, turkusowy żelazo, pierwsze pasmo uzwojeń jest czerwone, a drugie niebieskie. Biegunom magnetycznym północnym odpowiada kolor purpurowy, południowym zielony.



Rys.1 Przedstawienie wirnika silnika w programie Flux2D. 1 – biegun N, 2 – biegun S.

Rysunek 2 przedstawia przyporządkowanie poszczególnych elementów stojana (jego jarzma, nabiegunników i uzwojeń) ich reprezentacjom w programie.



Rys.2 Przedstawienie stojana silnika w programie Flux2D. 1 – jarzmo stojana, 2 – nabiegunniki stojana, 3 – uzwojenia stojana.

Zaimplementowana ilość zębów jest ze względów praktycznych dziesięciokrotnie mniejsza od rzeczywistej. Wystarcza to jednak do otrzymania wiarygodnych wyników w trakcie przeprowadzenia badań.

Siatka (rys.3) została wykonana Metodą Elementów

Skończonych. Wygląda na dosyć rzadką, ale w istocie zawiera 21380 węzłów. Większość z nich zlokalizowana jest w okolicach szczeliny między stojanem a wirnikiem, co umożliwia dużą dokładność obliczeń. W tym miejscu bowiem zachodzą największe zmiany wielkości polowych w trakcie pracy silnika.



Rys.3 Siatka MES

Niniejszy model jest nie tylko polowy, ale polowoobwodowy. Program umożliwia bowiem stworzenie schematu elektrycznego (rys.4) i ustalenie referencji pomiędzy elementami układu elektrycznego a reprezentowanymi graficznie. Jedno ze źródeł napięciowych odpowiada za zasilanie czerwonej grupy cewek, drugie zasila niebieską grupę. Zadane napięcia poszczególnych źródeł są przesunięte w fazie, uzupełniają się (rys.5). W czasie gdy jedno osiąga swoją amplitudę, drugie spada do zera, po czym następuje zmiana znaków napięć. W ten sposób zrealizowane zostało bipolarne sterowanie silnikiem.



Rys.4 Schemat elektryczny sterowania silnikiem





Po przeprowadzeniu symulacji otrzymano przebiegi zadanych wielkości fizycznych w funkcji czasu. Parametry symulacji zostały tak dobrane, aby silnik wykonywał jeden pełny obrót w ciągu sekundy. Dla dziesięciokrotnie mniejszej liczby zębów niż w obiekcie rzeczywstym stopień kroku wynosi 18°. Reakcją na zadawany ciąg impulsów napięciowych jest sinusoidalny przebieg prądu przepływającego przez uzwojenia (rys.6).



Rys.6 Przebieg napięcia sterowania silnika i prądu przepływającego przez cewki

Uzyskana średnia wartość momentu mechanicznego na wale silnika jest niezerowa (rys.7). Impulsy widoczne na wykresie są efektem zmian znaku napięcia, do którego podłączone są pasma stojana.



Rys.7 Otrzymany przebieg momentu obrotowego

Rysunek 8 przedstawia kadr z utworzonej animacji przedstawiającej rozkład linii sił pola magnetycznego. W obszarze między dwoma sąsiednimi izoliniami płynie ten sam strumień. W miejscach, gdzie linie te położone są blisko siebie (a największe ich zagęszczenie jest w szczelinie), występuje duża wartość indukcji magnetycznej.



Rys.8 Model geometryczny silnika wraz z izoliniami sił pola magnetycznego

4. Podsumowanie

W zakres niniejszej pracy wchodziło zarówno omówienie najważniejszych parametrów charakterystycznych dla silników krokowych i ukazanie ich zastosowania, jak i zaimplementowanie modelu silnika wraz z analizą koniecznych przy implementacji uproszczeń oraz wyników.

Z racji, że model jest sparametryzowany, w przyszłości można projektować za jego pomocą nowe silniki, dobierając odpowiednie wartości parametrów tak, aby osiągnąć pożądane rezultaty w zakresie prądu i momentu, jednocześnie optymalizując i minimalizując obiekt zgodnie ze współczesnymi standardami.

5. Literatura

- Elektryczne Maszynowe Elementy Automatyki, pod redakcją Jerzego Owczarka; WNT, Warszawa 1983: 323.
- [2] Leszek Potocki: Silniki krokowe od podstaw,
 cz. 1; *Elektronika dla Wszystkich*, lipiec 2002: 22-26.
- [3] Leszek Potocki: Silniki krokowe od podstaw,
 cz. 3; *Elektronika dla Wszystkich*, wrzesień 2002: 24-26.