

Matlab을 이용한 횡자속형 SRM의 동특성 해석

김경호*, 조윤현*, 정연호**, 강도현**
 동아대학교 전기공학과, 한국전기연구소

Dynamic Analysis of Transverse type Switched Reluctance Motor using Matlab

Kyung-Ho Kim*, Yun-Hyun Cho*, Yeon-Ho Jeoung**, Do-Hyun Kang**
 *Dong-A University Electrical Department, **KERI

Abstract - This paper is proposed the modeling and computational methods for estimating the steady and dynamic characteristics of a transverse flux type SRM.

To obtain characteristics parameters of the transverse flux type SRM which is considered the magnetic non-linearity phenomena, the magnetic equivalent parameters of SRM are computed by the finite element method as functions of the input current and angular displacement. Dynamic characteristics of the designed transverse flux type SRM is simulated and estimated by Matlab/simulink.

1과 같이 자기에너지를 효율적으로 변화시키기 위해 만든 가변속 stepping motor로 4상 이중 돌극형의 구조를 갖는다. 각 상의 회전자 치의 구조는 1/4 치의 피치만큼 어긋난 구조로 배열되어 있으며, 각상의 고정자 코어는 C자로 되어 있으며, 코일의 구조는 원통형으로 코일이 감겨져 있다. 회전자는 자성체 코어로만 되어 있으며, 자속의 자로 형성이 회전방향과 직각인 횡자속을 형성한다.

1. 서 론

최근에 전력용 반도체 소자를 이용한 스위칭 기술의 발달과 더불어 브러시가 없는 직류모터, 인버터용 유도전동기 및 SRM (Switched Reluctance Motor)에 대해 연구가 활발히 이루어지고 있다[1].

특히 SRM은 기존의 전동기보다 구조가 간단함으로 유도전동기와 DC전동기에 비해 제작비용이 싸므로 이에 대한 연구가 미국, 일본, 영국, 독일 등에서 활발히 연구되고 있다[2]. 그러나 기존 연구, 개발된 주 SRM은 자기회로의 방향 구성이 회전자가 회전하는 방향으로 자기회로를 형성하는 종방향 자속 SRM (Longitudinal Flux Switched Reluctance Motor)이다. 이는 자기회로가 길며, 누설자속 등이 크므로 단위 면적 당 토크를 얻을 수 없다[3].

따라서 본 연구에서는 자기회로가 회전자가 회전하는 방향에 대해서 직각방향으로 자기회로를 형성함으로 자기회로가 종축형보다 짧으므로 누설자속이 작으며, 단위 면적 당 토크를 증가시킬 수 있는 횡자속형 SRM을 제안하였다.

횡자속형 SRM의 여자코일은 회전자가 진행하는 방향으로 감겨져 있으며 자로는 횡방향으로 구성되므로 정, 동특성을 해석하기 위해서 자기적 비선형 특성을 고찰하기 위하여 3차원 유한요소법으로 자기등가 파라미터를 해석하였다. 또한, 동특성을 고찰하기 위하여 전류와 위치의 변화에 따른 파라미터 특성과 입력 전원에 따른 토오크특성 등을 연구하였다. 자기적 비선형 파라미터를 고려한 동특성 해석을 하기 위하여 SRM의 상대방정식을 기초로 Matlab/dimlink를 이용한 제어 알고리즘을 연구하였다.

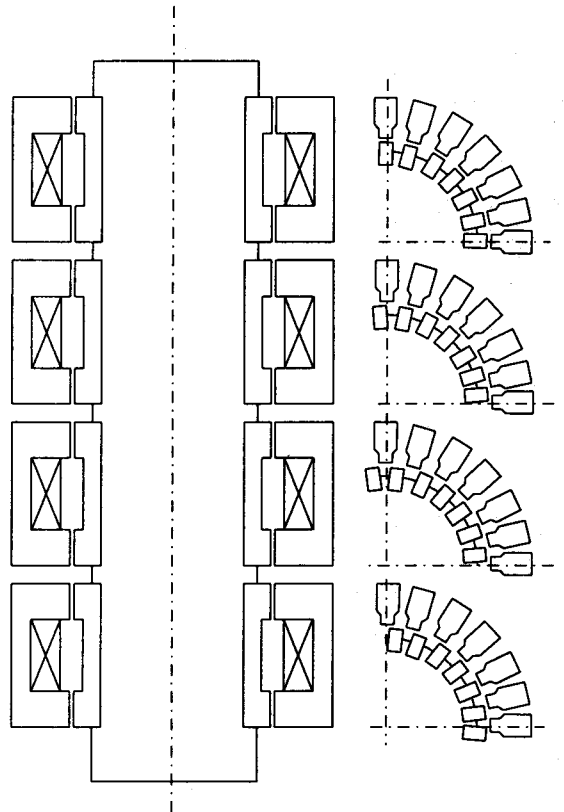


그림 1. 횡자속형 SRM의 단면도

2. 본 론

2.1 횡자속형 SRM의 구조

그림 1은 횡자속형 SRM의 단면도를 나타낸다. 그림

2.2 상대방정식

SRM에 직류 입력 전압을 인가하면 회전자의 위치에 따라 인덕턴스와 전류가 변화한다. 이에 대한 한 상에 대한 전압 방정식을 표현하면 식 (1)과 같이 표현할 수 있다[4].

$$\begin{aligned}
 V(t) &= Ri + \frac{d\lambda(i, \theta)}{dt} \\
 &= Ri + \frac{\partial \lambda(i, \theta)}{\partial i} \frac{di}{dt} + \frac{\partial \lambda(i, \theta)}{\partial \theta} \frac{d\theta}{dt} \quad (1) \\
 &= Ri + L(i, \theta) \frac{di}{dt} + i \frac{dL(i, \theta)}{d\theta} \omega
 \end{aligned}$$

여기서

$V(t)$: 공급전압, R 은 상저항, i : 상전류, $\lambda(i, \theta)$: 채교자속

$L(i, \theta)$: 인덕턴스, ω : 회전자의 각속도를 나타낸다.

식 (1)을 입력 전력에 대한 수식으로 표현하면 식 (2)로 쓸 수 있다.

$$P(t) = Ri^2 + \left(\frac{d}{dt} \frac{1}{2} L(i, \theta) i^2 \right) + \frac{1}{2} i^2 \frac{dL(i, \theta)}{d\theta} \omega \quad (2)$$

식 (2)에서 오른쪽 첫 번째 항은 권선의 저항손을 나타내며, 둘째 항은 자기 축적 에너지이며, 세번째 항은 기계적 출력 에너지를 나타낸다.

따라서 출력 항을 토오크로 표현하면 식 (3)과 같이 된다.

$$T(i, \theta) = \frac{1}{2} i^2 \frac{dL(i, \theta)}{d\theta} \quad (3)$$

기계적인 토크 방정식은 식(3)과 같이 나타낼 수 있으며, 위의 식(2)의 토크와 같은 값을 가진다. 식(4)로부터 운전시의 회전자의 속도를 알 수가 있다.

$$T(i, \theta) = J \frac{d\omega}{dt} + B\omega + T_L \quad (4)$$

J 는 관성 모멘트, B 는 마찰계수, T_L 은 부하토크이다.

식(1), 식(3), 식(4)에서 전류 i 와 위상 각 θ 에 따른 인덕턴스 $L(i, \theta)$ 와 미소 인덕턴스 $\frac{dL}{d\theta}(i, \theta)$ 는 유한요소법에 의해 구할 수 있다.

2.2 SRM 구동용 컨버터 및 특성 파라미터

SRM은 고전자 권선에 전류를 제어하기 위해 많은 컨버터 토폴로지가 제안되어 왔는데, 주로 비용절감과 성능 향상화에 역점을 두어 연구되어 왔다. 본 연구에서는 지금 주로 사용되고 있는 비대칭형 컨버터를 채택하였으며, 이에 대한 동작 원리는 다음과 같다.

그림 2는 상 당 2개의 스위칭 소자와 다이오드를 가지는 비대칭 브리지 컨버터를 나타낸 그림이다. 이 컨버터의 특징은 각상의 전류제어가 독립적이고, 두상의 전류중첩이 가능하며 고전압, 대용량에 적합하다. 단 스위치의 정격전압이 상대적으로 낮다.

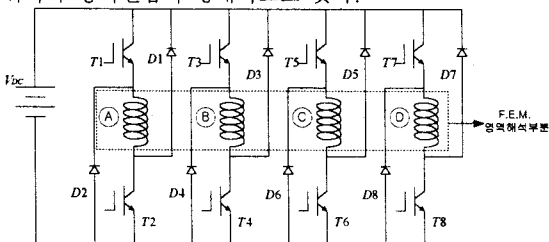
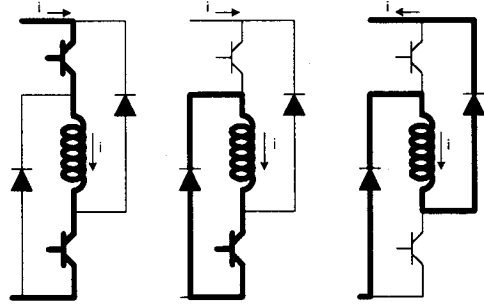


그림 2 비대칭 컨버터 회로

그림 2에서의 1상에 대한 동작은 세가지 모드로 나누어 설명할 수 있다.



(a) Mode 1 (b) Mode 2 (c) Mode 3

그림 3 비대칭 컨버터회로의 도전모드

Mode 1 : 두 개의 스위칭소자가 모두 on이 되어 전원이 권선에 인가하여 여자되는 단계이다.

Mode 2 : 권선에 전류가 흐르고 있을 때 한 개의 스위칭을 turn off시 전류가 다이오드와 스위치 및 권선을 순환하게 한 경우로 전류의 감소를 목적으로 하고 있다.

Mode 3 : 두 스위치를 turn off하여 전류(commutation)시키는 단계로서, 상의 $dL/d\theta$ 의 성분이 부가되기 전에 전류를 완전히 소멸시키거나 적은 양이 되도록 하여 부 토크가 발생하지 않도록 한다[5].

SRM은 전류와 회전자의 위상각에 따라 자속, 인덕턴스가 다르므로 그림 2에서의 같이 해석영역을 유한요소법을 적용하여 파라미터 특성곡선을 구하였다.

그림 4는 기자력의 변화와 위상각 변화에 따른 자속 분포 특성곡선이다. 1200[AT]까지는 자속이 선형적으로 증가하나 그 이상에서는 재료의 포화로 비선형적으로 자속이 증가한다. 정렬상태에서 최대 자속이 8[mwb]이다.

그림 5는 기자력의 변화와 위상각 변화에 따른 인덕턴스 특성곡선이다. 전류값이 적을 때 값이 선형적이거나 전류의 증가로 인해 비선형적으로 증가함을 볼 수 있다. 정렬상태에서의 최대 인덕턴스는 60[mH]이다.

그림 6은 변위각 변화에 따른 미소 인덕턴스 변화를 나타낸 것이다. 극의 반주기동안 인덕턴스가 상승함으로 정이되고, 나머지 반주기동안 부가 된다. 이때 최대값은 0.4가 된다.

그림 7은 기자력의 변화와 위상각 변화에 따른 토크 특성곡선이다. 1200[AT]까지는 전류의 제곱에 비례하나 그 이상에서는 비선형적으로 증가함을 볼 수 있다. 최대토크값은 2000[AT], 3°에서 60[N.m]값을 가진다.

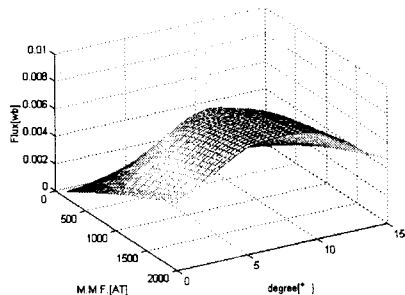


그림 4 자속 분포 특성곡선

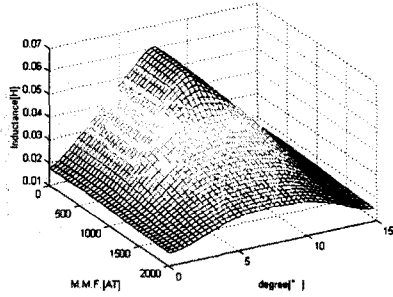


그림 5 인덕턴스 특성곡선

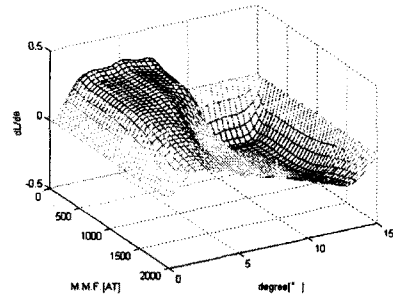


그림 6 $dL/d\theta$ 특성 곡선

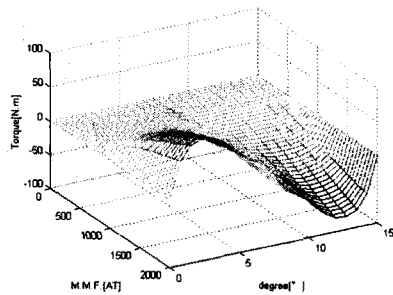


그림 7 토크 특성 파라미터

그림 8은 횡축형 SRM의 특성해석을 Matlab/Simulink 상용프로그램을 사용하여 시뮬레이션 하기 위한 시스템 블록선도 이다.

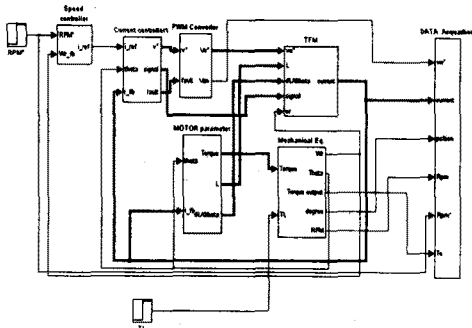


그림 8 시뮬레이션 블록선도

그림 9와 그림 10은 상전류와 토크 및 속도 파형을 나타낸 것으로 1초동안은 무부하 상태로 동작하다가 1초 후에 20(N.m)의 부하를 인가하였다. 무부하시 정상상태에 도달하는 시간은 0.6초이다.

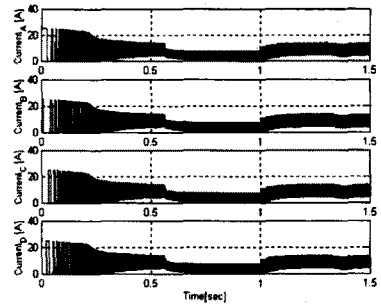


그림 9 상전류 파형

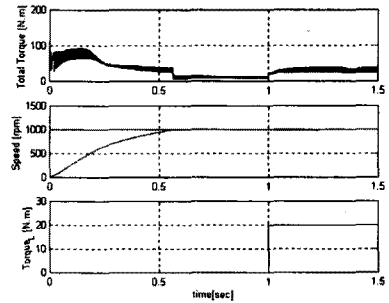


그림 10 부하의 변화에 따른 토크 및 속도 파형

3. 결 론

본 논문에서는 횡축형 SRM의 정·동특성을 제시하였다. 기본적인 모델링은 전압방정식과 coenergy를 이용한 토크 방정식을 이용하였다. SRM의 특성을 해석하기 위해서 특성파라미터($L, dL/d\theta, T$)의 값을 산정하고, 속도, 위상변위에 따른 특성을 분석하기 위해서 상용 F.E.M 프로그램을 사용하였다. 비선형 해석시에는 Look-up table을 만들어 사용하였다.

(참 고 문 헌)

- (1) Martin Clifford, Modern Electric/Electronic Motors. Prentice-Hall, Inc., 1990
- (2) Weh, H. : Permanentmagneterregte Synchronmaschinen hoher Kraftdichte nach dem Transversalfußkonzept. etzArchiv Bd. 10(1988), H.5
- (3) Weh, H. : Linear Electromagnetic Drives in Traffic Systems and Industry. The First International Symposium on Linear Drive for Industry Applications, Nagasaki(Japan), 1995
- (4) TJE Miller "Switched Reluctance Motors and Their Control" Magna Physics publishing and Clarendon Press · Oxford 1993.
- (5) 이민명 "Switched Reluctance Motor의 최적운전을 위한 설계 파라미터에 관한 연구" 박사학위논문 1992