

단상 다이오드 브리지 정류기를 갖는 2상 SRM 특성해석

이찬교, 오주환, 권병일
한양대학교

Characteristic Analysis of Two-Phase SRM
with Single Diode Bridge Rectifier

Chan gyo Lee, Ju Hwan Oh, Byung Il Kwon
Hanyang University

Abstract - In this paper the converter topology using single diode bridge rectifier for the new two-phase switched reluctance motor is proposed. The single diode bridge rectifier is supplied by the Ac voltage source. The nonlinear model of two-phase SRM is implement by maxwell and result show the photographic.

Key words : switched reluctance motor (SRM) Diode bridge rectifier, two phase SRM

1. 서 론

스위치드 리럭턴스 전동기(SRM:Switched Reluctance Motor)는 구조가 간단하며 넓은 범위의 가변속 운전 등의 장점을 갖는다. 최근 전력용 반도체 소자의 기술개발이 급속히 발전함에 따라 SRM의 활용분야는 넓어지고 있으며 기존의 교류전동기나 직류전동기 등을 대체하기 위해 많은 연구가 이루어지고 있다.

그러나 SRM은 전자기적인 비선형이 크고, 정류시 갑작스런 전자기력 변화로 인해 토오크 리플 및 진동소음을 발생하게 된다[1]. 이러한 단점을 최대한 줄이기 위해 자기 형상을 변화 시키거나 전류 및 토오크 제어를 이용한다[2]. 특정용도의 분야에 있어서는 성능 및 경제적인 면에서 기존의 직·교류전동기에 비하여 SRM의 이점이 인정되고 있으며, 앞으로도 범용의 전동기로 그 자리를 차지할 것으로 기대된다.

SRM은 다양한 종류의 형상을 지닌다. 그중 2상 SRM은 보다 적은 전력용 반도체 소자를 사용하여 모터를 동작 시킬 수 있다. 하지만 회전자가 돌극형 구조인 경우 1상 SRM과 같이 제동기구나 어떠한 형태의 기동보조기가 없으면 실제로 사용할 수 없다. 또한 2상 SRM은 한 회전 전체구간에서 일정한 토오크를 생성할 가능성이 없다[3][5]. 이러한 단점을 해결하기 위해 snail-cam과 같은 회전자구조를 갖는 2상 SRM을 제시하였다. 2상 4/2극 Snail-cam 회전자 구조는 공극이 일정하게 줄어드는 것으로 단 방향으로 회전하는 경우 각 상은 기계각 90°보다 큰 단 방향 토오크를 발생시킬 수 있는 이점을 갖는다. 하지만 기동 토오크가 기존의 돌극형 회전자 구조보다는 낮은 특성을 지니게 된다.

본 논문에서는 구동시스템의 부품소자 및 부피를 최소화하기 위해 DC-link필터가 없이 단순히 다이오드 브리지 정류기만을 이용하였고, 그때 발생하는 연속적인 상전류를 위해 단 방향 회전이 가능한 기존의 Snail-cam 회전자 구조를 갖는 2상 SRM을 사용하여 그 구동특성과 가능성을 고찰하였다.

2. 단 방향 2상 SRM과 구동회로

2.1 단 방향 2상 SRM

2상 SRM은 기동과 제동이 문제점을 갖는다. 2상

SRM은 회전자 극은 2극으로 이루어져 있으며 1회전당 4개의 스트로크를 가지고 있다. 2상 SRM인 경우 토오크 덩을 피할 수 없는 구조이다. 이 문제는 전기각 180° 주기마다 상권선에 전류를 인가해주므로 토오크의 리플은 그 주기마다 크게 발생된다. 즉, 단 방향으로 회전하는 경우 각 상은 기계각 90°보다 작게 단 방향 토오크를 발생한다. 이러한 문제를 해결하기위해 그림 1과 같이 불균일한 회전자 구조를 갖는 SRM이 제안되었다.

본 논문에서는 단상 다이오드 브리지 정류기만을 이용하기 때문에 연속적인 상전류 발생으로 단 방향 회전이 가능한 snail-cam 회전자 형상을 갖는 2상 SRM을 선택하였다. 이 구조는 돌극형 회전자 구조인 경우보다 토크 리플이 작고 3상을 사용할 때 보다는 더 적은 소자로 구동할 수 있기 때문에 단 방향 회전인 경우에 많은 이점을 지닌다. 표 1은 표 1에서 제시한 설계된 전동기의 단면도를 보여준다.

표 1 2상 SRM의 사양

인가 전압[V]	310
정격 속도[rpm]	1800
고정자 외경[mm]	80
회전자 구조	snail-cam
고정자 극수[pole]	4
정격 출력[W]	80
적층 길이[mm]	50

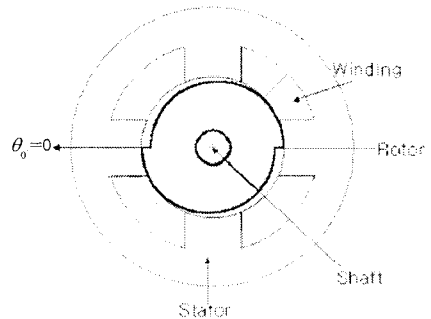


그림 1 사용된 SRM의 구조

2.2 구동 회로 및 동작모드

일반적으로 SRM에서는 고 토오크를 발생하기위해 높은 입력전압과 전류 그리고 높은 자속밀도가 필요하다. 그래서 일정한 입력전압을 유지시키기 위해 DC-link 단에 큰 용량의 커패시터를 사용한다. 그러나 구동전

버터의 가격과 부피 때문에 SRM 구동회로 정류기에 소용량 커패시터를 사용하고 그로 인해 DC-link 전압에 리플을 발생시키게 된다. 또한 순차적인 정류시 갑작스러운 전자기력 발생으로 인해 토오크 리플 및 진동소음을 발생하게 된다. 이러한 점을 고려하여 상전류 제어방법이 제시되었다[4][6-7]. 즉 상전압을 가변하는 것과 같다.

본 논문에서는 이러한 구동시스템과 정류시 일어나는 문제를 줄이고자 DC-link 단에 커패시터를 없애고 정류된 전압만을 이용한다.

그림 2는 단상 다이오드 브리지 정류기만을 이용한 컨버터의 구조이다. 적용소자는 비대칭 소자를 기준으로 뒀단에 각각 1개씩만 존재하고 연속적인 전류를 이용하기 위해 환류다이오드 각각 1개씩만 사용했다. 기존의 비대칭 컨버터에 소자 수 보다 적게 이용하여 구동할 수 있다. 그림 3은 설계된 SRM을 기동하고 일정한 속도를 유지하기 위해 스위칭소자에 스위칭신호를 발생하기 위한 회로도이다. +phase는 AC전원에 positive 전압주기의 신호이면 -phase는 negative 전압주기의 신호이다. position은 회전자 위치신호를 나타낸다. 이와 같이 각 신호에 따라 스위칭이 온(On) 오프(Off)되고 회전자주기와 AC phase 주기($T=1/f$)가 일치할 경우 일정한 회전속도를 얻을 수 있다.

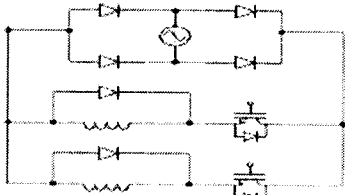


그림 2 다이오드 브리지 정류기

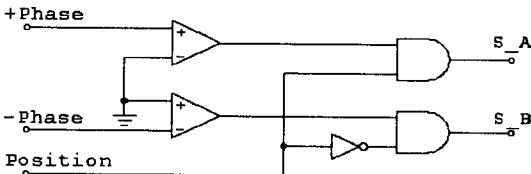
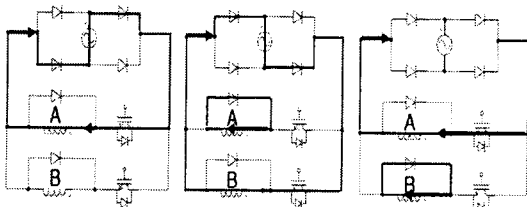


그림 3 스위칭신호 발생기

단상 다이오드 브리지 정류기의 동작모드는 정류기 스위치의 온(ON), 그리고 오프(OFF)에 따라 그림 3과 같이 크게 세 가지 모드로 분류할 수 있다.



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

그림 4 단상 다이오드 브리지 정류기의 동작모드

Mode 1 : A상에 정류된 AC전압을 인가해 주는 구간으로 정류기를 통한 AC전원전압을 권선에 인가시켜 줌으로써 여자시켜 주는 단계이다.

Mode 2 : A상 권선에 전류가 흐르고 있을 때 A상 스위치를 Turn-off 하여 주면 환류가 일어나는 동시에 B상의 스위치를 Tunn-on시켜 줌으로써 B상을 여자시켜 주는 단계이다.

Mode 3 : B상 권선에 전류가 흐르고 있을 때 A상 스위치를 다시 turn-on시켜 줌으로써 A상을 여자시켜 주는 단계이다.

이와 같은 동작모드로 연속적으로 이루어지게 한다. 하지만 SRM의 기동일 경우에는 회전자 위치센서 출력 신호 주기($T=1/f$)와 정류기를 통한 AC펄스 주기($T=1/f$)가 절대적으로 일치하지 않게 된다. 따라서 회전자 위치센서신호의 주기동안에 연속적인 전류를 공급해줘야 한다. 그러기 위해서는 적당한 회전자 초기위치가 필요하고 환류동작모드 Mode2가 반드시 필요하게 된다. 따라서 기동에서의 속도의 떨림은 기존 비대칭 브리지 컨버터보다 많은 떨림을 발생할 수 있다. 기동이 이루어진 후 회전속도가 증가하므로 회전자 위치센서의 출력신호 주기(T)는 점점 작아지게 되고 일정한 펄스를 갖는 정류된 AC전압 주기(T)와 일치하게 된다.

3. 시뮬레이션 해석 결과 및 고찰

3.1 정적특성해석

외부구동회로를 사용할 수 있는 상용해석 프로그램인 Ansoft EM 2D를 이용하였다. 본 논문에서는 전류값을 1, 2, 4, 6, 8, 10[A]로 일정하게 인가 할 때의 회전자 위치에 따른 쇠교자속 및 토오크 값을 고찰할 수 있었다. 그림 5는 입력된 전기에너지가 기계에너지로 변환되는 비율과 추위를 분석할 수 있도록 전류변화량에 따른 쇠교자속의 프로파일을 보여주고 있다. 설계된 SRM의 공극에 따른 쇠교자속을 파악할 수 있고 상권선 여자시 자속포화정도를 파악할 수 있다.

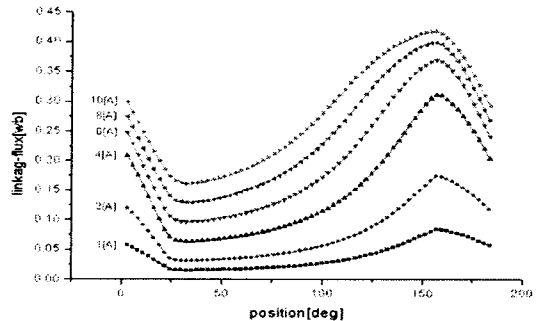


그림 5 전류 변화량에 따른 쇠교자속 프로파일

정적 토오크(static torque)는 일정한 전류를 인가할 때 전류 변화량에 따라 발생하는 토오크를 나타낸 것으로 본 논문에서 사용되어진 형상으로 SRM 구동시 적절한 토오크를 발생시키기 위하여 초기위치를 정할 수 있는 기준이 될 수 있다. 그림 6은 전류가 1, 2, 4, 6, 8, 10[A]인 경우의 회전자위치에 따라 설계된 SRM의 정적 토오크를 나타내고 있다.

3.2 동적 특성해석

동적 해석은 설계된 SRM의 운전조건으로 회전하는 상태를 해석하는 것으로 SRM를 구동하는 드라이빙은 DC-link 커패시터가 없는 단상 다이오드 브리지 정류기를 사용하였고 각 상의 스위치를 온(on) 오프(off)하여 여자 함으로써 동작하는 상태를 해석하였다.

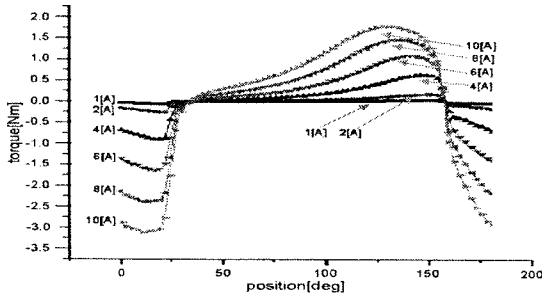


그림 6 전류 변화량에 따른 토크 프로파일

SRM의 속도는 정격 1800[rpm]으로 정속 운전하며, 입력 전압은 브리지 다이오드 정류기를 통하여 AC전압 실효값으로 이루어진다. 회전자의 초기위치 θ_0 는 기동 토크 및 부하 토크를 고려하여 45°와 50°를 각각 비교하였다. 그림 7은 상 전압 인가 시 회전자의 위치에 따른 전동기의 자속분포를 나타내고 있다. Mode 1은 회전자가 A상을 지나고 있을 때, Mode 2는 A상 권선이 환류 하는 동시에 B상에 전류가 인가되었을 때 환류 되는 모습, Mode 3은 회전자가 B상을 빠져 나가고 있을 때의 자속분포를 설명하고 있다.

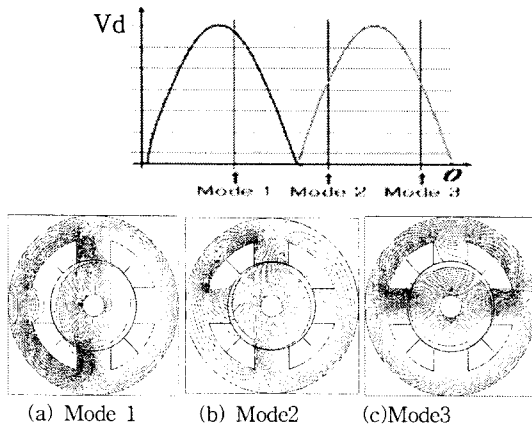


그림 7 상의 위치에 따른 자속 분포도

그림 8은 정류기를 갖는 컨버터인 경우에 대해 토크 특성을 보여준다. 또한 회전자의 초기 위치에 따른 토크 특성을 비교하였다. 정류된 AC전압을 인가한 경우 일정한 토크 리플과 고조파를 확인할 수 있다. 이는 정류된 AC전압은 가변전압이기 때문에 갑작스러운 전자기력 변화가 일어나지 않음을 알 수 있다. 따라서 토크 리플을 줄일 수 있고 그로인해 소음 및 진동을 줄일 수 있다. 이는 그림 4(a)에서 스위치가 온(on)되면 다이오드는 역바이어스되어 전류가 흐르지 않고, 상 권선에 흐르게되며 이때 상권선에 인덕턴스의 전류는 미분방정식에 의해 식 (2)와 같다.

$$L \frac{di}{dt} + Ri = V \quad (1)$$

이때 t_1 시간에 인덕턴스의 전류가 초기치 I_1 이라고 가정하면 전류는 식 (2)와 같다.

$$i(t) = \frac{V}{R} + (I_1 - \frac{V}{R})e^{-(t-t_1)(\frac{L}{R})} \quad (2)$$

스위치가 t_2 시간에 오프(off)되어 환류다이오드가 작동하는 그림 4(b)의 전류는 LR의 시정수로서 감소하게 되므로 식(3)과 같다.

$$i(t) = Ie^{-(t-t_2)R/L} \quad (3)$$

이와 같이 스위치의 온(on)과 오프(off)에 의해 상권선에 충전과 방전이 연속적으로 이루어져 기동 토크 및 일정한 평균 토크를 얻을 수 있게 된다.

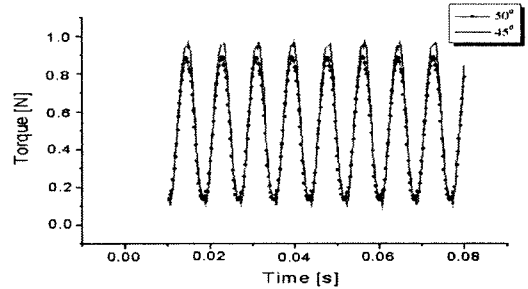


그림 8 토크 특성 비교

4. 결 론

본 논문에서는 단상 다이오드 브리지 다이오드 정류기를 사용하기 위해 일정속도 및 단 방향 회전이 가능한 2상 snail-cam 회전자구조를 갖는 SRM을 선택하였고, 그 구동 가능성을 고찰하였다. 그 결과 기동시 기동 토크를 위한 회전자의 초기 위치에 대한 부분과 모터를 정격 속도로 구동시키기 위해 회전자의 위치와 정류기를 통한 AC필스 주기를 연속적으로 일치 시켜주기 위한 부분을 고려해야 한다는 점을 확인하였다. AC전원을 사용하기 때문에 토크 리플 및 소음진동은 줄었고 단순한 컨버터를 이용하기 때문에 전력용 반도체 소자수와 컨버터 부피가 줄어 일체형 SRM를 고려해 볼 수 있어 송풍기와 같은 단 방향성을 갖는 적용 분야에 대체 가능할 것으로 본다.

결과적으로 그 가능성을 확인하였고 앞으로 기동 및 평균 토크와 구동 스위칭 방법을 고려한 SRM과 컨버터의 설계를 통하여 SRM의 운전 가능 함을 실험으로 확인 하고자 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] T. J. E. Miller, "Switched reluctance motor and their control", Oxford, University Press 1993.
- [2] T. J. E. Miller, "Electronic Control of Switched Reluctance Machines", Newnes, 2001.
- [3] J. Y. Lee, G. H. Lee, J. J. Lee, J. P. Hong, K. H. Ha, "An Improved 2-Phaed Snail-Cam Type Pan Motor Design", Sixth International Conference pp:166 169 vol.1, 2003.
- [4] S. G. Oh, Y. B. Choo, I. C. Lee, Y. M. Hwang, "Study on the D.C Excitation Commutation Method of Vibratory", PowerElectronicsAnnual Conference, pp:157- 150, 1999.
- [5] Bedford, B. D., "US Patent No.3678352 and 3679953", 1974.
- [6] Nolan, R., II; Raviraj, S.; Pillay, P. "Effects of the DC link filter on the performance of a four phase SRM"; Southeastcon, Proceedings., IEEE Page(s):4 p, 1993.
- [7] Hwu. K. I, Liaw.C. M, "DC link voltage boosting and switching control for switched reluctance motor drives", Electric Power Applications, IEE Proceedings Volume 147, Issue 5, pp:337 344, 2000.