

멀티레벨 인버터를 이용한 SRM 운전특성

왕혜군, 이상훈, 이동희, 안진우
경성대학교

Characteristic of SRM Drive using Multi-level Converter

Wang Huijun, Sang-Hun Lee, Dong-Hee Lee, Jin-Woo Ahn
Kyungsoong University

Abstract - In this paper, a modified multi-level convert for low cost high speed switched reluctance (SR) drive is proposed. The proposed multi-level converter has reduced number of power switches and diodes than that of a conventional asymmetric converter for SRM, and lower voltage rating of the dump capacitor comparing with energy efficient c-dump converter. It can supply five operating modes that is boosted, DC-link, zero, negative bias and negative boosted voltage. The proposed multi-level converter has fast excitation and demagnetization modes of phase current, so dynamic response can be achieved. The proposed multi-level converter is verified by computer simulation and experimental results.

1. 서 론

스위치드 릴럭턴스 전동기(Switched Reluctance Motor)는 고효율, 고속운전, 간단한 전자기적 구조, 용이한 가변속제어 등의 장점을 가지고 있어 전력용 반도체 소자 기술이 급속히 이루어짐에 따라 선진국을 중심으로 가전기기, 전기자동차, 항공기 및 산업전반에 걸쳐 그 응용영역을 확대해가고 있다.[1][2]

본 논문에서는 기존의 비대칭 인버터와 비교하여 스위칭 소자 수를 줄이고 회수된 에너지를 다음 상의 여자전류에 사용하는 새로운 형태의 멀티레벨 인버터를 제안한다. 이는 SRM 고속영역에서 각상의 전류를 신속하게 여자 및 감자시켜 SRM의 토오크 발생 영역을 넓힐 수 있으므로 SRM 시스템의 고속영역에서의 동적 특성을 개선시킬 수 있다. 제안된 인버터의 성능 확인을 위해 시뮬레이션과 실험을 통해 증명하였다.

2. 본 론

2.1 제안된 멀티레벨 인버터의 기본 동작

그림 1은 제안된 멀티레벨 인버터를 나타낸다. 제안된 인버터는 기존의 멀티레벨 인버터의 장점인 신속한 여자 및 감자특성을 가지며 소자 수를 줄이는 장점을 가지고 있다.

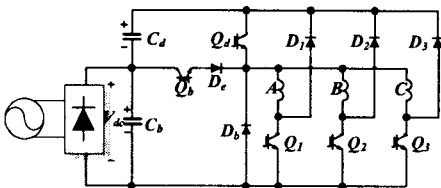


그림 1 제안된 멀티레벨 인버터
Fig. 1 Proposed Multilevel Inverter

그림 2는 제안된 멀티레벨 인버터의 동작방법을 나타낸다. 멀티레벨 인버터는 회수되는 전압의 제어 방법에 따라 여자 부스트 전압, 여자 DC-Link 전압, 영 전압, 감자 부스트 전압 그리고 감자 전압을 발생시킬 수 있다. 다음은 각 모드별 동작특성을 정리하였다.

- (a) 모드 1: 모드 1은 신속한 여자전류 확립을 위한 부스트 전압 인가모드로 스위치 Q_1 과 Q_2 는 턴-온 시키고 스위치 Q_3 는 턴-오프 시킨다. mode 1에서의 회전자 위치는 턴 온각과 선행각 사이에 존재하게 되며 V_1 전압과 콘덴서 충전된 V_1 을 합한 전압이 인가됨으로서 신속한 여자 전류 확립이 가능해진다.
- (b) 모드 2: 모드 2는 DC-Link 전압 인가모드로 스위치 Q_1 와 Q_2 은 턴 온 시키고 Q_3 는 턴 오프 시킨다. 모드 2에서의 회전자 위치는 실제 SRM의 토오크 발생 구간에 해당되며 토오크 발생 구간에서 인가전압은 기존의 비대칭 인버터와 동일하게 DC-Link 전압을 이용하게 된다.
- (c) 모드 3: 모드 3는 프리휠링 구간으로 스위치 Q_1 와 Q_2 는 턴 오프 시키고 스위치 Q_3 은 턴 온 시킨다. 초평 구간에서 지령전류에 비해 권선에 흐르는 전류가 크면 상전류 제한을 위해 초평을 하게 된다. 이때 토오크 리플을 감소시키기 위해 영 전압 모드를 사용하게 된다.
- (d) 모드 4는 권선에 축적된 에너지를 부스트 콘덴서와 DC-Link를 이용하여 회수하는 모드로 스위치 Q_1 , Q_2 와 Q_3 모두 턴 오프 시킨다. 이때 권선에 축적된 에너지는 부스트 콘덴서와 DC-Link 콘덴서에 의해 신속히 감자되게 된다.
- (e) 모드 5는 부스트 콘덴서의 용량에 충전이 완료되어 더 이상 회수에너지를 충전하지 못 할 경우 사용하는 모드로 스위치 Q_1 와 Q_2 는 턴 오프 시키고 스위치 Q_3 는 턴 온 시킨다. 모드 5는 DC-Link에 비해 부스트 콘덴서의 용량이 작으므로 회생 제동과 같이 회수에너지가 많아 부스트 콘덴서의 용량을 초과하는 경우 DC-link단의 콘덴서만을 이용하여 권선에 축적된 에너지를 회수하게 된다.

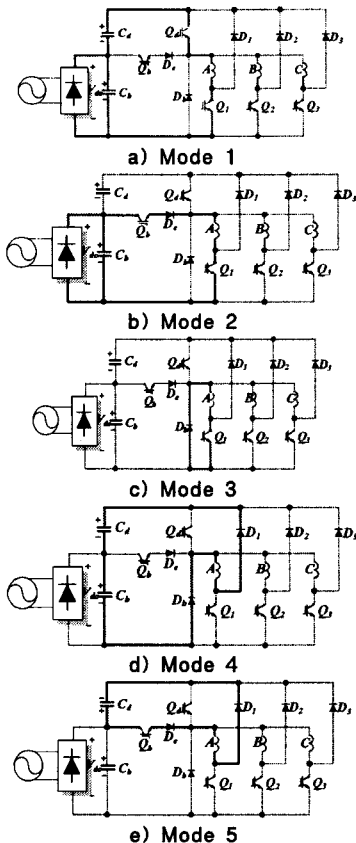


그림 2 제안된 멀티레벨 인버터의 동작모드
Fig. 2 Operating modes of proposed multi-level converter

3. 시뮬레이션 및 실험

3.1 시뮬레이션 결과

그림 3은 제안된 멀티레벨 인버터를 제어하기 위한 제어 블록을 나타낸다.

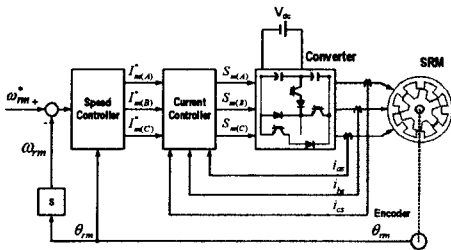


그림 3 SRM 속도제어 블록도
Fig. 3. Speed control block diagram

속도 제어기는 회전자 위치에 따라 전류 지령을 발생하게 되며 발생된 전류 지령에 대해 각 상의 여자 신호를 발생하게 된다. SRM 상 전류 제어를 위한 방법은 크게 단일 여자 모드와 PWM 제어 모드로 나눌 수 있다. 기존의 비대칭형 인버터와 제안된 멀티레벨 인버터의 동작특성을 비교하기 위하여 Matlab을 이용하여 시뮬레이션 하였다. 그림 4는 기존의 비대칭형 인버터와 제안된 멀티레벨 인버터에 대해 PWM 제어 모드에서의 동작특성이 나타난다. 그림 4에서 알 수 있듯이 여자 전류 확립을 위한 선행각 영역에서 기존의 비대칭형 인버터에 비해 제안된 멀티레벨 인버터의 여자 전류가 신속히 확립됨을 알 수 있다. 또한 감자 구간에서 기존의 비대칭형 인버터에 비해 제안된 멀티레벨 인버터 더욱 빨리 소

호됨을 알 수 있다. 따라서 제안된 멀티 레벨 인버터는 고속 SRM 구동에 있어 기존의 짧은 여자 및 감자 시간으로 인해 토크 발생 영역을 넓게 사용하지 못한 단점을 회수에너지를 이용해 여자 및 감자 시 높은 전압을 인가함으로써 SRM 구동 속도에 무관하게 토크 발생 영역을 넓게 사용할 수 있는 장점을 가진다.

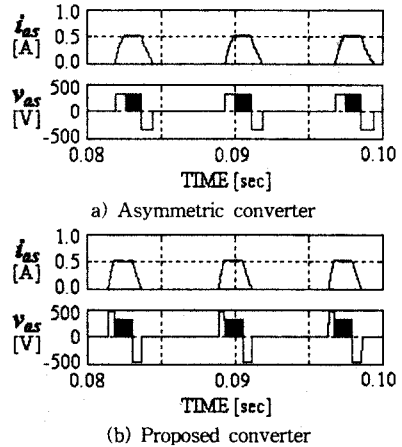


그림 4 PWM모드에서의 시뮬레이션 결과
Fig. 4 Simulation results in PWM control mode

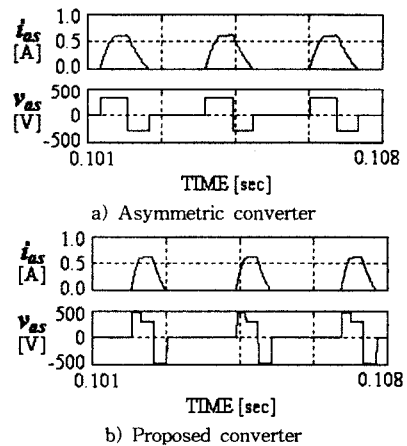


그림 5 단일펄스제어 모드에서의 시뮬레이션 결과
Fig. 5 Simulation results in single pulse control mode

그림 5는 단일 여자 모드에서의 기존의 비대칭 인버터와 제안된 멀티레벨 인버터의 동작 특성을 나타낸다. 그림 5에서 알 수 있듯이 단일 여자 모드에서 기존의 멀티레벨 인버터에 비해 제안된 멀티레벨 인버터의 경우 높은 전압으로 인해 여자 및 감자 시 신속히 상전류가 확립되고 소호됨을 알 수 있다.

3.2 실험 결과

본 논문에서는 기존의 비대칭형 인버터와 제안된 멀티레벨 인버터의 동작특성을 비교하기 위하여 200W 12/8 SRM을 사용하였다. 주 제어기의 경우 TI사의 TMS320F2812 DSP를 이용하여 구성하였다.

TMS320F2812 DSP는 12 bit ADC를 내장하고 있고 내부 QEP 모듈을 가지고 있어 상용 엔코더를 이용하여 간단하게 SRM 제어기를 구성할 수 있는 장점이 있다.

그림 6은 1000rpm 0.35Nm에서 기존의 비대칭형 인버터와 제안된 멀티레벨 인버터의 PWM 제어모드에서의 실험 결과를 나타낸다. 그림 6의 파형은 위로부터 전압 및 두 상의 전류를 나타낸다.

4. 결 론

그림 6에서 알 수 있듯이 제안된 인버터의 경우 선행 각 영역에서 스위치 Q_4 와 Q_1 의 동작에 의해 DC-Link 전압과 부스트 전압이 동작하여 여자전류가 신속히 확립됨을 알 수 있다. 턴 오프 구간의 경우 스위치 Q_4 와 스위치 Q_1 의 동작에 의해 부스트 전압과 DC-Link 전압을 합한 높은 부 전압의 인가로 인해 감자전류가 신속히 소호됨을 알 수 있다.

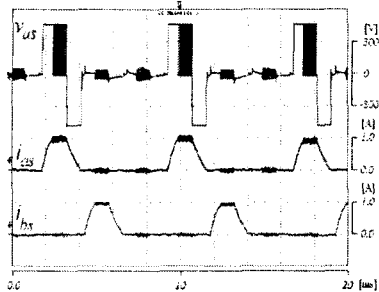
본 논문에서는 원활한 고속 SRM 운전을 위해 개선된 멀티레벨 인버터를 제안하였다. 기존의 멀티레벨 인버터의 경우 신속한 여자 및 감자 특성으로 인해 고속영역에서 토오크 발생을 영역을 넓혀주는데 반해 기존의 비대칭 인버터에 비해 소자수가 증가하는 단점이 있었다. 제안된 멀티레벨 인버터는 기존의 멀티레벨 인버터의 성능을 만족하면서 소자수를 줄일 수 있었다.

제안된 멀티레벨 인버터의 동작특성을 기존의 비대칭 인버터와 비교하여 시뮬레이션 및 실험을 통해 확인하였으며 제안된 멀티레벨 인버터의 여자 및 감자 특성이 우수함을 알 수 있었다.

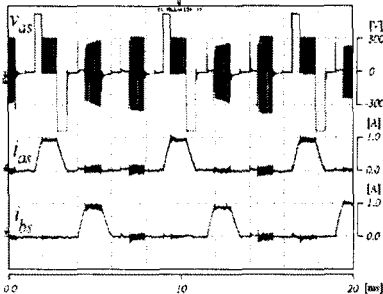
본 연구는 산업자원부 지원에 의하여 기초전력연구원
(과제번호 : R2005-B-109)주관으로 수행된 과제임.

[참 고 문 헌]

- [1] T.J.E. Miller, Switched Reluctance Motors and Their Control. Oxford, England: Oxford Press, 1993
- [2] Vukosavic, S. and Stefanovic, V.R., "SRM inverter topologies: a comparative evaluation," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 27,no.6,pp.1034 - 1047, Nov.-Dec, 1991.
- [3] Miller, T.J.E. et al., Regenerative Unipolar Converter for Switched Reluctance Motors Using One Switching Device per Phase, U.S. Patent No. 4,684,867, Aug. 4, 1987.



a) Conventional asymmetric converter

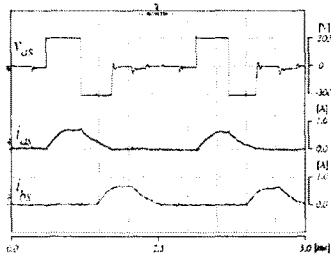


b) Proposed converter

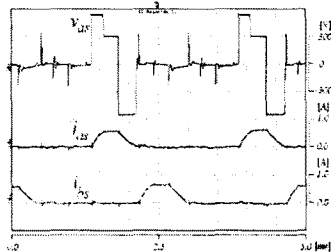
그림 6 PWM 제어 모드에서의 실험 결과

Fig. 6 Experimental compared results in PWM mode

그림 7은 단일 펄스 여자제어에서의 기존의 비대칭 인버터와 제안된 멀티레벨 인버터의 동작특성을 나타낸다. 그림 7의 실험 결과에서 알 수 있듯이 단일 펄스 제어 모드에서 기존의 비대칭 인버터에 비해 제안된 멀티레벨 인버터의 여자 및 감자 전류가 신속히 여자 및 소호됨을 알 수 있다.



a) Conventional asymmetric converter



b) Proposed converter

그림 7 단일펄스제어 모드에서의 실험 결과

Fig. 7 Experimental results in single pulse mode