

멀티레벨 인버터를 이용한 SRM의 여자전압제어

강유정, 이상훈, 박성준*, 안진우
경성대, 동명대*

Excitation Voltage Control of SRM with Multi-Level Inverter

Yu-Jung Kang, Sang-Hun Lee, Sung-Jun Park*, and Jin-Woo Ahn
Kyungsung Univ., Tongmyung College*

ABSTRACT

The application of SRM(Switched Reluctance Motor) is dramatically increasing due to a simple mechanical structure, high efficiency and a good high speed characteristics. To control high conduction ratio in motor operation and regenerative voltage in the generator operation multi-level voltage control is effective. This paper proposes multi-level inverter to have a maximum conduction ratio of SRM. The proposed method is verified by experiments.

1. 서 론

스위치드 릴럭턴스 전동기(Switched Reluctance Motor, SRM)는 이중돌극형 자기적 구조를 가지고 있고 펄스형 전원에 의해 구동됨으로 제어장치와의 결합성을 재고하고 운전특성을 향상시킬 수 있는 제어방식에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 또한 SRM은 비선형적인 특성이 강하고 전류파형이 많이 변하므로 제어가 부하의 변화에 적응하기가 어렵다. 최근 이러한 취약성을 근원적으로 해결하기 위하여 SRM과 자기적 구조가 거의 같은 돌극형 동기전동기에서의 출력특성인 전력각 제어기능의 개념을 도입하여 드웰 각 조절을 하는 방법의 새로운 제어방식이 제안되었다. 그러나 드웰각의 폭은 전력소자의 전류정격 및 평활전류 소호를 위한 시간을 확보하기 위하여 스위치 오프 각은 설정치로 한정된다^[1,2].

본 논문에서는 제안된 인버터를 이용하여 순간적으로 높은 전압을 인가함으로써 전류정착영역을 최소화 하도록 설계하고 높은 감자전압으로 신속한 전류소호가 이루어지게 함으로서, 토크 영역의 사용범위를 크게 하여 전동기 출력을 증대시키고자 하였다^[3].

2. 본 론

2.1 제안된 인버터

SRM에서 전동기 영역으로 동작할 경우 그림 1과 같이 신속한 평활전류 정착을 위해서 DC-Link 전압보다 높은 전압을 인가하여야 하며, 평활전류 정착 후에는 평활전류와 전동기의 속도에 맞는 DC-Link 전압을 인가하여야 한다.

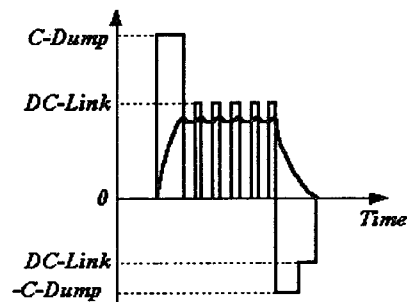


그림 1 멀티레벨 여자전압 제어방식
Fig.1 Multi-Level excitation voltage control

전류 소호시에는 높은 역전압으로 신속한 전류소호를 행하여야 한다. 또한 저속영역에서 전류제어를 행할 시에는 지령전류보다 큰 경우 휠링모드를 두기 위해서 영전압을 인가 할 수 있는 전력회로가 필요로 한다. 따라서 강인한 전류제어를 위해서는 높은 여자전압인 정의 C-Dump 전압, DC-Link 전압, 영전압, 높은 감자전압인 부의 C-Dump 전압의 4레벨 인버터를 구성하여야 한다. 이와 같은 조건을 만족할 수 있도록 그림 5와 같은 회로를 제안하였다. 그림 2(a)의 6/4 SRM과 같이 상수가 홀수 인 경우에는 상전류의 중첩으로 인하여 다른 상과 스위치를 공유할 수 없으나, 8/6 SRM과 같이 상이 짝수인 경우에는 이웃하지 않는 상과 스위치를 공유할 수 있으므로 그림 5(b)와 같이 두 스위치 중 한 스위치를 공통

으로 사용하여 스위치를 절감하는 것이 바람직하다. 이 회로에서는 여자전압의 크기를 콘덴서전압과 전원전압을 인가할 수 있음은 물론 부의 콘덴서전압과 부의 전원전압을 인가할 수 있는 구조로 되어있어, 신속한 전류의 정착과 소호에 적합한 구동회로가 된다.

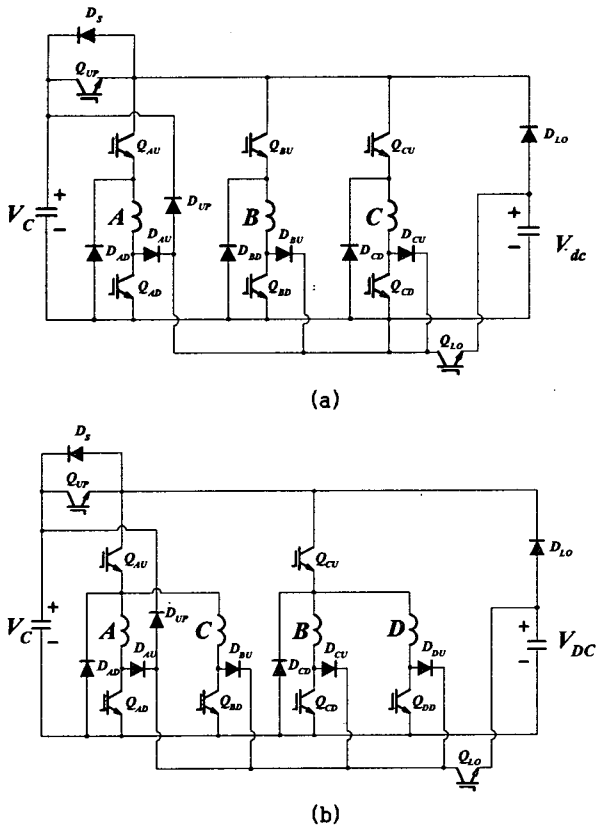
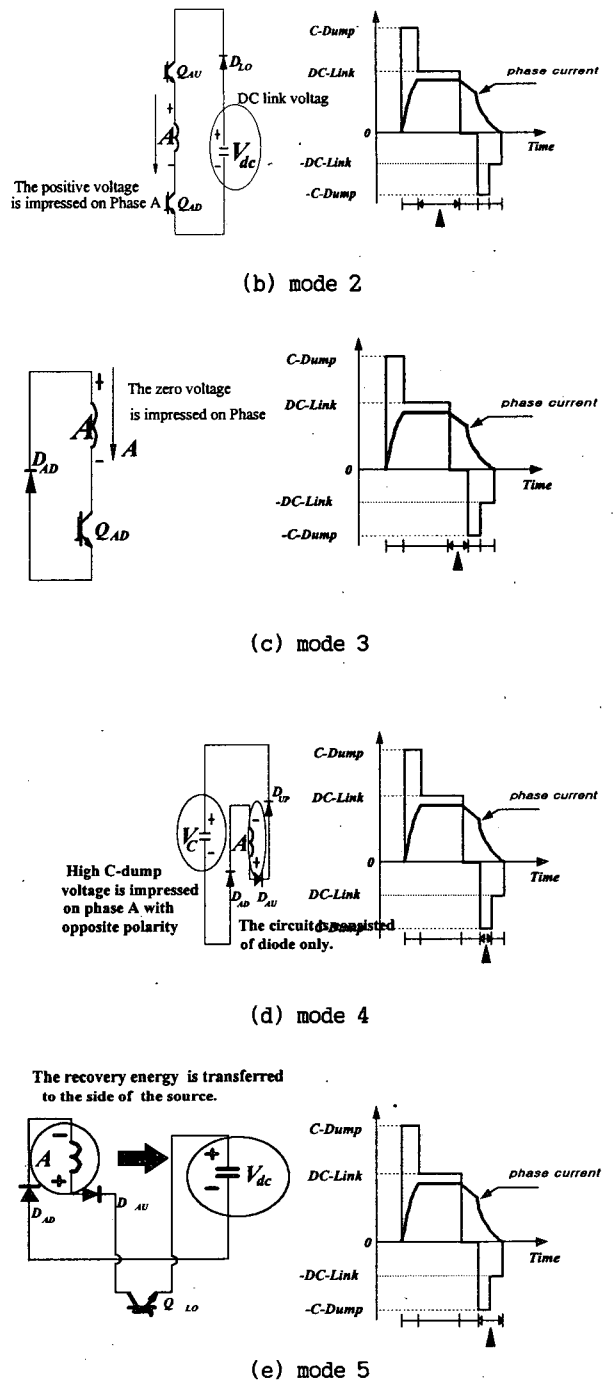
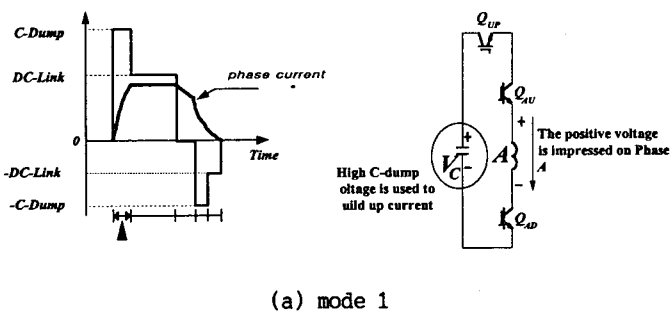


그림 2 제안된 인버터
 (a) 6/4 SRM 구동용 (b) 8/6 SRM 구동용
 Fig. 2 Proposed inverter
 (a) Case 6/4 SRM (b) Case 8/6 SRM

각 스위치의 온, 오프에 따른 구동회로의 동작은 5개의 모드로 나누어 설명할 수 있으며, 각 모드에 대한 회로는 그림 3과 같다. mode 1과 같이 스위치 Q_{UP}, Q_{AU}, Q_{AD} 가 온된 경우는 전원 전압보다 높은 콘덴서전압이 상권선에 인가되며, mode 2는 스위치 Q_{AU}, Q_{AD} 가 온된 경우로서 전원전압이 상권선에 인가되며, 스위치 Q_{AD} 가 오프되는 mode 3의 경우는 다이오드 D_{AD} 에 의해 전류회로가 구성되어 영(zero)전압이 상권선에 인가된다.



The recovery energy is transferred to the side of the source.

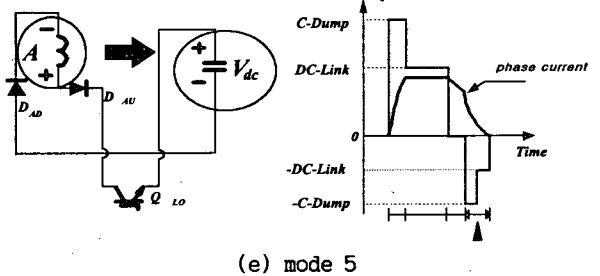


그림 3 인버터 동작에 따른 각 모드
 Fig. 3 Operational modes according to behavior of inverter

mode 4와 같이 스위치 모두가 오프되어 다이오드 D_{UP}, D_{AU}, D_{AD} 에 의해 회로가 구성되면 콘덴서전압의 반대극성이 상권선에 인가되며, 스위치 Q_{LO} 가 온된 mode 5의 경우는 부의 전원전압이 상권선에 인가된다. 이 회로의 동작은 전원전압과 C-Dump 전압 두 전원으로부터 스위치 Q_{LO} 에 의해 선택할 수 있는 회로가 되며, 발전영역에서는 기존의 C-Dump 회로와 달리 발전

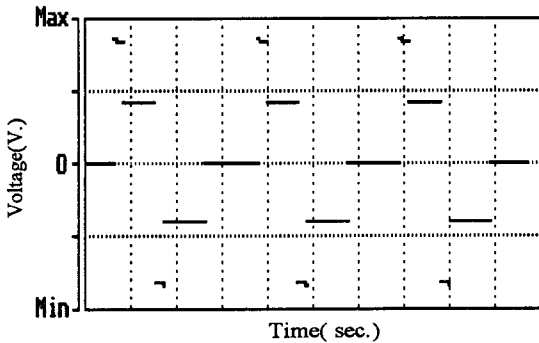
영역이 장기간 유지되어도 발전기의 회수에너지를 초과없이 전원 측으로 회생할 수 있다.

2.2 실험결과 및 고찰

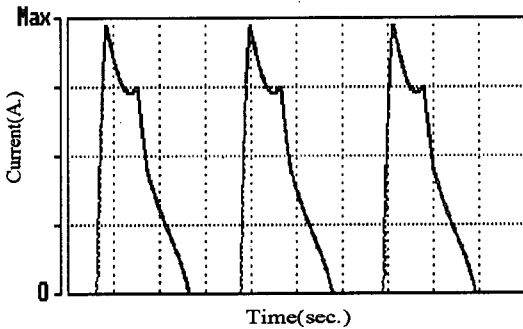
실험에 사용된 SRM은 고정자와 회전자의 극이 8/6이고 1.5[kW] 5000[rpm], 300[V]기기를 이용하였으며, 이를 구동시키기 위해 그림 5와 같은 새로운 multi-level 인버터를 사용하였다.

그림 4는 인버터 동작에 따른 인가 상전압, 상전류, 토크 및 속도에 대한 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다.

그림 4(a)에서 보는 바와 같이 신속한 상전류 정착 및 소호를 위해 전원전압 1.8배의 높은 콘덴서 전압을 인가하고 있다.



(a) Applied voltage (Phase A)
(VER: 200V/div., HOR: 10mm sec/div.)

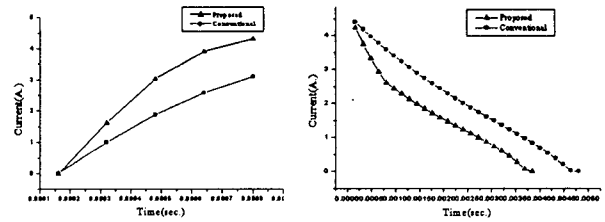


(b) Phase current (Phase A)
(VER: 2.5A/div., HOR: 10mm sec/div.)

그림 4 제안된 인버터의 특성 해석

Fig. 4 Characteristics of the proposed inverter

제안된 인버터와 기존의 인버터의 일정한 전류에 대한 전류 정착시간 및 전류 소호시간에 대한 시뮬레이션 결과를 그림 5에서 나타내고 있다. 그림 5(a)에서 알 수 있듯이 전원전압의 1.8배의 크기의 콘덴서 전압하에서 기존의 클래식 타입의 인버터에 비해 제안된 Multi-Level 인버터가 일정한 전류레벨에서 1.8배 이상 전류가 빨리 정착하는 것을 알 수 있다.



(a) Build-up Time (b) Demagnetizing Time

그림 5 시간에 따른 전류 정착 및 소호시간 비교

Fig. 5 Build-up & Demagnetizing time according to each inverter

이는 인덕턴스의 변화가 없는 최소영역에서 스위치를 Turn-on할 경우 단순한 R-L회로로 등가화 할 수 있으므로 전류의 정착은 전압의 크기에 비례함을 알 수 있다.

그림 5(b)에서 보이고 있는 바와 같이 상 전류의 소호에 있어서도 기존의 인버터에 비해 제안된 인버터가 빨리 소호됨을 알 수 있다. 이는 토크 발생영역의 활용도를 증대 시켜 기계적 출력 및 에너지 비를 증대시킬 수 있는 중요한 요인이 될 수 있다.

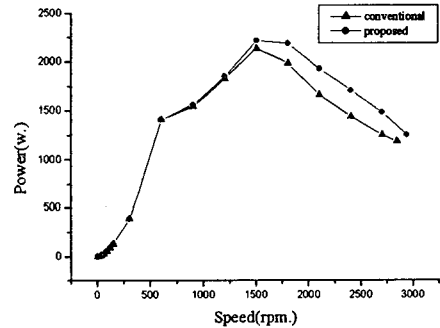


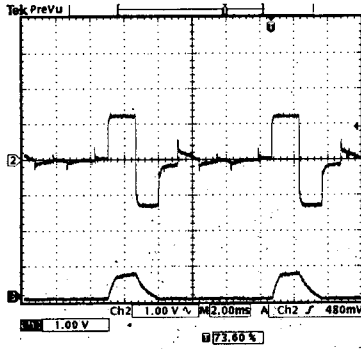
그림 6 동일한 토크 리플에서의 각 인버터의 출력특성

Fig. 6 Power characteristics

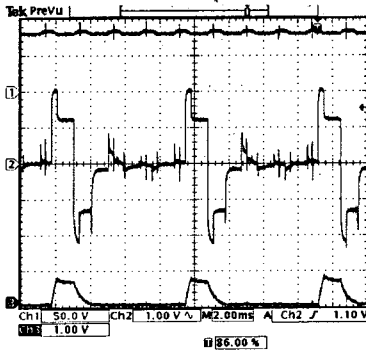
according to the same torque ripple

그림 6은 동일한 토크 리플에서의 각 인버터의 출력특성을 나타내고 있다. Q_{UP} 과 Q_{LO} 스위치의 도통비율에 따른 토크 리플을 기존의 인버터와 비교하였을 때, 제안된 인버터에서 출력의 증가는 토크 리플의 증가를 유발시키는 단점을 가진다.

그림 7은 기존의 인버터와 제안된 인버터의 상전압 및 상전류 파형이다. 그림 7(a)와 (b)는 동일한 드웰각 및 전압에서 실험이 이루어 졌으며 실제 실험 결과, 시뮬레이션의 결과와 동일하게 기존의 비대칭형 브릿지 인버터에 비해 제안된 인버터의 전류 소호시간이 짧아짐을 알 수 있다. 따라서 본 실험의 결과에 의해 제안된 인버터로 SRM을 구동시킬 경우 약 20%정도 도통비를 증대시킬 수 있을 것으로 사료된다.



(a) Phase voltage and current in conventional inverter

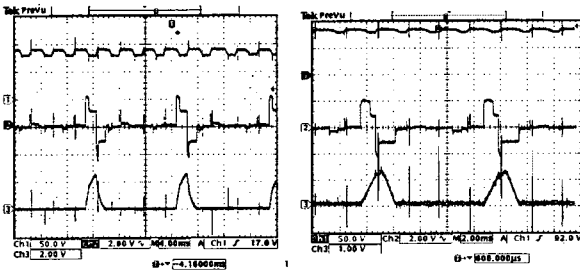


(b) Phase voltage and current in proposed inverter

그림 7 기존의 인버터와 제안된 인버터의 상전압, 상전류 파형

Fig. 7 Voltage, current in conventional and proposed inverter

그림 8은 SRM을 전동기 및 발전기 모드로 동작시 전압 및 전류 및 콘덴서 전압의 실험 파형을 나타내고 있다.



(a) Motoring mode

(b) Generating mode

그림 8 전동기와 발전기 모드에서의 상전압 상전류 및 콘덴서 전압파형

Fig. 8 Voltage, current in Motoring & Generating mode

그림 8(a)는 SRM을 전동기 모드로 구동시 권선 저항 손실을 적게하기 위해서 어드벤스 각도를 영으로 설정하고 상전류 정착과 소호를 신속히 하기 위해 80[V]의 여자전압과 감자전압을 인가할 때, 위로부터 콘덴서 전압, 상전압 및 상전류 파형이다. 그림 8(b)는 인덕턴스 상승구간에서의 여자 전류 확립 및 발전전류의 발산을 막기 위해 80[V]의 여자전압을 인가할 때, 위로부터 콘덴서 전압, 상전압 및 상전류 파형이다. 그림 8(b)에서 알 수 있듯이 전류가 어느 임계값 이상이 되면 전류가 발산하게 되고 이때 발산된 전류를 큰 전압으로 막지 못하면 상스위치는 과전류에 의해 파괴된다.

3. 결론

본 연구에서는 높은 여자전압으로 신속한 전류 정착과 높은 감자전압으로 신속히 전류를 소호함으로써 도통비를 증대시킬 수 있도록 기존의 비대칭형 브릿지 인버터와 스위칭 소자수가 동일하면서 다양한 레벨의 여자전압 형성이 가능한 인버터 토폴로지를 제안하였고, 그 결과 전동기 영역시 기존의 비대칭 브릿지 인버터에 비해 도통비가 20%정도 증대 하였음을 알 수 있었다. 또한 제안된 인버터의 경우 출력이 기존의 비대칭 브릿지 인버터에 비해 증대함을 알 수 있었다. 그러나 콘덴서 전압과 DC-Link 전압의 차이만큼 토폴로 리플로 작용하므로 부하 및 모터의 기계적 구조에 맞는 능동적인 콘덴서 전압제어가 이루어져야 한다

본 연구는 과학재단 목적기초연구(R01-2001-00300) 지원으로 수행되었음

참고 문헌

- [1] 안진우, "스위치드 릴럭턴스 전동기", 오성미디어, 2001.1
- [2] I. Husain and M. Ehsani, "Torque Ripple Minimization in Switched Reluctance Drives by PWM Current Control", *IEEE Trans. Power Electronics*, vol. 11, no. 1, pp. 91~98, 1996.
- [3] 이상훈, 박성준, 안진우, 김철우; "SRM의 최대도통비를 갖는 여자전압제어," 대한전기학회 하계학술대회, pp. 977 ~ 979, 2001.
- [4] S.-H. Lee, S.-J. Park, S.-G. Oh, J.-W. Ahn; "Five-Level Inverter for Optimal Excitation of SRM Drive," *Proceedings of IEEE/ISIE*, vol. 3, pp. 1401~1406, 2001.