

상권선 스위칭방식에 따른 SRM의 특성해석

김태형, 안진우, 안영주*
경성대, 부경대*

Characteristic Analysis according to Switching Method in SRM

Tae-Hyoung Kim, Jin-Woo Ahn, *Young-Ju An
Kyungsung Univ., *Pukyung National Univ.

ABSTRACT

Switched Reluctance Motor(SRM) has been researched for its superior characteristics. The SRM drive system has simple mechanical and magnetic structure, and it requires simple power electronic drive circuit. It is to be compatible to wide range adjustable speed drive system because it has the same driving characteristics of DC series motor's, easy control principle and high efficiency characteristics.

In this paper, 2 types of excitation stratgy are researched. Conventional 1-phase excitation and 2-phase excitation method are compared and tested. Though 1-phase excitation method is robust and has high performance, 2-phase excitation method has some merit in applying power device. Some simulation and test results are dealt with some analysis.

1. 서 론

스위치 릴럭턴스 전동기(Switched Reluctance Motor, 이하 SRM)는 단순한 구조와 넓은 가변속 범위에서 구동이 가능한 장점을 가지고 있는 전동기이다. 이에 근래 전력전자 기술의 발전에 따라 여러 가전분야 및 사무용의 적용을 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다.[1]

이러한 실정에 비해 기존의 전동기구와 다른 SRM 구동컨버터의 구성으로 인해 어려움을 겪고 있다. SRM의 경우 모듈화된 인버터 모듈(Intelligent Power Module, 이하 IPM)의 이용이 어렵다. 이는 일반적으로 SRM의 구동용 컨버터에 제어의 다양성이 가장 높은 비대칭 브릿지 컨버터(Asymmetric bridge converter)가 사용되나, 현재 생산되고 있는 IPM중에는 비대칭 브릿지 컨버터만

으로 구성된 제품이 존재하지 않기 때문이다. 따라서 소형화, 경량화, 저가격화에 어려움을 겪고 있다.

이에 본 논문에서는 동일한 기계적 구조를 가진 SRM에서 상여자 방식의 변화를 통하여 IPM의 적용이 가능한 2상 여자방식에 대하여 논한다. 이를 위하여 1상 여자방식과 2상 여자방식에 따른 성능 변화를 비교하고 적용시 장단점에 관해 논한다. 이를 위하여 실제 2.2[KW]급 유압펌프용 전동기에 적용함으로써 그 성능변화를 해석하였다.

2. 여자방식에 따른 특성비교

그림 1은 SRM에서 각 권선방식에 따른 SRM의 여자방식을 나타내고 있다. 본 논문에서는 동일한 권선구조, 즉 단절권 방식에서 권선의 연결 및 상스위칭의 변화만으로 변경이 가능한 1상 여자방식과 2상 여자방식에 관하여 논의한다.

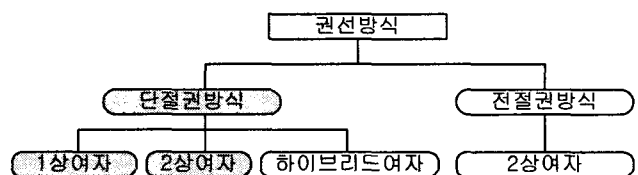
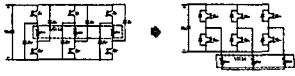


그림 1 SRM 드라이브의 권선 및 여자방식에 따른 분류
Fig.1 Classification according to winding and excitation method in SRM drive

2.1 구동회로의 비교

그림 2는 일반적으로 사용되고 있는 1상여자 비대칭 브릿지 컨버터와 2상여자에 사용되는 풀-브릿지 컨버터를 나타낸 것이다.

그림2 (a)는 일반적으로 적용되고 있는 비대칭 브릿지 컨버터는 제어의 다양성이 뛰어나고 각상의 전류 제어가 독립적이어서 두상의 전류중첩이 가능하다. 또한 고전압, 대용량에 적합하며 스위치의 정격전압이 상대적으로 낮은 장점을 가진다.



(a) one-phase excitation - classic inverter



(b) two-phase excitation - full bridge inverter

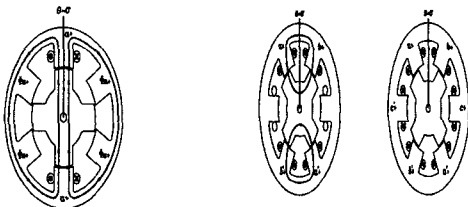
그림 2 전력변환장치

Fig. 2 Switching converter

2상 여자 방식의 경우, 그림2의 (b)와 같이 기존의 3상 유도기에 사용되는 IPM을 그대로 사용할 수 있다는 장점을 가진다. 이 경우 SRM 제어기의 크기를 줄일 수 있으며, 대량생산된 상용제품을 통해 전체적인 생산단가가 낮아지는 장점을 가지게 된다. 그러나 각 상당 독립제어가 어려워 상전류제어에 상당한 어려움을 크다.[2][3]

2.2 동작형태의 비교

그림 3은 1상여자 방식과 2상여자 방식에 따른 최소 릴럭턴스 위치 즉 회전자-고정자 정렬상태에서의 자기경로를 나타낸 것이다. 기존의 1상 여자 방식의 각 상여자시 6/4극인 경우 자속의 경로가 각 스위칭 구간마다 상간의 결합없이 독립적으로 2개 형성되는 가변 릴럭턴스를 갖는 것과는 달리 2상여자방식에서는 각 스위칭 구간마다 상간의 가변 상호릴럭턴스를 갖는 자속의 경로를 가 4개 형성되게 하여 상간 커뮤테이션 기능을 강화한다.

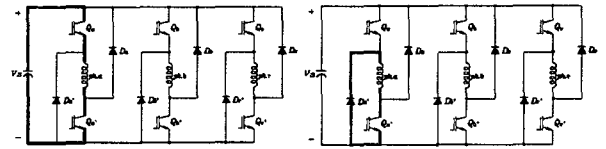


(a) one-phase Excitation (b)two-phase excitation

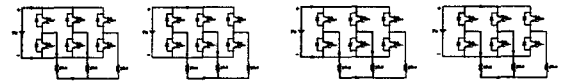
그림 3 SRM에서 여자방식에 따른 최소 릴럭턴스 위치
Fig. 3 Minimum reluctance position according to excitation method in SRM

그림 4는 여자방식에 따른 기본적인 동작형태를

나타낸 것이며 그림 5는 그에 따른 인덕턴스 프로파일과 전류형태를 나타낸 것이다. 2.2절에서 설명한 바와 같이 1상 여자방식의 경우 각 상전류가 독립적이므로 상당 발생되는 토크 또한 독립적이며, 큰 토크리플을 가지게 된다. 반면 2상여자의 경우 중첩되는 상전류에 의해 발생하는 토크 또한 중첩되어 1상 여자방식에 비해 적은 토크리플이 발생된다는 장점을 가질수 있다. 그러나 이로 인하여 각 상의 상승구간에서 이전상과의 상호인덕턴스는 감소하게 되므로 실제 토크는 1상 여자방식에 비해 감소하게 된다.



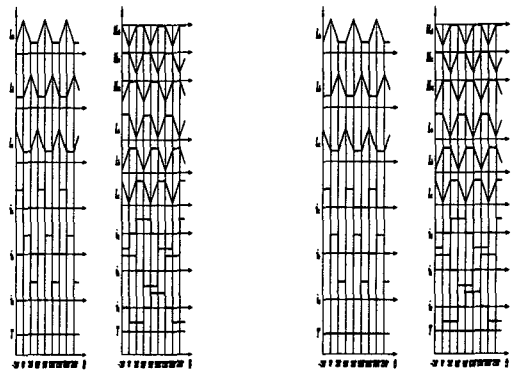
(a)one-phase excitation



(b)two-phase excitation

그림 4 SRM에서 여자방식에 따른 동작모드

Fig.4 Inductance and Switching time position according to excitation method in SRM



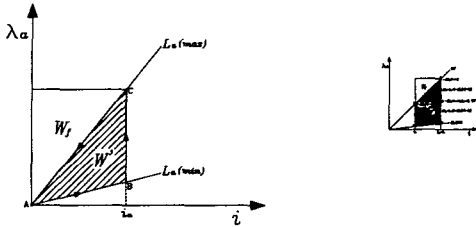
(a) one-phase Excitation (b)two-phase excitation

그림 5 SRM에서 여자방식에 따른 인덕턴스와 스위칭시점
Fig.5 Inductance and Switching time position according to excitation method in SRM

2.3 에너지 변환효율 및 출력의 비교

그림 4는 여자방식에 따른 에너지변환곡선을 나타낸 것이다. 2상여자방식의 경우 비 포화시 각 상의 자속쇄교수는 그림 6의 (b)에 궤적을 따라 바뀌므로 사다리꼴의 에너지변환곡선을 형성하게 된다.

기존의 여자방식인 경우인 그림 6의 (a)와 같이 삼각형 형태의 에너지변환곡선을 형성하므로 2상 여자방식인 경우가 기존의 1상 여자방식보다 에너지 변환율 ($\frac{W_f}{W}$)은 증가되었음을 알 수 있다.



(a) one-phase excitation (b) two-phase excitation
 그림 6 비포화시 자속쇄교수-전류곡선
 Fig. 6 Nonlinear fluxlinkage-current curve method

1상 여자방식에서의 토크는 식(1)과 같이 회전자 위치에 따른 각 상의 자기 인덕턴스와 전류의 제곱의 합으로 나타나게 된다.

$$T = \frac{\partial W'}{\partial \theta} \Big|_{i=const.} = \frac{1}{2} i_a^2 \frac{dL_a(\theta)}{d\theta} + \frac{1}{2} i_b^2 \frac{dL_b(\theta)}{d\theta} + \frac{1}{2} i_c^2 \frac{dL_c(\theta)}{d\theta} \quad (1)$$

그러나 2상 여자방식의 각 여자구간마다 2상이 여자되어지므로 발생토크는 자기인덕턴스에 의한 항과 식(2)와 같이 다른 상과의 상호인덕턴스의 합으로 식(3)과 같다. 본 논문의 적용대상인 12/8극의 경우 상당 회전자 위치각이 15°의 차를 보인다.

$$\begin{aligned} M_{ab}(\theta) &= M_{ab}(\theta) \\ M_{bc}(\theta) &= M_{bc}(\theta - 15^\circ) \\ M_{ca}(\theta) &= M_{ca}(\theta - 30^\circ) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} T &= \frac{\partial W'}{\partial \theta} \Big|_{i=const.} \\ &= \frac{1}{2} i_a^2 \frac{dL_a(\theta)}{d\theta} + \frac{1}{2} i_b^2 \frac{dL_b(\theta)}{d\theta} + \frac{1}{2} i_c^2 \frac{dL_c(\theta)}{d\theta} \\ &\quad + i_a i_b \frac{dM_{ab}(\theta)}{d\theta} + i_b i_c \frac{dM_{bc}(\theta)}{d\theta} + i_c i_a \frac{dM_{ca}(\theta)}{d\theta} \end{aligned} \quad (3)$$

따라서 2.2절에서 밝힌바와 같이 2상여자방식에서는 3상이 모두 도통하는 구간이 발생하여 출력면에서 감소가 발생한다.[4]

2.4 2상 여자방식의 적용대상분석

2상 여자방식은 앞서 논한 것과 같이 상용화되어 유도전동기등에 적용되고 풀-브릿지 형태의 IPM을 그대로 이용할 수 있다는 장점을 가진다. 이는 SRM의 적용에서 문제시 되었던 구동시스템의 소

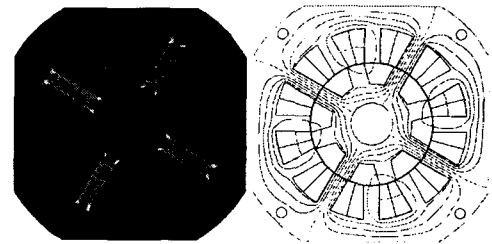
형화, 저가격화에 많은 도움을 줄것으로 예상된다. 또한 소음 진동에 관한 문제도 줄일수 있는 장점을 가진다. 반면 1상 여자방식에 비해 제어가 복잡해지며, 출력이 낮다는 단점을 가지게 된다. 그러므로 2상 여자방식의 구동시스템의 경우 부하의 변화가 심하며 높은 속도범위를 요구하는 시스템보다는 특정 속도범위내에서 부하변동이 작으며, 정음을 요구하는 시스템에 적합할 것을 판단된다.

3. FEM 시뮬레이션을 통한 성능비교

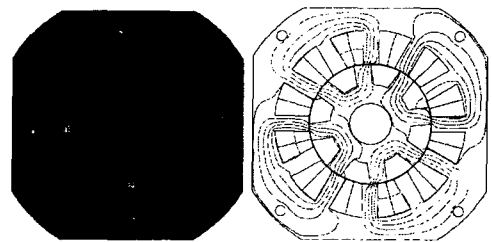
그림 7은 1상여자방식과 2상 여자방식의 자속분포를 나타낸 것으로 1상 여자방식에 비해 2상 여자방식이 다소 자속분포가 복잡함을 알 수 있다. 표 1은 대상인 12/8구조의 유압펌프용 2.2[Kw]급 전동기의 주요재원을 나타내었다.

표 1. 생성전동기 성능 및 주요 파라미터
 Table. 1 Performance and parameters from simulated results

Ds	156[mm]	Bs / Br	15 / 16 [mm]
Dr	110[mm]	ys / yr	12.5 / 11 [mm]
Power	2.2[KW]	Airgap	0.25 [mm]



(a) one-excitation method



(b) two-excitation method

그림 7 SRM에서 여자방식에 따른 FEM 해석결과
 Fig.7 Simulated result according to excitation method in SRM

4. 결 론

본 연구에서는 SRM의 구동시스템의 저가격화와 소형화를 위한 2상 여자방식에 관하여 분석하였다. 이를 위하여 기존 여자방식과 컨버터, 변환기구, 제

어방식등을 비교하였으며, 2상 여자방식의 적용시 기존에 비해 이점을 가질수 있는 시스템에 관하여 제시하였다. 또한 2.2[Kw]급 유압펌프용 SRM에 적용, FEM 시뮬레이션을 통하여 동일한 전동기에 대한 성능변화를 확인하였다. 차후 FEM 시뮬레이션을 통하여 자계형상분석외 출력, 효율, 소음발생 등의 다각적인 비교와 함께 실제 구동시스템과 전동기에 적용하여 그 결과를 입증하고자 한다.

본 연구는 과학재단 목적기초연구(No. R01-2001-0000300-0) 지원에 의해 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] P.J.Lawrenson, J.M.Stephenson, P.T.Blenkinsop, J. Corda and N.N.Fulton, "Variable Speed Switched Reluctance Motors", Proc. IEE, Pt.B, Vol.127, No.4, pp.253-265, July 1980
- [2] 문재원, 오석규, 안진우, 황영문, "상호인덕턴스를 이용한 전절권 SRM의 운전특성", 대한전기학회 논문지, Vol.47, No.9, pp 1364-1370
- [3] J.W Ahn, "Model and simulation of the Switched Reluctance Motor Drive System", KIEE International Trans. on EMECS, vol. 2-8, PP. 201~206, 2002
- [4] 안진우, "스위치드 릴럭턴스 전동기",오성미디어, 2004