

단상 SRM 구동을 위한 새로운 능동 부스트 전력 컨버터

석승훈, Jianing Liang, 이동희, 안진우
경성대학교

A Novel Active Boost Power Converter for single phase SRM

Seung-Hun Seok, Jianing Liang, Dong-Hee Lee, Jin-Woo Ahn
Kyungsung University

ABSTRACT

In this paper, a novel active boost converter for SR drive is proposed. An active capacitor circuit is added in the front-end. Based on this active capacitor network, when boost switch turns off, this network seems as passive capacitor network. And the voltage of boost capacitor can keep balance with dc-link voltage automatically. In the capacitor network, discharging voltage is general dc-link voltage in parallel-connected capacitors; charging voltage is double dc-link voltage in series-connected capacitors. When boost switch turns on, two capacitors are connected in series, and discharging voltage is up to double dc-link voltage. So the fast excitation current can be obtained from this mode. Profit from fast excitation and fast demagnetization mode, the performance and output power can be improved. Some computer simulations are done to verify the performance of proposed converter.

1. 서론

스위치드 릴럭턴스 전동기(Switched Reluctance Motor, SRM)는 기계적 구조가 간단하고, 제작비용이 저렴하여 넓은 산업 응용분야에서 연구되어 지고 있다.^[1] 또한 기구적으로 강인하고, 넓은 속도 범위에서 운전이 용이하고, 높은 출력비를 가지고 있어 고속 운전에 용이한 장점을 가진다.

하지만 일반적인 SR드라이브에서는 여자전압과 감자 전압은 dc-링크 전압으로 제한되므로, 고속 구동시 요구 되어지는 상전류를 확립하기 어렵고, 그로인해 발생한 tail 전류로 인하여 부토크가 발생하고 출력이 줄어들게 된다.

SR드라이브의 동특성을 향상시키기 위해 부스트 컨버터와 벡-부스트 컨버터를 사용하여 dc-링크 전압을 상승시킬 수 있다.^[2] 이러한 컨버터는 추가적인 인덕턴스, 다이오드, 캐패시터, 전력 스위치가 요구되며, 이로 인한 높은 가격과 복잡해진 제어 기법은 컨버터의 응용을 제한한다. 또한 고속 구동을 위해 4-레벨 컨버터가 제안되었다.^[3] 회생에너지의 일부분이 부스트 캐패시터에 저장되고 그 부스트 전압으로 여자 전류가 확립되어진다. 하지만 이러한 컨버터 또한 부스트 전압 제어가 복잡하고 추가 회로가 필요하다.

본 논문에서는 SR드라이브를 위한 새로운 능동 부스트 컨

버터를 제안한다. 제안된 컨버터는 빠른 여자와 빠른 감자를 수행할 수 있고, 부스트 캐패시터의 전압은 자동적으로 dc-링크 전압과 평균을 유지할 수 있다. 능동 스위치의 간단한 제어 기법으로 빠른 여자 모드를 얻을 수 있고 이로 인해 동특성과 출력이 향상될 수 있다. 제안된 컨버터의 특성을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 증명하였다.

2. 기존의 일반적인 컨버터

상 당 두 개의 스위치와 두 개의 다이오드를 가지는 비대칭 브리지 컨버터는 SR드라이브로 많이 쓰이고 있다. 이 컨버터는 각 상의 전류제어가 독립적이어서 두 상의 전류중첩이 가능하다. 비대칭 컨버터는 그림 1과 같이 여자모드, 휠링모드, 감자모드로 구성된 3가지 동작모드를 가진다.

그림 1의 (a)와 (c)로부터 여자전압과 감자전압의 크기가 필터 캐패시터의 전압에 가깝다는 것을 알 수 있다. 이러한 고정된 dc-링크 전압은 고속에서 SR드라이브의 특성을 제한한다.

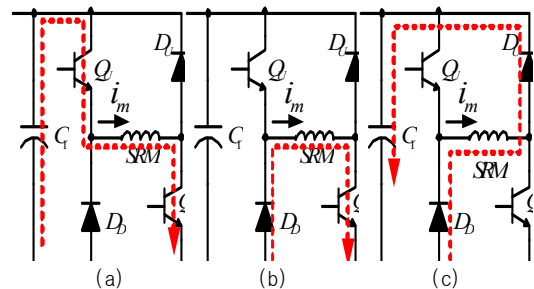


그림 1 비대칭 컨버터의 동작모드

(a) 여자모드 (b) 휠링모드 (c) 감자모드

Fig. 1 Operation modes of asymmetric converter

(a) Magnetization (b) Freewheeling (c) Demagnetization

일반적인 비대칭 컨버터와 비교하여, 4-레벨 컨버터는 부스트 캐패시터 C_{CD} , 파워 스위치 Q_{CD} 와 다이오드 D_{CD} 가 추가된 구조를 가진다. 캐패시터 C_{CD} 와 C_{DC} 는 직렬 연결되고 상 스위치가 턴-오프상태 동안 자계에너지가 저장된다. 부스트 캐패시터 C_{CD} 에 에너지가 저장되고 그로인해 추가된 부스트 전압이 확립된다. 빠른 여자모드의 경우, 선행각을 줄이기 위해 두 캐패시터의 중첩된 전압은 빠르게 여자 전류를 확립한다. 감자모드의 경우 중첩된 전압은 빠른 감자전류를 발생하여 부토크와 tail 전류를 줄임으로써 동특성과 출력을 향상시킨다.

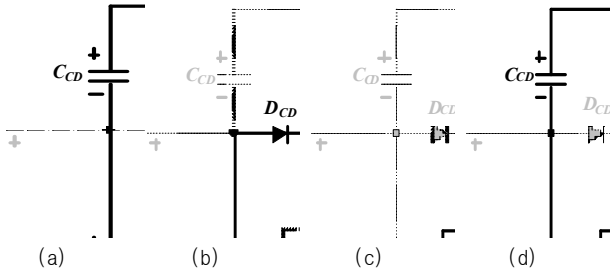


그림 2 4-레벨 컨버터의 동작모드
 (a) 빠른 여자모드 (b) 여자모드 (c) 회령모드 (d) 빠른 감자모드
 Fig. 2 Operation modes of 4-level converter
 (a) Fast excitation mode (b) General excitation mode
 (c) Freewheeling mode (d) Fast demagnetization mode

그러나 부스트 캐패시터에 저장된 에너지는 빠른 여자모드에서만 방전된다. 이것은 낮은 속도에서 구동시 전류리플이 커지는 원인이다. 또한 부스트 전압을 제어하기 위한 전압 검출 회로가 필요하다. 게다가 안정된 전압을 유지하기 위해서 복잡한 부스트 전압 제어 기법이나 추가 회로가 필요하다.

3. 제안된 능동 부스트 전력 컨버터

그림 3은 제안된 능동 부스트 전력 컨버터를 보여준다. 비대칭 컨버터와 비교하여 추가적인 캐패시터, 두 개의 다이오드, 한 개의 IGBT로 구성되어 있다.

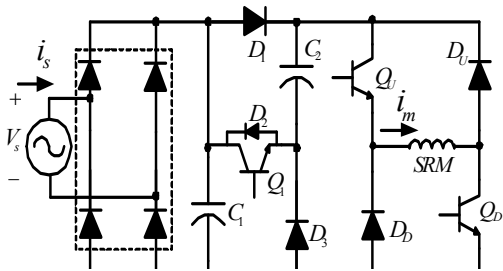


그림 3 제안된 능동 부스트 전력 컨버터
 Fig. 3 Proposed active boost converter

그림 4는 능동 부스트 회로의 동작모드를 보여준다. 이 회로는 입력모드 1, 입력모드 2, 출력모드 1, 출력모드 2로 정의어진 4동작 모드를 가진다. 입력모드 1에서, ab구간으로부터 전원의 에너지가 dc-링크 캐패시터 C_1 에 충전되고 C_2 의 전압은 전원과 거의 같게 유지된다. 입력모드 2에서, 에너지가 cd구간으로부터 입력되고 다이오드 D_2 가 턴-온 되면서 입력전류는 두 캐패시터로 충전된다. 두 캐패시터는 직렬 연결되고, cd구간으로 중첩된 전압이 입력된다. 출력모드 1에서, 두 캐패시터와 다이오드는 병렬로 연결된 두 개의 독립된 전압원으로 구성되고 cd구간의 출력 전압은 독립된 전압원의 최대 전압과 같다. 출력모드 2에서, 능동 스위치 Q_1 이 턴-온 되면서 두 캐패시터는 직렬 연결되고 cd구간의 출력전압은 중첩된다.

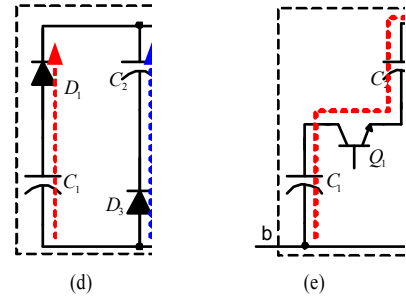
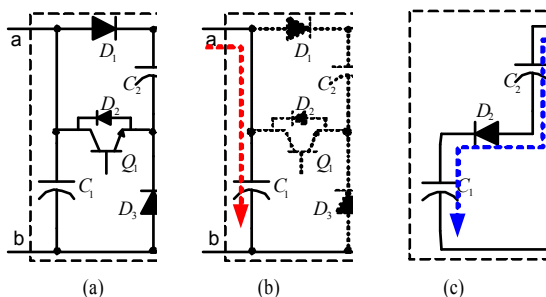


그림 4 제안된 능동 부스트 회로와 동작모드
 (a) 제안된 능동 부스트 회로 (b) 입력모드 1 (c) 입력모드 2
 (d) 출력모드 1 (e) 출력모드 2

Fig. 4 Proposed active boost circuit and operation mode
 (a) Proposed active boost circuit (b) Input mode 1
 (c) Input mode 2 (d) Output mode 1 (e) Output mode 2

그림 5에서 볼 수 있듯이 단상 SRM의 구동에서 제안된 컨버터의 동작을 해석하기 위해 스위치의 상태에 따라 6가지 동작모드로 구분하였다.

Q_1 이 턴-오프 상태인 경우, 비대칭 컨버터가 여자모드로 동작되고, 두 캐패시터는 병렬로 연결된다. 이때 상전압은 캐패시터 전압 중 큰 전압에 의존한다. 감자모드의 경우 두 캐패시터는 직렬로 동작한다. 그러므로 SRM의 상권선은 여자모드에서 dc-링크 전압이 걸리고, 감자모드에서는 2배의 dc-링크 전압이 걸린다.

Q_1 이 턴-온 상태인 경우, 두 캐패시터는 직렬로 동작하고 중첩된 전압은 빠른 여자 전류를 생성한다.

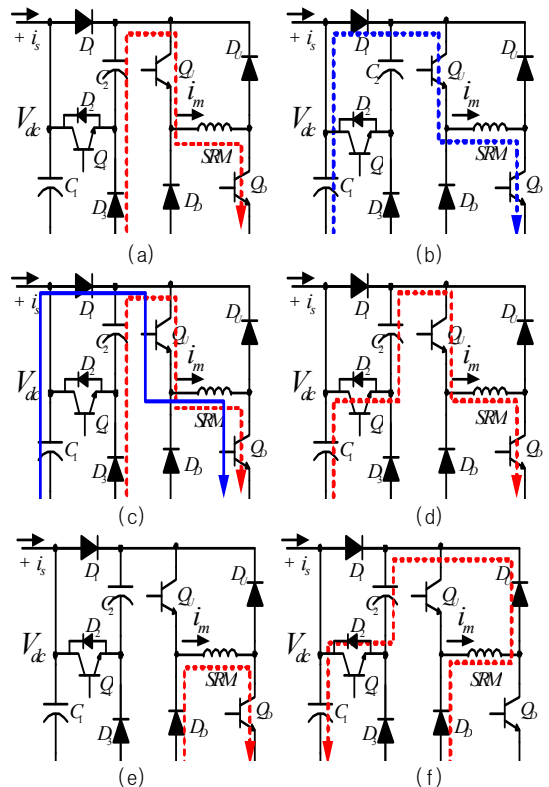


그림 5 단상 SRM을 위한 제안된 컨버터의 동작모드
 (a) 부스트 캐패시터 여자모드 (b) Dc-링크 캐패시터 여자모드
 (c) 두 캐패시터 여자모드 (d) 빠른 여자모드
 (e) 회령모드 (f) 빠른 감자모드

Fig. 5 Operation modes of proposed converter for single phase SRM
 (a) Boost capacitor excitation mode
 (b) Dc-link capacitor excitation mode

- (c) Two capacitors excitation mode
- (d) Fast excitation mode
- (e) Freewheeling mode
- (f) Fast demagnetization mode

4. 시뮬레이션

제안된 컨버터의 특성을 증명하기 위해 Matlab/Simulink를 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다. SRM의 인덕턴스 프로파일은 그림 6과 같다.

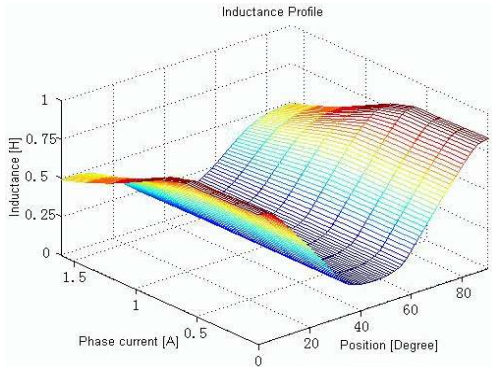


그림 6 인덕턴스 프로파일
Fig. 6 Inductance profile

그림 7은 기존의 컨버터와 제안된 컨버터의 시뮬레이션 결과를 보여준다.

시뮬레이션 결과에서 2배의 감자 전압을 확실히 볼 수 있다. 스위치 Q1이 턴-오프 상태일 때, 제안된 컨버터의 높은 감자 전압이 tail 전류와 부토크를 줄인 것을 확인할 수 있었다. 스위치 Q1이 턴-온 상태일 때, 두 캐패시터는 직렬 동작하고 2배의 dc-링크 전압이 상권선에 인가되면서 전류가 빠르게 확립되었다. 같은 턴-온각과 턴-오프각에서 출력이 증가하였다.

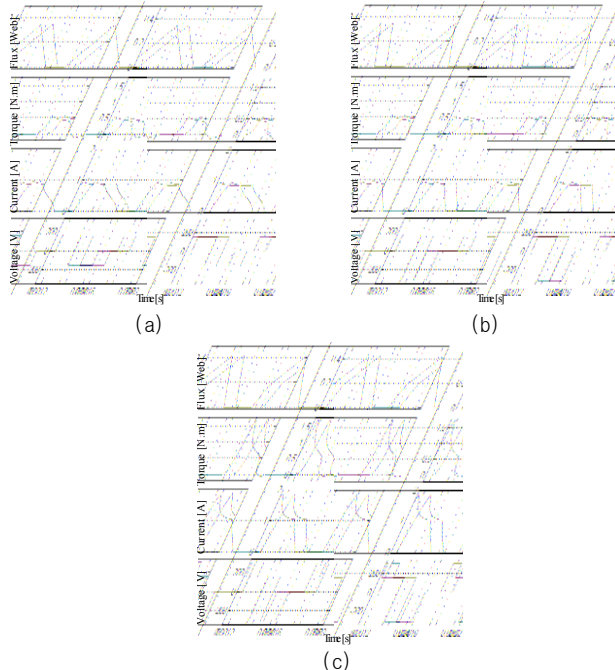


그림 7 비대칭 컨버터와 제안된 컨버터의 시뮬레이션 결과
(a) 비대칭 컨버터
(b) 제안된 컨버터(능동 스위치 Q_1 off)
(c) 제안된 컨버터(능동 스위치 Q_1 on)

- Fig. 7 Simulation results of asymmetric and proposed converter
- (a) Asymmetric converter
- (b) Proposed converter (active switch Q_1 off)
- (c) Proposed converter (active switch Q_1 on)

증가된 출력은 그림 8의 자속-전류 궤적의 증가한 영역을 통해 확인할 수 있었다. 제안된 컨버터의 출력이 기존 비대칭 컨버터의 2배정도 증가하였다는 것을 확인하였다.

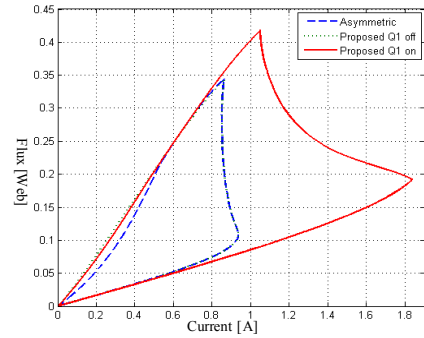


그림 8 자속-전류 궤적
Fig. 8 Flux verse current trajectory

5. 결론

본 논문에서는 SR 드라이브에 적용한 새로운 능동 부스트 컨버터를 제안하였다. 능동 캐패시터 회로가 앞단에 추가되었고, 이 능동회로는 자동적으로 부스트 캐패시터의 전압을 dc-링크 전압과 같게 만들어 주었다. 스위치 Q1의 간단한 제어를 통해 두 캐패시터를 병렬과 직렬로 동작하도록 제어하면서 여자 모드에서는 높은 여자전압을 인가하여 여자전류 확립을 빠르게 하였고, 감자모드에서는 높은 감자전압을 인가하여 tail 전류와 부토크를 줄임으로써 동특성과 출력을 향상시킬 수 있었다. 컴퓨터 시뮬레이션으로 기존의 비대칭 컨버터와 제안된 컨버터의 비교를 통해 확인하였다.

본 연구는 산업자원부 대학전력연구센터 육성지원사업 (I-2007-0-261-01)에 의한 마이크로그리드센터 주관으로 수행된 과제임.

참고 문헌

- [1] R. Krishnan, "Switched Reluctance Motor Drives: Modeling, Simulation, Analysis, Design, and Applications", CRC Press, 2001
- [2] Dahmane, A.; Meebody, F.; Sargos, F.-M.; "A novel boost capacitor circuit to enhance the performance of the switched reluctance motor", Power Electronics Specialists Conference, 2001. 17-21 June 2001 Pp:844 - 849 vol.2
- [3] J. N. Liang; D. H. Lee, J. W. Ahn, Y. J. An, "A Novel 4-Level Converter for High Speed SR Drive"Conf. PESC '06. 37th IEEE, 18-22 Jun. 2006 pp:1 - 6
- [4] Chan, S.; Bolton, H.R.; "Performance enhancement of single-phase switched-reluctance motor by DC link voltage boosting", Electric Power Applications, IEE Proceedings B Vol 140, Issue 5, Sept. 1993 Pp:316 - 322 vol.2