

단상 하프 브리지 인버터를 이용한 스위치드 리럭턴스 전동기용 컨버터 토폴로지

장도현
호서대 전기공학부

The Converter with Half Bridge Inverter for the Switched Reluctance Motor Drives

Jang Do Hyun
Hoseo University, Dept. of Electrical Eng.

ABSTRACT

The new converter topology using half bridge inverter for the switched reluctance motor drives is proposed. The proposed SRM drives are supplied by the pulse voltage source, while the conventional drives are supplied by dc voltage source. Proposed converter does not lose the characteristics of classic converter though the total no. of power switches are reduced.

1. 서론

스위치드 리럭턴스 전동기(switched reluctance motor 이하, SRM)를 구동하기 위한 기존 컨버터의 전원은 고정 직류 전압원을 사용한다.

본 논문에서는 SRM의 구동을 위해 새로운 컨버터와 전압형 인버터를 결합한 토폴로지(이하, 인버터형 컨버터로 칭함)를 제안하였으며, 이러한 토폴로지는 직류전원을 사용하여 속도제어를 구현하였던 종래의 토폴로지와는 달리, 교류 펄스전압을 고정자의 권선에 인가하는 새로운 방식에 의해서 SRM을 구동한다. 이러한 교류 전압원을 제안 토폴로지에 공급하기 위해서는 단상 하프 브리지(half bridge)형 또는 단상 풀 브리지(full bridge)형 인버터가 필요하다. 본 논문에서는 2-레벨 전압 펄스를 발생하는 단상 하프 브리지 인버터형 컨버터를 대상으로 연구하였다.

2. 직류초퍼형 컨버터 토폴로지

저속운전 영역에서 수행되는 기존의 초핑제어방식은 상스위치의 스위칭 손실이 크며, 원활한 전류 제어에 어려운 단점이 있다. 기존의 초핑 제어방식의 단점을 제거하기 위한 대책으로 직류전원과 컨버터 사이에 직류 초퍼를 삽입한 토폴로지가 제시되었다.

그림 1은 기존의 비대칭 브리지 컨버터에 직류초퍼를 삽입한 토폴로지를 보여주고 있다. 여기서 직류 초퍼는 고정 직류전원을 가변직류전원으로 제어하는 역할을 한다. 직류 초퍼를 삽입할 경우 상 스위치에서 직류전압을 초핑하지 않고 한 개의 펄스 전압을 상 권선에 인가하므로 스위칭 손실이 거의 발생하지 않는다. 또한 직류초퍼는 기존의 모든 컨버터 토폴로지에 적용하여 고정 입력전압을 사전조정(pre-regulation)하는 기능을 갖게 된다. 그러나 직류 초퍼를 설치함에 따라 스위치의 개수가 증가하고 제어회로가 복잡해지며 이에 따라 제작비가 증가된다.

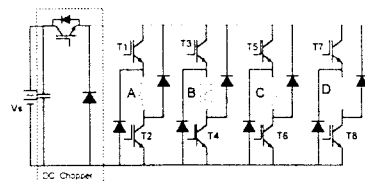


그림 1. 직류초퍼가 삽입된 비대칭 브리지 SRM 컨버터

3. 단상 하프 브릿지 인버터형 컨버터 토폴로지의 제안

그림 2는 단상 하프브리지형 인버터와 제안 n 스위치 컨버터가 연결된 토폴로지(이하, 하프브리지 인버터형 SRM 컨버터이라고 칭함)이다. n 스위치 컨버터 토폴로지는 한 상당 스위치가 한 개이며, 환류 다이오드가 한 개가 필요하다. 본 토폴로지는 기존의 비대칭 브리지 컨버터의 우수한 특성을 유지하면서 최소 스위치 조건(minimum switching device requirement)을 만족한다. 특히, 기존의 모든 토폴로지에서 직류 전압이 전원으로 사용되지만 제안 토폴로지의 전원으로는 펄스형 교류전압이 사용된다. 또한 각

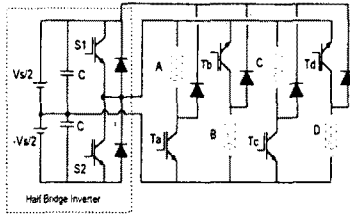


그림 2. 하프 브리지 인버터형 SRM 컨버터 토폴로지

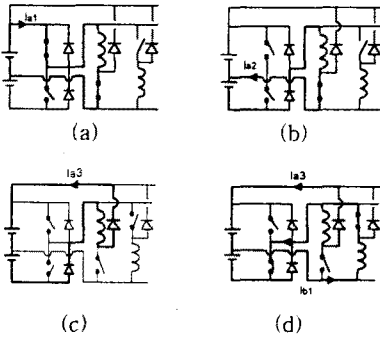


그림3. 하프브리지 인버터형 SRM 컨버터의 4가지 동작 모드(a) 모드 I (b) 모드 II (c) 모드 III (d) 모드 IV

상에 인가되는 전압은 서로 반대 방향을 이루므로 각 상 스위치의 극성은 서로 반대 방향을 이루게 된다. 제안 컨버터에 펄스형 전압원을 공급하기 위해 단상 하프브리지형 인버터를 사용하였다.

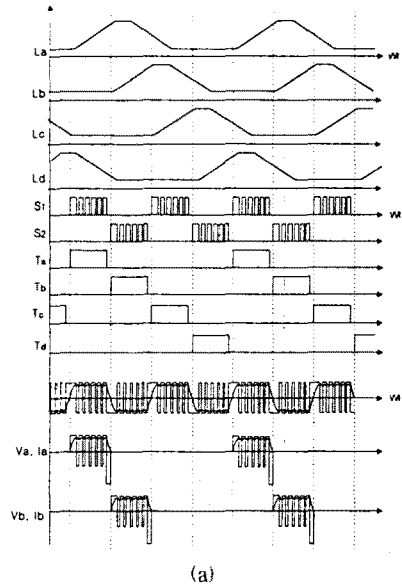
제안 컨버터는 다음과 같은 특성이 있다.

- ① 상스위치가 턴오프되었을 때 역전압이 상권선에 인가되므로 고효율 특성이 예상된다. 즉, 기존의 비대칭 브리지 컨버터의 특성과 비슷하다.
- ② 제안 토폴로지는 저속운전시 쇼핑제어에 적용할 수 있으므로 스위칭 손실 및 토크리플을 효과적으로 감소시킬 수 있다.
- ③ 한 상당 한 개의 스위치가 필요하므로 고정자 극수가 많은 SRM일수록 다른 토폴로지에 비해 제작비 감소에 유리하다.
- ④ 고정자의 극수가 작을일 때 적용할 수 있다.

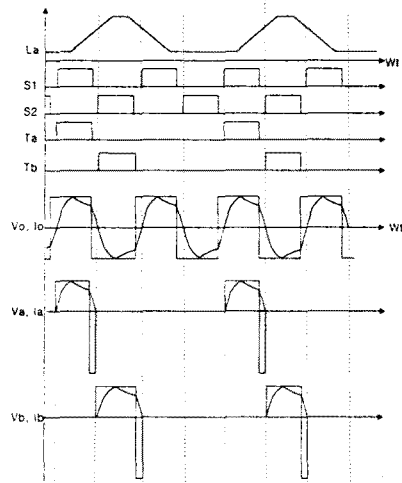
4. 하프 브리지 인버터형 SRM 컨버터

제안 컨버터의 위상제어방식 또는 초핑제어방식은 컨버터 및 인버터의 스위치의 턴온 또는 턴오프에 따라 그림 3과 같이 4가지 모드로 분류된다.

Mode [I] : 상 A에 전압을 인가하는 구간. 컨버터의 상스위치 Ta를 턴온하고, 인버터의 스위치 S1을 턴온하고 S2를 턴오프할 때 그림 3(a)와 같이 $V_{dc}/2$ 의 전압원이 상권선 A에 인가된다.



(a)



(b)

그림4 각 상의 인덕턴스 프로파일, 인버터 스위치, SRM 상 스위치에 입력되는 신호, 각 상의 출력 전압 및 전류, 인버터의 출력 전압 및 전류 (a) 초핑제어방식 (b) 위상제어방식

Mode [II]: 상스위치 Ta를 턴온하고, 인버터의 스위치 S1 및 S2를 턴오프할 때 그림 3(b)와 같이 상 A에 저장된 자기에너지가 직류전원으로 회생된다. Mode II 동안 $-V_{dc}/2$ 의 전압원이 상권선 A에 인가된다.

Mode [III] : 상스위치 Ta를 턴오프하고, 인버터의 스위치 S1 및 S2를 턴오프할 때 그림 3(c)와 같이 상 A에

저장된 자기에너지가 전원으로 회생된다. Mode III 동안의 $-V_{di}$ 의 전압원이 상권선 A에 인가된다.

Mode [VI]: 그림 3(d)와 같이 상스위치 Tb를 턴온하여 상A에서 상 B로 변환하는 구간. 다른 상 스위치가 변하지 않으므로 상 A는 Mode III가 적용되어 자기에너지는 계속 직류전원으로 회생되며, 상 B는 Mode I이 적용되어 $V_{di}/2$ 의 전압원이 인가된다.

5 하프 브리지 인버터형 SRM 컨버터의 구동방식

그림4는 8/6 SRM인 모델 전동기를 하프 브리지 인버터형 SRM 컨버터로 속도 제어할 때 각 상의 인덕턴스 프로파일, 인버터 스위치, SRM 상 스위치에 입력되는 신호, 각 상의 출력 전압 및 전류, 인버터의 출력 전압 및 전류를 보여주고 있다. 그림 4(a)는 저속운전시 초핑 제어할 때 나타나는 교류펄스형 전류파형이다. 인버터측의 입력 전류는 히스테리시스 제어에 의해 일정한 크기를 유지한다.

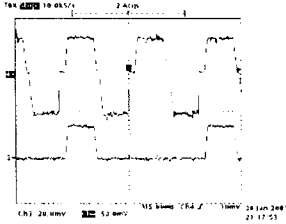


그림 5. 초핑제어시 인버터측의 출력 전류와 컨버터측의 상전류

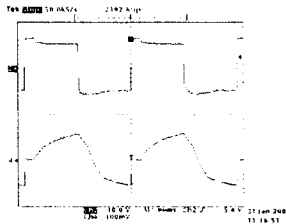


그림 6. 위상방식시 인버터에서 나타나는 출력전압과 출력전류

그림 4(b)는 고속운전시 위상제어할 때 나타나는 파형으로서 제안 컨버터의 입력 전압은 교류펄스전압 파형이며, 그 크기는 직류전원의 크기와 같다. 하프 브리지 인버터형 컨버터에 의해 SRM을 위상 제어방식에 의해 속도 제어하기 위해서는 기존의 컨버터 토폴로지와 같이 스위치의 턴 온/오프각을 조정하여 제어한다. 각 상 스위치를 턴온 또는 턴오프하기 위해서는 그림 4(b)와 같이 각 상스위치 및 인버터 스위치의 턴 온/오프각을 일치시켜야 한다. 하프 브리지 인버터형 컨버터에서는 상

스위치를 턴오프할 때 상권선에는 입력전압의 2배 크기의 역전압 $-V_{di}$ 가 인가되어 전류꼬리를 빠른 속도로 제거하는 장점도 가진다.

6. 실험

그림 5는 저속운전시 초핑방식으로 전류제어할 때 인버터에서 나타나는 출력 전류와 컨버터의 상전류를 보여주고 있다. 인버터 출력 전류는 교류 펄스형에 근사한 모양을 보여주고 있으며, 상전류는 인버터 출력전류와 동기를 이루고 있다. 그림 6은 고속운전시 위상방식으로 전압제어할 때 인버터에서 나타나는 출력전압과 출력전류를 보여주고 있다. 인버터 출력 전압은 턴오프시 역전압은 인가 전압보다 2배의 크기를 가지며, 따라서 이러한 특성은 전류꼬리를 빨리 감소시켜 역토크를 제거하는 효과를 가진다.

7. 결론

제안 컨버터는 최소 갯수의 스위치로서 구성되었지만 상스위치가 턴오프되었을 때 역전압이 상권선에 인가하여 전류꼬리를 감소시키므로 고효율을 유지할 수 있다. 이런 점에서 최소의 제작비로서 기존의 비대칭 브리지 컨버터와 비슷한 특성을 갖는다.

제안 컨버터는 저속운전시 초핑제어에 적용할 수 있으므로 스위칭 손실 및 토크리플을 효과적으로 감소시킬 수 있다. 또한 고속 운전시 위상제어도 가능하다. 특히 제안 컨버터는 상스위치를 턴오프시 입력전압의 2배가 되는 역전압이 상권선에 인가되는 특성이 있으므로 전류꼬리를 효과적으로 감소하고 전류꼬리가 긴 고속운전에도 유리할 것으로 사료된다.

이 논문은 2000년도 학술진흥재단(E00161)의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] T.J.E. Miller, *Switched Reluctance Motors and Their Control*. Oxford, England: Oxford Press 1993
- [2] R. Krishnan and S. Lee, "Analysis and design of a single switch per phase converter for switched reluctance motor drives." in *IEEE-PESC Conf. Rec.*, 1994, pp.485-492.
- [3] 이기철, 박종근, 임근희, "가변속 스위치드 리럭턴스 모우터의 새로운 컨버터 토폴로지," 대한전기학회 43권 9호, pp.1463-1471, 1994년 9월