

단상 SRM의 운전 특성 개선을 위한 새로운 패시브 컨버터

논문

58-8-9

A Novel Passive Converter for Improving Drive Characteristics of a Single Phase SRM

이 동 희* · Liang Jianing** · 안 진 우†

(Dong-Hee Lee · Jianing Liang · Jin-Woo Ahn)

Abstract - This paper presents a novel passive converter for single phase SRM. The proposed passive converter has additional passive power circuit which is consisted by three diodes and one capacitor in the front-end of conventional asymmetric converter to supply a high negative bias during demagnetization. The high negative bias can reduce the demagnetization time and negative torque from tail current in single phase SRM. So, It can extend positive torque region by the extended turn-off position. In this paper, the structure and operating modes of a novel passive converter are introduced with mathematical model. The proposed single phase SRM using passive converter is verified by the computer simulation and experimental results.

Key Words : Single Phase SRM, Passive Converter, High Negative Bias Mode

1. 서 론

단상 스위치드 릴럭턴스 전동기(Switched Reluctance Motor, SRM)는 단순한 전력변환기, 고속운전특성, 높은 운전효율, 넓은 가변속 범위 등의 장점을 가진 전동기구조로 송풍기 등의 산업분야와 가전분야에 그 효용성이 인정되고 있다[1-3]. 특히, 고속 운전을 필요로 하는 송풍기, 팬 및 청소기용으로 그 적용이 점점 확대되고 있다[4-7].

단상 SRM을 구동하기 위한 일반적인 전력 컨버터는 기존의 비대칭 컨버터를 많이 사용하고 있지만, 비대칭 컨버터의 경우에는 직류링크 전압의 크기 범위 내에서만 전동기의 제어가 가능하므로, 고속 운전이나 효율적인 토크 제어를 위한 다양한 형태의 전력 컨버터가 많이 연구되고 있다[8-10]. 특히, 전동기의 속도가 증가함에 따라 턴-오프에 따른 감자시간에 따른 테일 전류(tail current)의 발생이 증가하게 되고 이에 따른 부토크의 발생으로 소음 및 진동이 증가하는 문제가 발생하며, 이러한 부토크를 억제하기 위해 턴-오프각을 선행적으로 앞당기게 되면, 정토크 영역이 역으로 감소하는 문제가 발생한다. 이러한 감자구간의 크기는 턴-오프시점에서의 인덕턴스와 부하전류 및 스위칭 전압의 크기에 의존적이다. SRM의 테일 전류를 억제하고 정토크 영역을 확대하기 위해서는 빠른 감자(demagnetization)가 가능한 높은 음전압의 발생이 필요하다.

본 논문에서는 SRM의 턴-오프 구간에서 높은 음전압이

인가되어 감자구간을 감소시키고 이에 따른 부토크의 발생을 억제하며, 정토크의 활용영역을 확대하기 위한 패시브 컨버터 회로를 제안한다. 제안된 패시브 컨버터는 기존의 비대칭 컨버터 전단에 세 개의 다이오드와 추가적인 부스터 커패시터를 가지는 구조로, 기존의 직류 링크전압을 평활하기 위한 커패시터와 추가된 부스터 커패시터는 SRM의 동작에 따라, 직렬 또는 병렬로 연결된다. 정토크 발생영역에서는 병렬로 연결된 커패시터 회로에서 안정적인 직류 링크 전압의 공급이 가능해지고, 감자구간에서는 두 개의 커패시터가 직렬로 연결되어 직류링크 전압의 2배에 해당되는 높은 감자전압이 상권선에 인가되어 감자구간을 감소시킬 수 있는 장점이 있다. 이러한 감자구간의 감소는 SRM의 턴-오프시점을 기존의 비대칭 컨버터에 비하여 연장할 수 있으므로, 정토크 발생 구간을 좀더 확장할 수 있는 특징을 가진다. 또한 패시브 컨버터의 높은 감자전압은 제어기에서 별도의 제어가 필요하지 않고, 비대칭 컨버터의 스위치를 모두 턴-오프 시키는 동작에 의해 자동적으로 수행되므로, 제어가 매우 용이한 장점이 있다.

제안된 패시브 컨버터는 6/6 단상 SRM의 컴퓨터 시뮬레이션과 실제 적용 실험을 통하여 기존의 비대칭 컨버터의 동작을 상호 비교함으로써 그 성능을 확인하였다.

2. 단상 SRM의 운전 특성

그림 1은 일반적인 6/6 단상 SRM의 구조와 이를 구동하기 위한 비대칭 컨버터의 구조를 나타내고 있다. 단상 SRM은 고정자와 회전자가 모두 돌극형으로 구성되어 있다. 회전자가 회전함에 따라 고정자의 자극과 일치하는 방향으로 전동기의 인덕턴스가 가변하게 되고, 이러한 인덕턴스의 상승구간에 펄스형의 전류를 고정자 권선에 인가함으로써, 릴

† 교신저자, 시니어회원 : 경성대 전기전자메카트로닉스 교수

E-mail : jwahn@ks.ac.kr

* 정 회 원 : 경성대 전기전자메카트로닉스 조교수

** 정 회 원 : 경성대 산업시스템 박사과정

접수일자 : 2009년 4월 27일

최종완료 : 2009년 6월 10일

력턴스 토크를 발생하여 회전하는 구조로 설계되어 있다. 비대칭 컨버터는 인덕턴스의 상승구간에서 윗단 스위치 Q_{AH} 와 아랫단 스위치 Q_{AL} 의 신호를 조합함으로써, SRM의 상권선에 직류링크전압 및 영전압을 인가할 수 있고, 이러한 스위칭의 조합으로 상권선의 전류를 제어할 수 있다.

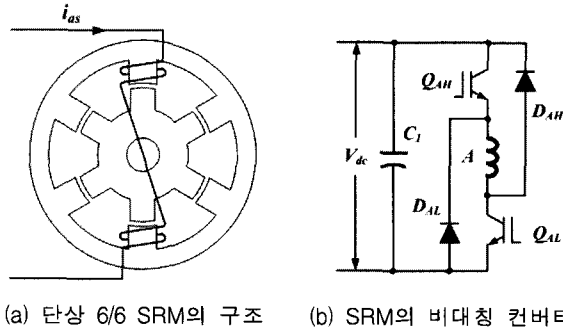


그림 1 단상 SRM과 비대칭 컨버터
Fig. 1 Single phase SRM and asymmetric converter

그림 2는 일반적인 비대칭 컨버터의 동작 모드를 나타내고 있으며, 그림 2(a)는 두 스위치가 모두 턴-온되어 SRM의 상권선에 직류 링크전압이 인가되는 여자모드를 나타낸다. 그림 2(b)는 아랫단의 스위치만 턴-온되어, 상권선 전류가 다이오드를 통하여 휠링하는 휠링모드(wheeling mode)를 나타내고 있으며, 이때, 상권선에는 영전압이 인가된다. 또한 그림 2(c)는 두 스위치가 모두 턴-오프되어 상권선의 전류가 다이오드를 통하여 커패시터로 궤환되는 감자모드를 나타내고 있다. 감자모드에서는 상권선의 전류가 영으로 소멸될때까지 음의 직류링크전압이 상권선에 인가된다.

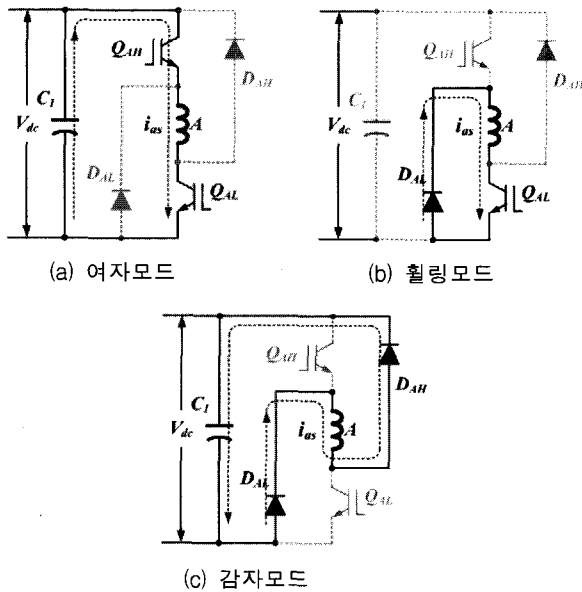


그림 2 단상 비대칭 컨버터의 동작 모드
Fig. 2 Operation modes of a single phase asymmetric converter
(a) Excitation (b) Wheeling (c) Demagnetization mode

단상 SRM의 순시 전압은 그림 2의 비대칭 컨버터 동작 모드에 따라 제어되며, 순시전압 방정식은 다음과 같이 표현된다[3-5].

$$v_{as} = Ri_{as} + L \frac{di_{as}}{dt} + \frac{\partial L}{\partial \theta} \omega i_{as} \quad (1)$$

여기서, v_{as} 는 단상 SRM의 상권선에 인가되는 순시 전압, i_{as} 는 단상 SRM의 순시 상전류, R 는 SRM의 권선저항, ω_{rm} 는 단상 SRM의 순시 회전각속도를 각각 나타낸다.

또한, 전동기의 발생 토크는 인덕턴스의 기울기와 상전류의 크기에 따라 다음과 같이 표현된다.

$$T_{as} = \frac{1}{2} i_{as}^2 \frac{\partial L(\theta, i_{as})}{\partial \theta} \quad (2)$$

3. 패시브 컨버터를 이용한 단상 SRM 제어

본 논문에서는 단상 SRM의 감자구간에서 높은 감자전압을 형성하기 위하여 그림 3과 같은 새로운 패시브 컨버터를 제안한다. 그림 3에서 제안된 패시브 컨버터는 기존의 비대칭 컨버터 전단에 세 개의 다이오드 D_1 , D_2 및 D_3 와 부스터 커패시터 C_2 를 추가한 구조로 설계된다. 제안된 패시브 컨버터에서 직류링크단 커패시터 C_1 과 부스터 커패시터 C_2 는 전류의 방향이 전동기 측으로 인가될 경우에는 병렬회로로 동작하며, 전류의 방향이 전원측으로 회수될때는 직렬회로로 동작하는 특성을 가지게 된다. 따라서, 두 개의 커패시터가 직렬회로로 동작할 때에는 SRM의 상권선에 부스터 커패시터 C_2 의 전압과 링크단 커패시터 C_1 의 전압의 합이 인가되므로, 높은 감자전압이 상권선에 인가될 수 있다. 따라서 이러한 높은 전압에 의해 감자 구간을 감소 시킬 수 있다.

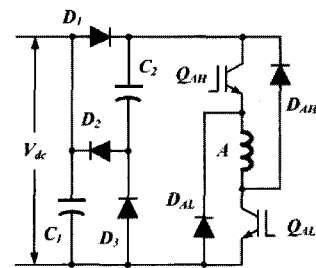


그림 3 제안된 패시브 컨버터형 단상 SRM 드라이브
Fig. 3 Proposed single phase SRM using passive converter

그림 4는 제안된 패시브 컨버터형 단상 SRM 드라이브의 동작모드를 나타내고 있다. 그림 4(a)와 (b)는 여자모드로, 직류링크단 전압이 부스터단 전압보다 높은 경우에는 여자모드 1이 수행되며, 부스터 커패시터의 전압이 링크단 전압보다 높은 경우에는 여자모드 2가 수행된다. 따라서, 상권선에는 두 커패시터의 충전전압 상태에 따라서 직류링크단 전압에 준하는 전압이 인가될 수 있다.

그림 4(c)는 휠링모드로 기존의 비대칭 컨버터와 동일한 동작을 수행하며, 그림 4(d)는 패시브 컨버터의 빠른 감자모

드를 나타내고 있다. 빠른 감자모드에서는 상권선의 소호전류가 부스터 커패시터 C_2 와 다이오드 D_2 및 링크단 커패시터 C_1 을 통하여 소호되므로, 상권선에는 두 커패시터의 전압의 합에 해당하는 음전압이 인가된다.

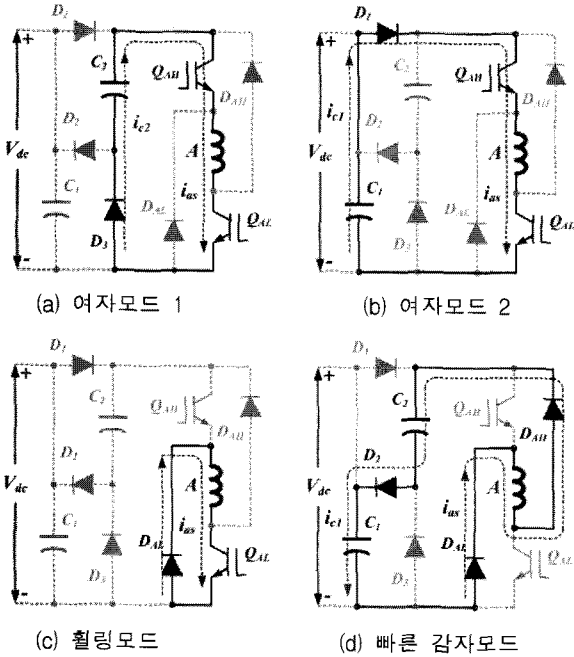


그림 4 패시브 컨버터를 적용한 단상 SRM의 동작 모드
 Fig. 4 Operation modes of single-phase SRM using passive converter

그림 4의 동작모드에서 직류 링크단 커패시터와 부스터 커패시터가 병렬로 연결되는 경우에, 출력전압은 두 커패시터단의 높은 전압이 전동기의 여자상에 연결된다. 부스터 커패시터 전압이 높은 경우에는 부스터 커패시터의 전원이 먼저 전동기에 인가되고, 이 전압이 방전이 되어 직류 링크단 전압보다 낮아지면, 링크단 전원이 상권선에 인가된다.

그림 5는 상전류의 파형과 부스터 커패시터단의 전압의 충전전 패턴을 나타내고 있다. 그림 5에서 회생되는 에너지는 부스터 커패시터 C_2 와 링크단 커패시터 C_1 에 충전되고, 두 커패시터 단의 전압은 상승한다. 두 커패시터의 전압 상승은 커패시터 용량에 따라 달라지며, 충전전 전압의 리플은 커패시터의 용량에 의존적이다.

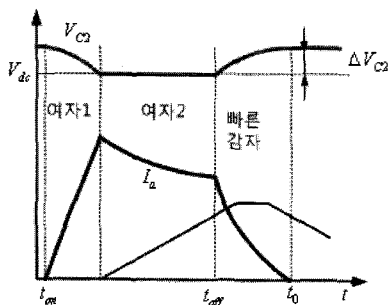


그림 5 두 컨버터에서 동작 특성 비교
 Fig. 5 Comparison of two-converters

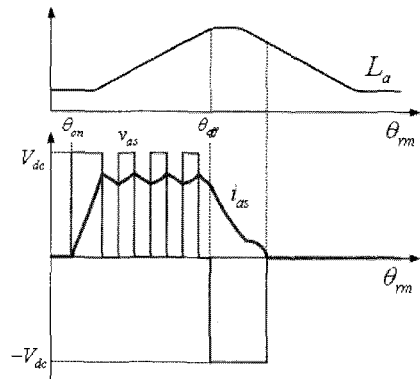
표 1은 제안된 패시브 컨버터의 동작모드에 따른 상전압의 크기를 나타내고 있다. 표 1에서 V_D 및 V_Q 는 다이오드 및 파워 스위치의 전압강하 성분을 나타내고 있다.

표 1 동작모드에 따른 상전압

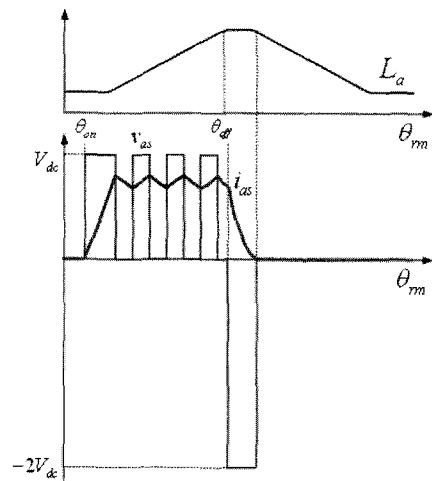
Table 1 Phase voltage according to operating modes

동작모드	Q_{AH}	Q_{AL}	전압조건	상전압
여자모드 1	on	on	$V_{C1} < V_{C2}$	$V_{C2} - V_D - 2V_Q$
여자모드 2	on	on	$V_{C1} > V_{C2}$	$V_{C1} - V_D - 2V_Q$
릴링모드	off	on		$-(V_D + V_Q)$
빠른 감자모드	off	off		$-(V_{C1} + V_{C2} + 3V_D)$

그림 6은 비대칭 컨버터와 제안된 패시브 컨버터의 동작에 따른 상전압 및 상전류 형상을 나타내고 있다. 제안된 패시브 컨버터의 동작에서 빠른 감자모드로 인하여 상전류의 소호가 빠르게 이루어 질 수 있으며, 이에 따라 테일 전류의 발생이 억제될 수 있음을 보이고 있다.



(a) 비대칭 컨버터의 동작



(b) 패시브 컨버터의 동작

그림 6 두 컨버터에서 동작 특성 비교
 Fig. 6 Comparison of two-converters

4. 시뮬레이션 및 실험결과

실험에 적용된 단상 SRM은 6/6 극 구조로 청소기용으로 개발되었으며, AC 70[V]의 입력 전압을 사용하도록 설계되었다.

표 2는 본 논문의 시뮬레이션 및 실험에 적용된 단상 SRM의 사양을 나타내고 있다.

표 2 전동기 사양

Table 2 Specifications of the motor

Stator pole	6	Rotor pole	6
Stator outer diameter	96 mm	Rotor inner diameter	54 mm
Number of phase	18turns	Core length	33 mm
Air-gap length	0.5 mm	Stator pole arc	22
Rotor pole arc	22	Lau (maximum)	5.31mH
Lu (minimum)	1.005mH	Input voltage	70VAC

그림 7은 본 논문에서 제안한 단상 SRM의 제어 블록도를 나타내고 있다. 전동기의 속도는 256ppr 엔코더를 통하여 회전자 위치로부터 계산되며, 회전속도에 따라 부토크를 억제하기 위한 턴-온각과 턴-오프각을 연속적으로 제어하는 방식을 적용하고 있다. 전동기의 속도는 내부의 전류 제어기에 의해 토크를 제어하는 방식으로 구현된다. 속도 제어기는 일반적인 PID 제어기를 사용하였으며, 전류 제어기는 히스테리시스 방식을 적용하였다.

시뮬레이션은 Matlab의 Simulink를 사용하여 수행하였으며, SRM의 인덕턴스는 측정된 인덕턴스 데이터로부터 룩-업 테이블을 만들어 실제와 유사한 시뮬레이션을 수행하였다. 기존의 비대칭 컨버터와 제안된 방식의 비교 및 부스터 커패시터의 영향을 분석하기 위하여 부스터 커패시터는 47[uF]과 직류링크단 커패시터와 같은 680[uF]에 대하여 비교 해석을 수행하였다.

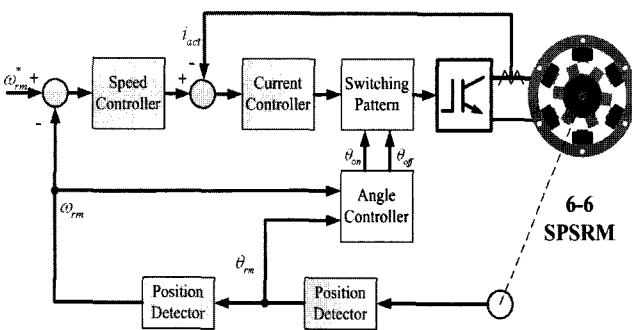
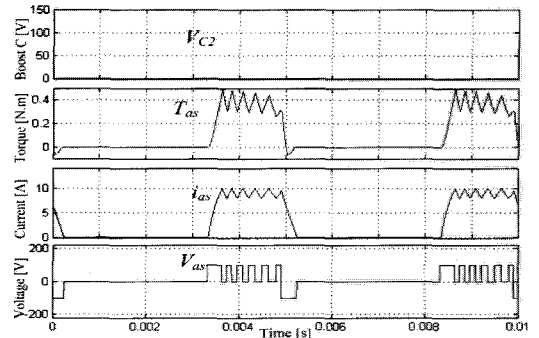


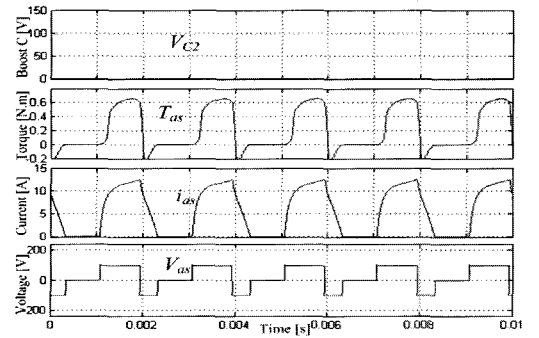
그림 7 단상 SRM 속도 제어 블록도

Fig. 7 Speed control block diagram of single phase SRM

그림 8은 2,000[rpm] 50%부하와 5,000[rpm] 정격부하에서의 비대칭 컨버터를 적용한 경우의 시뮬레이션 결과를 보이고 있다. 그림 9와 그림 10은 제안된 방식에서 각각 부스터 커패시터가 47[uF]인 경우와 680[uF]인 경우에 있어서의 시뮬레이션 결과를 나타내고 있다.



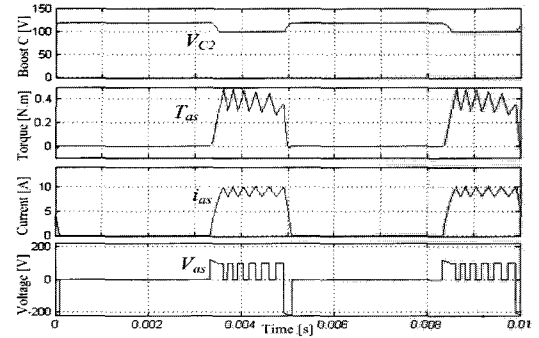
(a) 2000[rpm], 50% load



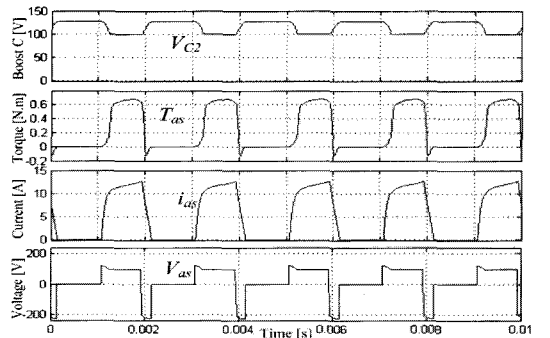
(b) 5000[rpm], rated load

그림 8 비대칭 컨버터의 시뮬레이션 결과

Fig. 8 Simulation results at asymmetric converter



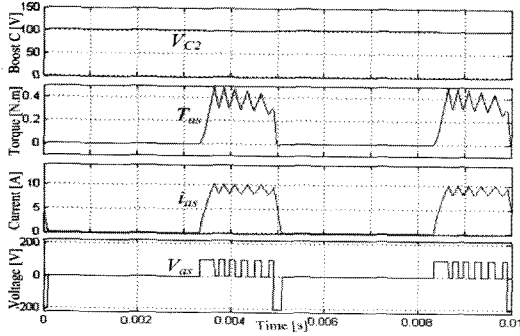
(a) 2000[rpm], 50% load



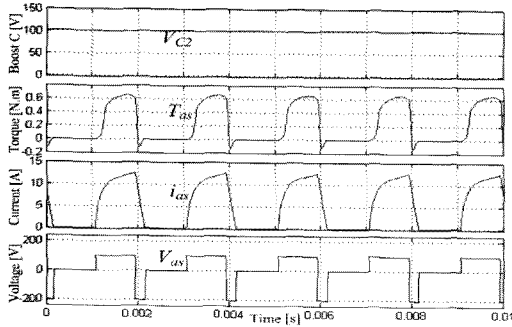
(b) 5000[rpm], rated load

그림 9 제안된 방식의 시뮬레이션 결과(C₂ = 47uF)

Fig. 9 Simulation results of the proposed converter(C₂ = 47uF)



(a) 2000[rpm], 50% load



(b) 5000[rpm], rated load

그림 10 제안된 방식의 시뮬레이션 결과($C_2 = 680\mu\text{F}$)

Fig. 10 Simulation results of the proposed converter($C_2 = 680\mu\text{F}$)

그림 8과 그림 9의 상호 비교에서 제안된 방식의 경우에 감자전류의 소호가 빠르게 발생하며, 고속에서 부토크의 발생이 억제됨을 보이고 있다. 또한 그림 9와 그림 10의 시뮬레이션 결과에서 부스트 커패시터의 용량이 클수록 부스트 단의 전압리플이 감소하지만, 충전전에 대한 시간이 많이 걸리게 된다.

그림 11은 제안된 시스템의 실험환경을 나타내고 있다. 디지털 제어기는 TI사의 TMS320F2812를 사용하여 구현하였으며, DSP에 내장된 12비트 AD 컨버터를 통하여 링크단 전압 및 전류를 검출하도록 설계되었다. 비대칭 컨버터는 IXYS사의 600V 30A급 IGBT로 설계하였으며, 직류링크단 커패시터는 680[μF]을 사용하였다.

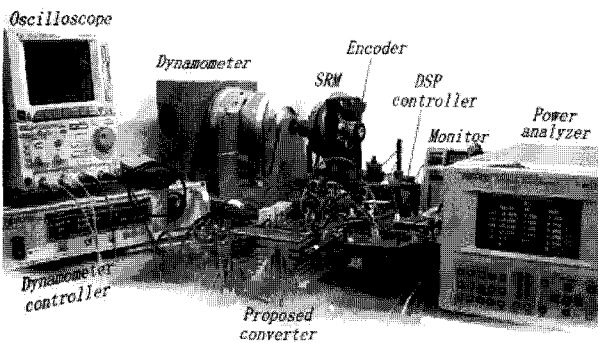
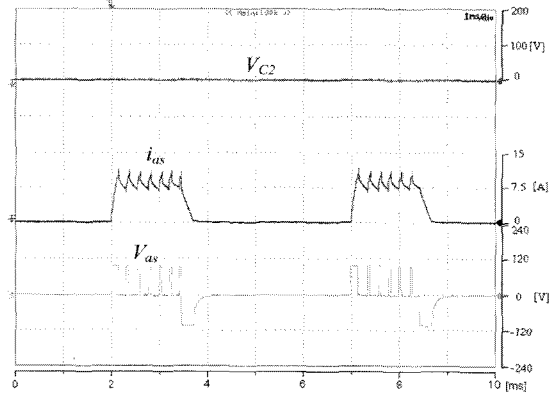


그림 11 실험장치의 구성

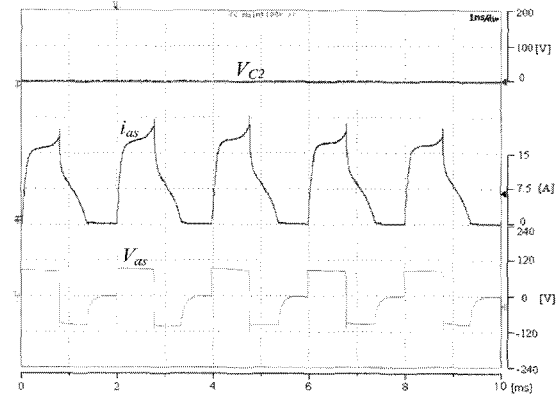
Fig. 11 Experimental configurations

부스터 커패시터의 영향을 실험하기 위하여 부스터 커패시터는 47[μF]과 직류링크단 커패시터와 같은 680[μF]에 대하여 비교 실험을 수행하였다.

그림 12는 2,000[rpm], 50%부하와 5,000[rpm], 정격부하에서 기존의 비대칭 컨버터를 적용하였을 경우의 정격부하에서 부스터 커패시터 전압, 상전류 및 상전압의 파형을 나타내고 있다. 그림 13과 그림 14는 같은 조건에서 제안된 방식을 적용하였을 경우에 각각의 부스트 커패시터를 47[μF] 및 680[μF]을 적용하였을 경우의 실험결과를 나타내고 있다.



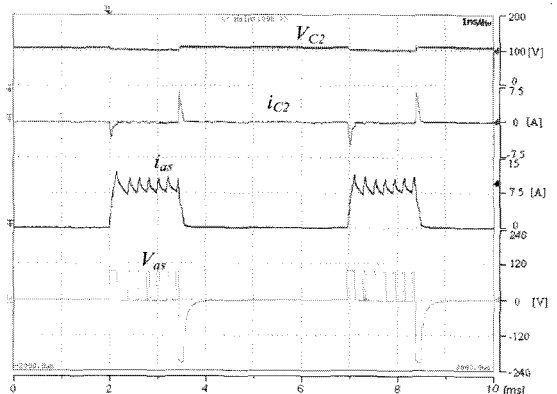
(a) 2000[rpm], 50% load



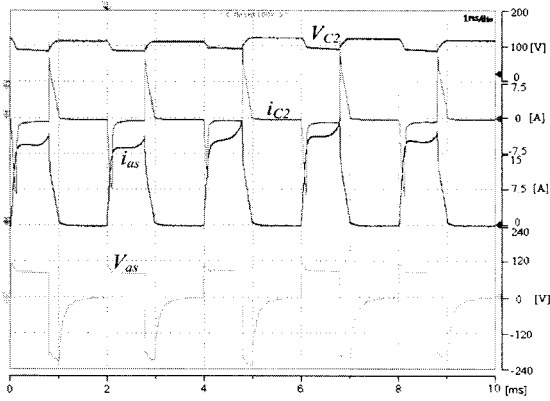
(b) 5000[rpm], rated load

그림 12 비대칭 컨버터의 실험 결과

Fig. 12 Experimental results at asymmetric converter



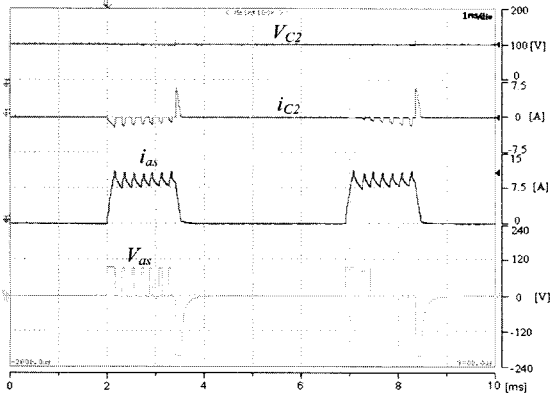
(a) 2000[rpm], 50% load



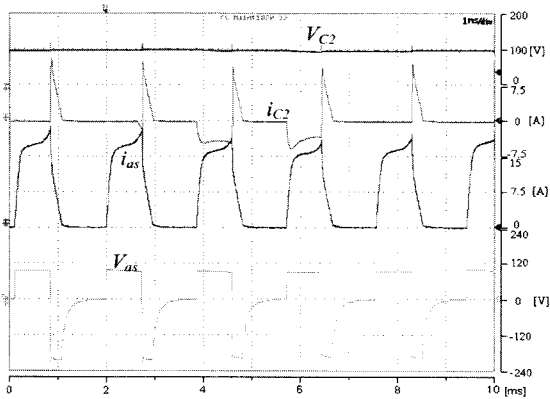
(b) 5000[rpm], rated load

그림 13 제안된 방식의 실험 결과($C_2 = 47\mu\text{F}$)

Fig. 13 Experimental results of the proposed converter($C_2 = 47\mu\text{F}$)



(a) 2000[rpm], 50% load



(b) 5000[rpm], rated load

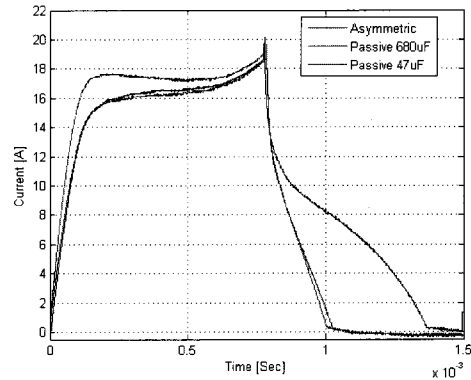
그림 14. 제안된 방식의 실험 결과($C_2 = 680\mu\text{F}$)

Fig. 14 Experimental results of the proposed converter($C_2 = 680\mu\text{F}$)

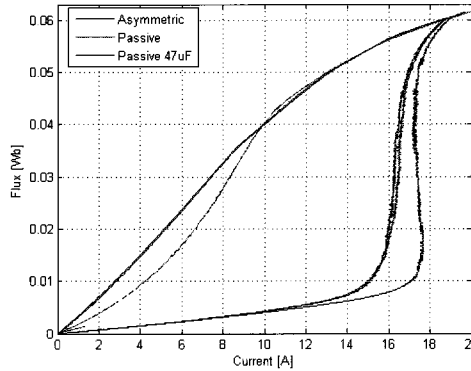
그림 12, 13 및 그림 14의 실험결과에서 시뮬레이션 결과와 마찬가지로, 제안된 방식의 경우에 높은 감자전압으로 인하여 같은 조건에서 전류의 소호가 빠르게 발생하며, 테일 전류의 발생이 억제됨을 보이고 있다. 또한 낮은 부스트 커

패시터에서 충전과 방전이 빠르게 나타나며, 높은 부스트 커패시터에서는 안정적인 전압의 공급이 가능함을 보이고 있다.

그림 15는 각 경우에 대한 전류의 형상과 자속-전류 특성곡선의 비교를 나타내고 있다. 제안된 방식의 경우에 기존의 비대칭 컨버터에 비해 빠른 전류 소호 특성을 나타내고 있으며, 부스트 커패시터의 용량이 낮은 경우에 빠른 충전 특성으로 인하여 전류 및 자속의 활용영역이 기존에 비해 크게 확장되고 있음을 보이고 있다.



(a) 전류 형상 비교



(b) 자속-전류 곡선 특성 비교

그림 15 전류 형상 및 자속-전류 특성곡선 비교

Fig. 15 Comparisons of current waveform and flux-current characteristics

5. 결 론

본 논문에서는 단상 SRM의 속도가 증가함에 따라 감자 구간에서 발생하는 테일 전류와 이에 따른 부토크의 발생을 억제하기 위한 새로운 패시브 컨버터를 제안하고, 동작모드의 해석에 따른 상권선 인가전압의 크기를 해석하였다. 제안된 패시브 컨버터는 부스터 커패시터와 링크단 커패시터의 직렬회로 및 병렬회로 동작에 의해 정토크 발생영역에서는 안정적인 링크단 전압을 공급하고, 감자구간에서는 직렬회로의 높은 감자전압을 상권선에 인가하도록 설계되었다. 제안된 회로에서는 감자구간에서의 감자시간을 감소시켜, 단상 SRM의 턴-오프 시점을 기존의 비대칭 컨버터에 비하여 넓게 설정할 수 있으며, 이에 따라 정토크 발생영역을 확장할 수 있는 장점이 있다. 또한, 직류 링크단 전압은 두 커패시터의 전압 상태에 따라 별도의 제어없이 안정적으로 공급

이 가능한 특징이 있다.

제안된 컨버터회로는 비대칭 컨버터와의 비교 실험에서 감자구간에서의 빠른 소호 특성과 테일전류의 감소를 확인할 수 있었으며, 이러한 장점은 전동기의 속도가 증가할수록 크게 나타남을 확인하였다. 따라서 제안된 컨버터는 단상 SRM의 고속운전 특성을 개선시킬 수 있음을 실험적으로 확인하였다.

감사의 글

본 과제(결과물)는 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지자원 인력양성사업의 연구결과입니다.

참 고 문 헌

[1] Dong-Hee Lee, Zhen-Guo Lee, Jianing Liang, Jin-Woo Ahn, "Single-Phase SRM Drive With Torque Ripple Reduction and Power Factor Correction", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 43, No. 6, pp. 1578-1587, Nov./Dec. 2007.

[2] J. W. Ahn, Z. G. Lee, "Micro controller based Single-phase SRM Drive with High Power Factor," The Transactions of The Korean Institute of Power Electronics, Vol.11, No.1, pp.90-96, February 2006.

[3] 이종한, 이은용, 김용현, "송풍기 구동용 단상 SRM의 인덕턴스 해석", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 1025-1027, 2004.

[4] 안진우, 김봉철, "송풍기용 단상 SRM의 구동특성", 전력전자학회 논문지, Vol. 8, No. 5, pp. 450-454, 2003.

[5] 빈재구, 이정환, 조승현, 박성준, 김철우, "단상 SRM 구동을 위한 1단 방식 역률보상형 컨버터 개발", 전력전자학회 논문지, vol. 8, No. 6, pp. 519-526, 2003.

[6] 이종한, 오영용, 이은용, "디스크형 단상 SRM의 구동 드라이브 제작과 성능 측정", 대한 전기학회 논문지 B 권, Vol. 49, No. 1, pp. 15-19, 2000.

[7] 오석규, 이치우, "자기동이 가능한 2상 SRM의 자기적 특성에 관한 연구", 조명전기설비학회 논문지, Vol. 22, No. 9, pp. 47-54, 2008.

[8] Jain, A.K.; Mohan, N.; "SRM power converter for operation with high demagnetization voltage", Industry Applications, IEEE Transactions on, Volume 41, Issue 5, Sept.-Oct. 2005 Page(s):1224 - 1231

[9] 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.

[10] Dong-Hee Lee and Jin-Woo Ahn, "A Novel Four-Level Converter and Instantaneous Switching Angle Detector for High Speed SRM Drive", IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 22, No. 5, pp. 2034-2041, Sept. 2007

저 자 소 개



이 동 희 (李 東 熙)

1970년 11월 11일생. 1996년 부산대 공대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 2002년~2005년 OTIS-LG 서보 R&D 선임연구원. 2005년~현재 경성대 전기전자메카트로닉스 공학부 조교수. 당학회 편집위원.



Jianing Liang (梁 嘉 寧)

1980년 7월 26일생. 2003년 중국 심양공업대 전기공학과 졸업. 2005년 3월~2007년 2월 경성대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 3월~현재 동 대학원 산업시스템공학과 박사과정.



안 진 우 (安 珍 雨)

1958년생. 1984년 부산대 전기공학과 졸업. 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1998년 8월~1999년 8월 미국 위스컨신대 방문교수. 2006년 7월 ~ 2007년 6월 미국 버지니아텍 방문교수. 2005년 3월~현재 기초전력연구원 차세대전동기기술연구센터장. 2008년 8월 ~ 현재 지식경제부 대학 전력연구센터(전동력융합기술 연구 센터장). 현재 당 학회 편집이사. IEEE Senior Member. 1992년~ 현재 경성대 전기전자·메카트로닉스 공학부 교수.