

3상 SRM 구동용 4-스위치 인버터의 PWM 제어 알고리즘

정균하, 윤용호, 김영란, 이병국*, 원충연
 성균관대학교, 한국전기연구원*

PWM Control Algorithm for 4-Switch Inverter of 3-Phase SRM Drives for Low Cost Application

Kyun-Ha Jeong, Yong-Ho Yoon, Young-Ran Kim, Byoung-Kuk Lee, Chung-Yeun Won
 Sungkyunkwan University, Korea Electrotechnology Research Institute

ABSTRACT

This paper suggests a new type of 4-switch inverter for switched reluctance motor drives. 4-switch Inverter topology is studied to provide a possibility for the realization of cost of 3-phase SRM drive system. We used Y-connection and two-phase exciting method. For effective utilization of the developed system, a direct current controlled PWM scheme is designed and implemented to produce the desired dynamic. We solve to balance the neutral point of Y-connection by the direct current controlled PWM and examine the performance of proposed system. With the algorithm and developed control scheme, is expected that the proposed system can be widely used in commercial applications with a reduced system cost.

1. 서 론

SRM은 고정자측에만 권선이 있고 회전자에는 권선이 없는 돌극형 구조로 구성되어 있어 다른 전동기보다 간단한 구조를 가지고 있다. 이로 인하여 고온 등의 열악한 환경에서도 신뢰성이 높으며, 브러시 등이 없어 유지보수가 필요 없는 장점을 갖는다. 이처럼 경제성과 고효율성을 가지고 있지만 범용으로 사용하기 위해서는 별도의 구동용 컨버터가 필요하다는 문제점이 있다.

그림1은 현재 SRM 구동용 컨버터로 사용하고 있는 비대칭 컨버터이다. 이 비대칭 컨버터는 제어성과 동작 특성이 우수하지만 상당 2개의 스위치와 다이오드가 사용됨으로써 경제성이 낮다. 이러한 이유로 인하여 SRM이 산업 전반에 범용으로 사용되지 못하고 있다.

그림 2는 본 논문에서 제안한 4-스위치 인버터로써 6-스위치 인버터와 유사한 특성을 갖고 있지만 6-스위치 인버터와 비대칭 컨버터보다 적은 소자를 사용하여 3

상 SRM 을 구동할 수 있는 장점을 가지고 있다^{[1][3]}.

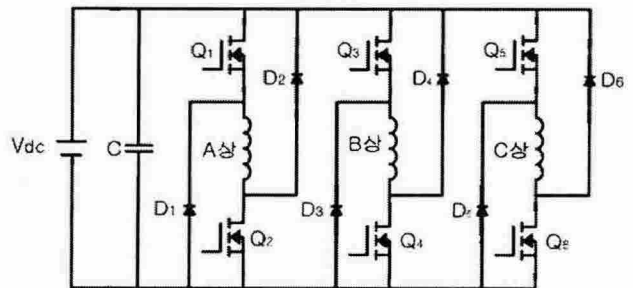


그림 1 비대칭 컨버터
 Fig. 1 Asymmetric bridge converter

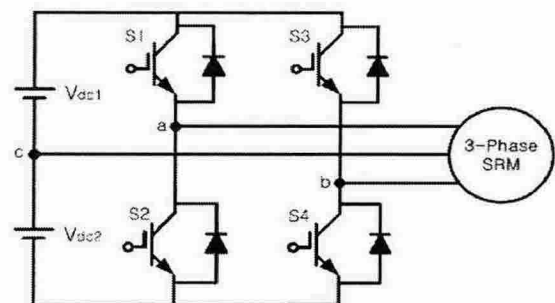


그림 2 제안한 3상 4-스위치 인버터
 Fig. 2 Proposed 4-switches inverter

2. SRM의 구동원리

식 (1)은 SRM의 토오크식 으로써 이 식에서 토오크는 인덕턴스의 기울기와 상전류의 제곱에 비례한다는 것을 알 수 있다.

$$T = \frac{\partial \omega_c}{\partial \theta} = \frac{1}{2} i^2(\theta) \frac{dL(\theta)}{d\theta} \tag{1}$$

그림 3은 SRM의 인덕턴스 프로파일과 발생 토오크를 나타내고 있다.

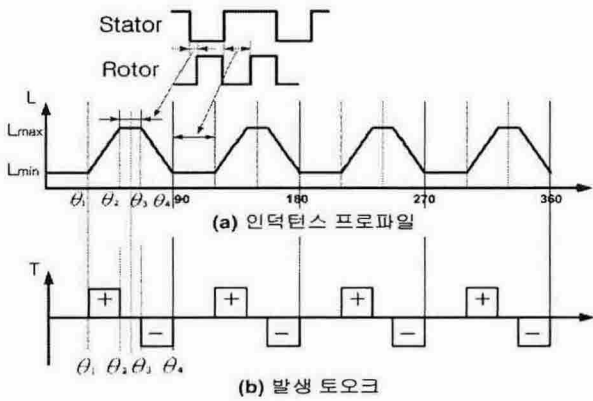


그림 3 SRM의 구동원리
Fig. 3 Operation principle of SRM

3. 제안한 방식

A. SRM의 2상 여자 방식

일반적인 SRM 구동방식은 각 상마다 독립적으로 여자해주는 단상여자방식을 사용하고 있다.

하지만 본 논문에서는 Y-결선을 하여 2상 여자방식에 선형각을 사용하면 부토크 영역이 발생하여 효율이 낮아 지게 되므로 선형각을 고려하지 않았다.

식(1)에서 알 수 있듯이 SRM의 토크는 전류의 방향과 무관하므로 이러한 특성을 이용하여 인버터 구동이 가능할 수 있다.

그림 4 상단의 $0^\circ \sim 30^\circ$ 구간을 보면 A상은 인덕턴스 프로파일은 증가하는 구간, B상은 최소값으로 일정한 구간이고 C상은 감소하는 구간이다.

표 1 스위칭 시퀀스
Table 1. Switching sequences

Mode	Active phase	Torque	Silent phase	Switch on	Current of neutral point
mode 1	phase A, B	A	C	S1, S4	$I_a + I_b = 0$ and $I_c = 0$
mode 2	phase B, C	B	A	S3	$I_b + I_c = 0$ and $I_a = 0$
mode 3	phase C, A	C	B	S2	$I_c + I_a = 0$ and $I_b = 0$

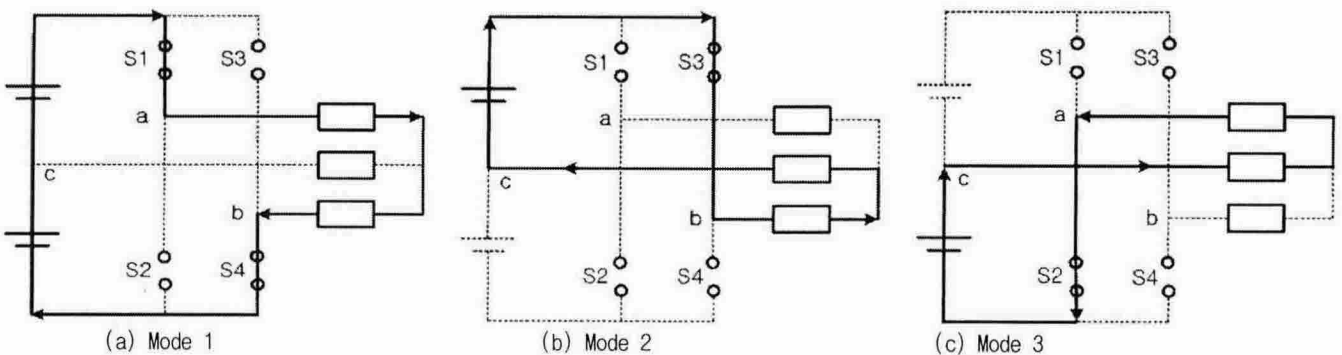


그림 5 동작모드
Fig. 5 Operation Mode

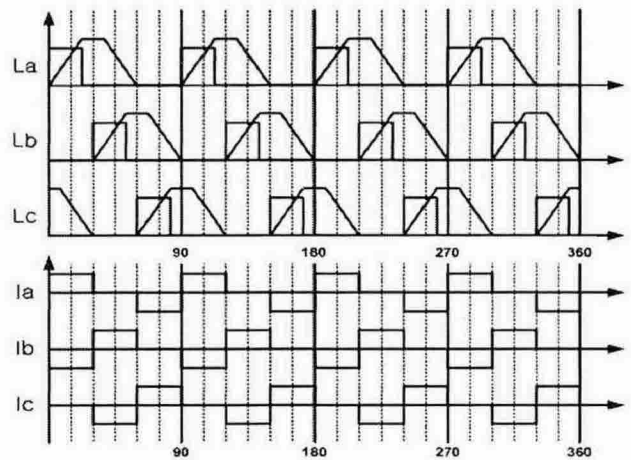


그림 4 인덕턴스 프로파일과 각 상의 여자전류
Fig. 4 Inductance profile and exciting current of each phase

따라서 A상을 여자할 경우에는 A상에서 B상으로 전류가 흐르도록 스위칭을 해주어야 한다. 그림 4 하단의 전류 파형에서도 알 수 있듯이 A상은 양의 전류가 흐르고 B상은 음의 전류가 흐르게 된다.

이렇게 함으로써 A상만이 토크를 발생하게 된다.

B. 동작 모드

4-스위치 인버터에서 정·역 구동시 사용하는 모드는 총 6가지이다. 이 중에서 A, B, C상 순서로 여자할 경우에는 그림 5의 (a) 모드 1, (b) 모드 2, (c) 모드 3 순서로 동작된다.

C. 제어 알고리즘

표 1은 4-스위치 인버터의 스위칭 시퀀스를 나타내는 것으로서 각 모드에서의 여자되는 두상의 전류의 합은 '0'이다.

모드 1의 경우, S1 and S2가 온이 되어 A상과 B상에만 전류가 흘러야 하지만 실제 V_{dc2} 에서 모터 중성점으로 전류가 흐르는 현상이 발생한다. 따라서 A, B상을 독립적으로 제어하지 않을 경우에는 C상에 전류가 흐르게 된다.

이러한 문제점의 해결하기위해 그림 6에서 보는바와 같은 방식을 적용하였다. S1은 A상의 전류를, S4는 B상의 전류를 이용하여 제어하였다. 이렇게 함으로서 A상으로 들어오는 전류와 B상으로 나가는 전류를 같도록 하였다.^[1]

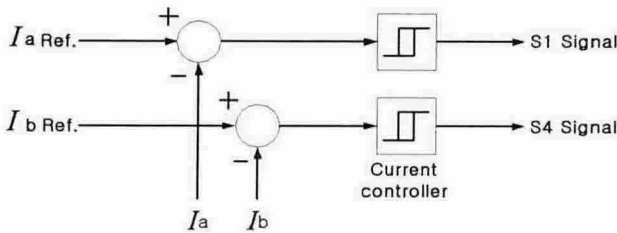


그림 6 중성점의 불균형을 보상하기 위한 PWM
Fig. 6 PWM strategy for balancing of neutral point

4. 시뮬레이션

그림 7은 모드 1의 경우 중성점 전류제어를 수행하지 않은 경우이다. A, B상을 여자 할 경우 C상에 전류가 흐르므로 중성점의 전류 제어가 잘 되고 있지 않다는 것을 나타내고 있다.

그림 8은 중성점 전류제어를 수행한 경우이다. 그림 7의 경우와 다르게 두상에만 전류가 흐르는 것을 알 수 있다.

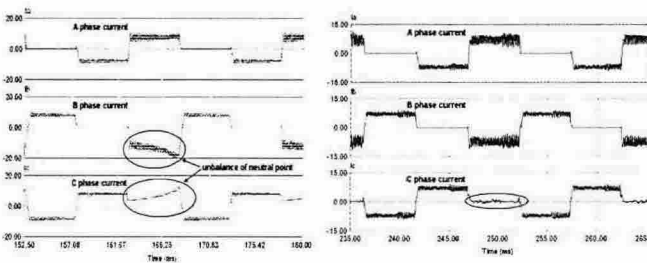


그림 7 모드 1에서 나타난 문제점
Fig. 7 Problem of Mode 1

그림 8 상전류 파형
Fig. 8 Phase current waveform

그림 9는 각 스위치의 스위칭 신호를 나타내고 있다. 그림 10은 그림 9의 S1과 S4의 확대파형이다. 그림 10은 그림 6과 같이 두 상이 독립적으로 제어되는 것을 나타내고 있다.

그림 11은 속도 지령치를 0rpm에서 1,000rpm으로 주었을 경우 속도파형이고 그림 12는 지령치를 1,000rpm에서 2,000rpm으로 주었을 경우의 속도파형을 나타내고 있다.

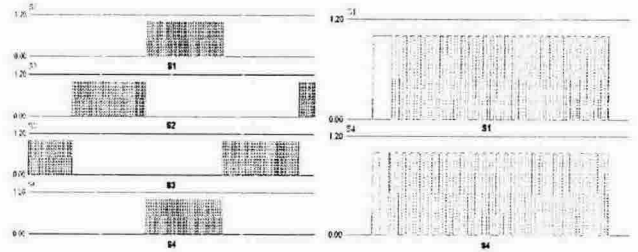


그림 9 각 상의 스위칭 신호
Fig. 9 Switching signal of each phase

그림 10 S1, S4 확대 파형
Fig. 10 expanded waveform of S1, S4

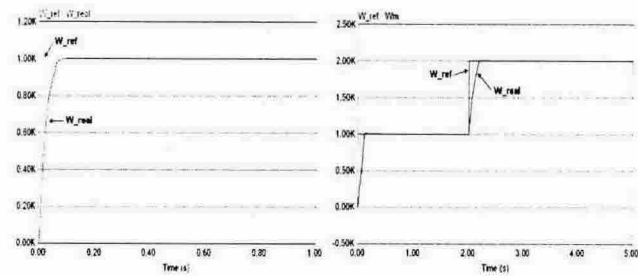


그림 11 속도 파형
Fig. 11 Speed waveform
(0rpm → 1,000rpm)

그림 12 속도 파형
Fig. 12 Speed waveform
(1,000rpm → 2,000 rpm)

5. 결론

본 논문에서는 SRM을 구동하기 위한 4-스위치 인버터를 제안하였다. 각 상을 독립적으로 제어하는 단상 여자방식이 아닌 Y-결선으로 2상 여자방식으로 구동하였고 범용으로 사용되는 인버터(IGBT모듈)를 적용함으로써 사용 범위를 넓혔다.

또한 6-스위치 인버터, 비대칭 컨버터 보다 적은 소자를 사용함으로써 경제성을 갖도록 하였다.

추후계획으로는 진동 및 소음측정을 통하여 비대칭컨버터와 비교할 계획이다.

이 논문은 에너지관리공단(04-02-N0201-02)의 에너지 절약기술연구사업 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참고 문헌

- [1] Byoung-Kuk Lee, "On the feasibility of four-switch three-three-phase BLDC motor drives for low cost applications: topology and control", IEEE Power Electron, vol. 18, pp. 164-172, January.
- [2] Jin-Woo Ahn and Seok-Gyu Oh, "A Three-Phase Switched Reluctance Motor With Two-Phase Excitation," IEEE Trans. Ind. Power Electron, vol.35, pp. 1067-1075.
- [3] T.J.E Miller, Electric Control of Switched Reluctance Machines, Newnes, 2001.
- [4] R. Krishnan, Switched Reluctance Motor Drives, CRC Press, 2001.