2001년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2001.7.18-20

비선형 자기회로를 고려한 횡자속형 SRM 동특성해석

김경호*, 조윤현*, 정연호**, 김종무**, 강도현**
동아대학교 전기공학과*, 한국전기연구원**

Dynamic Analysis of Transverse type Switched Reluctance Motor considering nolinear magnetic equivalent circuit

Kyung-Ho Kim*, Yun-Hyun Cho*,Yeon-Ho Jeoung**, Jong-Mu Kim**, 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. Prediction of the steady and dynamic characteristics state of a switched reluctance motor (SRM) drive can be quite involved because of complex interdependent influences between motor parameters and excitation.

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/simlunk.

1. 서 론

스위치드 릴럭턴스 전동기(Switched Reluctance Motor)는 구조는 간단하고 기동특성이 우수하며 넓은 속도범위에서의 운전이 원활하다. 또한 유도전동기에 비해 회전자에 발생되는 손실이 거의 없어 장시간 운전이 필요하거나 기동과 정지가 빈번한 경우에 유리하다. 반면에, 전동기의 구조상 소음과 진동이 크다는 것이 단점이다. 그러나, 경제성과 제어성 때문에 스위치드 릴럭턴스 전동기는 여러 연구기관에서 가변속 구동시스템으로 활용하기 위한 연구가 활발히 진행중이다. 특히 선진국에서는 가정 기기나 자동차, 항공기의 오일펌프, 가스터빈 등을 중심으로 실용화되고 있다.

본 논문에서는 횡축형 스위치드 릴럭턴스 전동기의 정특성과 동특성을 해석하기 위하여, 먼저 자기회로의 자속값을 유한요소법 해석을 통하여 구하였다. 또한, 동특성 해석을 하기 위해서는 자속 값으로부터 인덕턴스와 추력계수등을 산정하였다. 부하 변화에 따른 운전 특성을 보기 위해서는 자기적 비선형을 고려한 동특성 해석을 Maltab/ Simulink을 통하여 해석하는 알고리즘을 제안하였다.

2. 본 론

2.1 선형 직류 전동기(LDCM)의 설계

SRM은 회전자 및 고정자가 모두 돌극형 구조로 되어 있으며, 고정자에만 집중권으로 되어 있다. SRM은 고정자 코일을 여자시킬 때 자기적 구조에 의하여 릴럭턴스와 여자에너지의 변화로 토오크가 발생한다. 릴럭턴스 전동기의 토크를 최대한 이용하기 위하여 인덕턴스의 변화율에 따라 부하전류를 일정하게 제어하기 위한 스위치 on-off 시점을 제시하였다.

본 논문에서 사용하게 될 4상 횡자속형 스위치드 릴럭턴스 모터의 구조는 그림 1과 같다.

설계사양은 표 1과 같다.

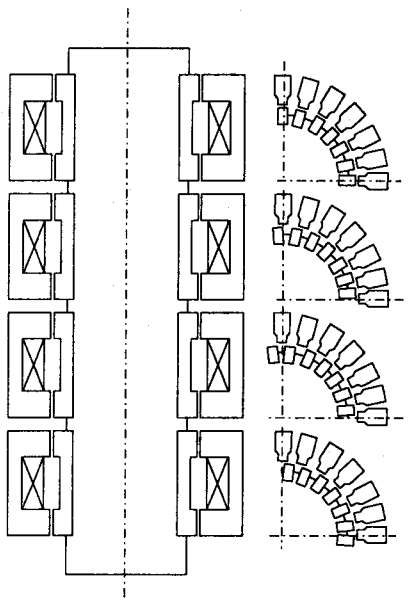


그림 1. 횡자속형 SRM의 단면도

표 1. SRM 설계 사양

구분	사양
공극 (δ)	0.35mm
극간격 (τ_p)	10.45mm
슬롯폭 (S_w)	10.45mm
치폭 (t_w)	10.45mm
pole 길이 (h_i)	20mm
상수 (m)	4상
회전자 직경	160mm
회전자 길이	500mm
권선치수	1mm×3mm
권선수(1상)	80turn
고정자,회전자 철심	35PN380

2.2 SRM Modeling

일반적으로 스위치드 릴럭턴스 전동기는 상권선 상호간의 상호 자속이 무시되는 구조로 설계되었으며, 상권선 상호간에 결합이 없는 간단한 방정식이 구성된다.

SRM 드라이브에서 고정자 권선에 전압을 인가할 경우 전압 방정식은 식 (1)과 같다.

$$V(t) = Ri(t) + \frac{d\lambda(i,\theta)}{dt} \qquad (1)$$

토오크 방정식은 식 (2)와 같다.

$$T(i,\theta) = \frac{\partial W_c}{\partial \theta} \quad (2)$$

전압방정식은 식 (1)로부터 식 (3)과 같이 된다.

$$V(t) = Ri(t) + \frac{\partial \lambda(i,\theta)}{\partial i}\frac{di}{dt} + \frac{\partial \lambda(i,\theta)}{\partial \theta}\frac{d\theta}{dt} = Ri(t) + L\frac{di}{dt} + i\frac{dL}{d\theta}\omega \quad (3)$$

식 (3)의 우변의 첫째 항은 각 권선 저항에 의한 전압강하, 둘째 항은 리액턴스 전압강하이며, 셋째 항은 속도 기전력이다.

기계적인 토크 방정식은 식 (4)와 같이 나타내면 이는 식 (2)에 나타난 전기적인 토크 방정식에서 같은 값을 가진다.

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

J 는 관성 모멘트, B 는 마찰계수, T_L은 부하토크 이다.

2.3 SRM 구동용 컨버터 및 특성 파라메터

SRM은 고정자 권선에 전류를 제어하기 위해 많은 컨버터 토폴로지가 제안되어 왔는데, 주로 비용절감과 성능 향상에 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.

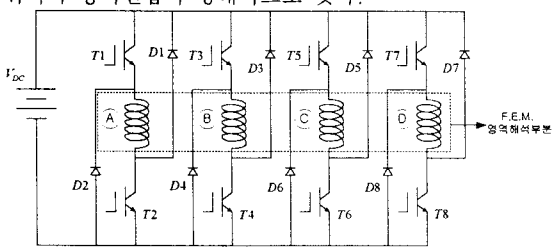


그림 2 비대칭 컨버터 회로

SRM은 전류와 회전자의 위상 각에 따라 자속, 인덕턴스가 다르므로 그림 2에서와 같이 해석영역을 유한요소법을 적용하여 파라메터 특성곡선을 구하였다.

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

그림 5는 기자력의 변화와 위상각 변화에 따른 인덕턴스 특성곡선이다. 전류값이 적을 때 값이 선형적이나 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. 최대 토크값은 2000[AT], 3° 에서 60[N.m]값을 가진다.

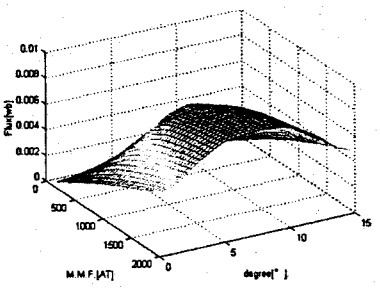


그림 4 자속 분포 특성곡선

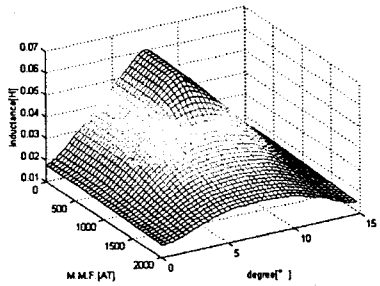


그림 5 인덕턴스 특성곡선

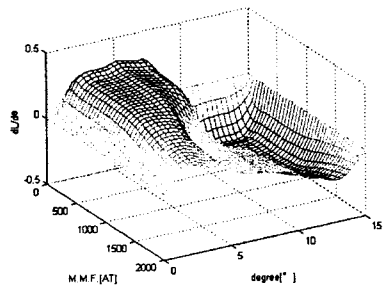


그림 6 $dL/d\theta$ 특성 곡선

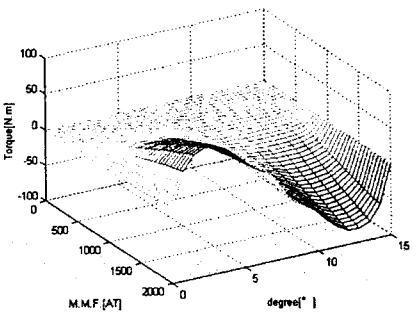


그림 7 토크 특성 파라메터

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

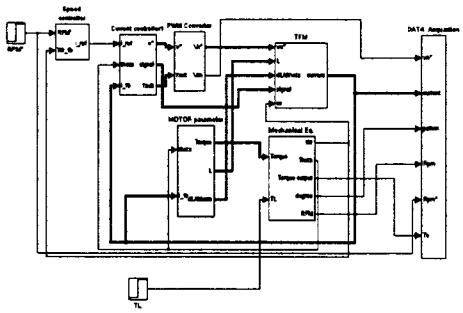


그림 8.사뮬레이션 블록선도

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.

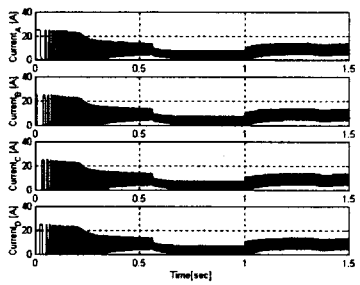


그림 9 상전류 파형

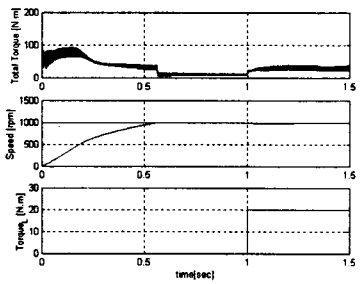


그림 10 부하의 변화에 따른 토크 및 속도 파형

횡자속형 SRM전동기의 동특성 그래프를 그림 11에 나타내었다. 전동기의 효율은 1,600rpm에서 약 87.7%, 최대 출력은 1,100rpm에서 약 4.2kW를 나타내었다.

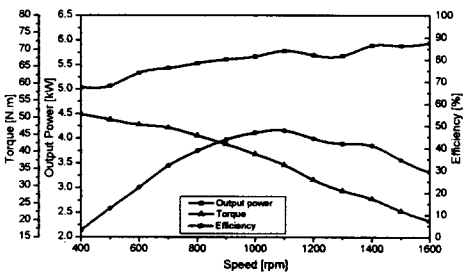
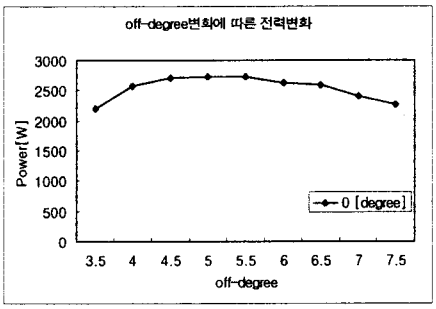
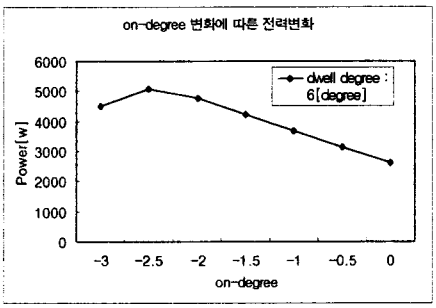


그림 11. 속도에 대한 출력, 토크, 효율 그래프

그림 12(a)는 On 시점을 일정하게 주고 Off 되는 각을 변화시킨 출력을 나타내었고, 그림 12(b)는 dwell 각을 6도로 유지하고 On 시점을 변화시킨 출력을 나타낸 것이다.



(a)Off 각 변화에 따른 전력변화



(b)On 각 변화에 따른 전력변화

그림 12.위상각 조절에 따른 전력변화

3. 결 론

본 연구에서는 자속의 자로방향이 회전자의 진행방향에 대해 횡축방향으로 자로를 형성하는 횡자속형 스위치드 릴럭턴스 전동기에 대한 동특성 해석에 대하여 논하였다. 본 논문에서는 기본적인 상태방정식을 가지고 Matlab/Simulink를 이용한 횡축형 SRM의 동특성을 제시하였다. SRM의 특성을 해석하기 위해서 특성파라메터 $(L, dL/d\theta, \Psi)$ 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] J.R. Hendershot JR, TJE Mille,"Design Of Brushless Permanent-Magnet Motors" ,Clarendon Pressy, 1994

[2] Duane C.Hanselman, Brushless Permanent-Magnet Design, McGraw-Hill, 1994

[3] S.A Nasar, I.Boldea, L.E. Unnewehr, "Permanent Magnet, Reluctance and Self-Synchronous Motors", CRC Press, 1993

[4] S.A Nasar, I.Boldea, "LINEAR ELECTRIC ACTUATORS AND GENERATORS", Cambridge University Press, 1997