

단상 SRM 구동을 위한 1단 방식 역률보상형 컨버터

이정한, 박성준*, 박한웅**, 김철우
부산대학교, 동명대학교*, 해군사관학교**

Single-Stage Power Factor Corrected Converter for SRM Drive

Jung-Han Lee, Sung-Jun Park*, Han-Woong Park**, Cheul-U Kim
Pusan National University, TongMyong College*, Korea Naval Academy**

ABSTRACT

A single-phase power factor corrected converter for switched reluctance motor driving is presented to achieve sinusoidal, near unity power factor input currents. Because it combines a power factor corrected converter and a conventional asymmetric SRM driver into one power stage, the configuration has a simple structure resulted in low cost. A prototype to drive 6/6 poles SRM employing a parking magnet is designed to evaluate the proposed topology. The characteristics and operational mode will be discussed in depth, and the validity of proposed driver will be verified through the experimental results.

1. 서 론

SRM 컨버터에 관한 연구는 단방향 전류에 의하여 구동되는 SRM의 특성을 이용하여 전력소자수를 최소화할 수 있는 회로구성을 위주로 진행되어 다양한 형태가 개발되어 있으며 아울러 전력소자의 정격산정과 여러 가지 인버터의 특징과 장단점에 대한 비교·분석이 이루어졌다. 또한, 일반적인 특징 중에 하나는 SRM을 구동하기 위해서 사용되는 전원은 DC전원이므로 사용전원은 AC전원이다. 따라서 브릿지정류 다이오드와 대용량의 필터용 커패시터가 입력측에 포함되어있다. 그러므로 이와 같은 형태는 입력 인덕터와 커패시터의 값에 따라 짧은 도통각으로 인한 피크성의 전류가 흐르게 된다. 따라서 입력 전압과 전류가 동위상이 되지 않아 역률이 0.6 정도로 낮으며, 불필요한 무효전력의 발생으로 에너지 효율이 감소된다. 최근 이러한 낮은 역률에 대한 문제점을 해결하기 위해서 SRM 구동

회로에 역률 보상회로를 적용하기 위한 연구가 진행되고 있다^[1-2]. 그러나, 이들 역률보상회로는 2단 방식의 구조로 커패시터 앞단에 역률 보상회로를 부가하여 역률을 보상하고 있다. 2단 방식을 이용하는 역률 보상회로는 1단 방식에 비하여 구성이 복잡하고, 소자의 수가 증가하여 경제적으로 불리하다.

본 연구에서는 부가적인 능동 회로 없이 단상 SRM 구동회로를 1단 방식으로 구성하여 2단 방식의 역률 보상회로에 비하여 간단하면서도 단위역률이 가능한 단상 SRM 구동회로를 제안한다^[1].

2. 본 론

2.1 제안하는 PFC 단상 SRM 컨버터

브릿지 정류 방식의 문제점인 역률 개선과 2단 방식의 문제점인 효율 저감의 문제점을 해결하기 위해 최근 부가적인 능동회로 없이 PFC 기능이 첨가된 1단 방식의 SRM 드라이브가 연구되어지고 있다^{[3]-[6]}.

그림 1은 본 논문에서 제안하는 1단 방식 PFC 단상 SRM 컨버터이다. SRM의 속도-토크 특성은 직류 직권전동기와 동일한 특성을 갖고 있다. 따라서 일반적인 직류 전동기의 속도 제어법 중의 하나인 입력전압 속도 제어법과 같은 원리이다. 입력측에 일반적인 Boost Converter 형태와 출력측에 비대칭 SRM 드라이브를 조합한 형태이며 초핑 스위치 Q_2 에 의해 DC 링크단 전압 V_C 를 가변하여 원하는 속도를 제어하는 방식이다. 이방식은 추가적인 전력소자의 추가없이 입력 역률을 개선하였으며 동시에 기존의 2단 방식에 비해 회로가 간단하므로 전체 시스템 및 제어 알고리즘도 단순화시켰다는 장점을 가지고 있다. 그리고 토크리플이 크게 문제되지 않는 송풍기용 또는 중소형 진공 청소기용으로 적용 가능할 것으로 전망된다.

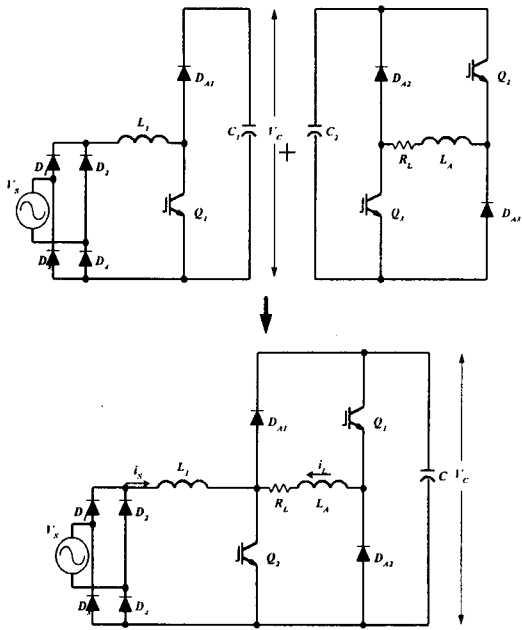


그림 1. 제안하는 1단방식 PFC 단상 SRM 컨버터
Fig. 1. Proposed Single-Stage PFC Single-Phase SRM Converter

2.2 동작원리

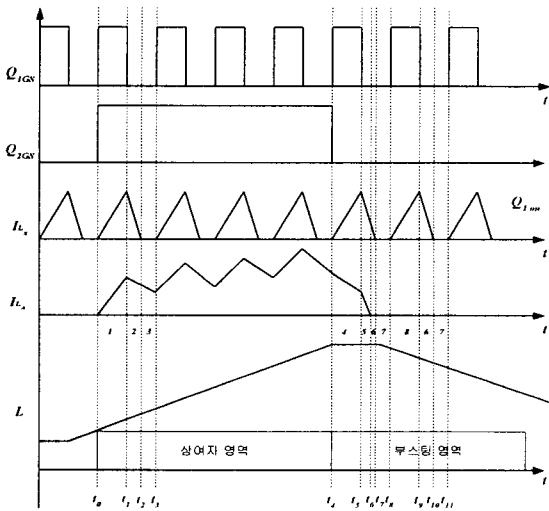


그림 2. 각 부의 주요 파형
Fig. 2. Key Waveforms

모드 1 (\$t_0-t_1\$): 쇼핑 스위치 Q_2 와 모터의 상스위치 Q_1 을 턴-온 시키는 모드이다. Q_1, Q_2 가 턴-온 되면 입력측의 전류 i_s , 모터의 상전류 i_L 이 증가하기 시작하며, L_s 에 축적된 에너지는 다음 Mode 때 V_c 전압 유지를 위한 소스가 된다. V_c 는 상여자를 위한 소스로서 동작한다.

모드 2 (\$t_1-t_2\$): 모터의 상스위치 Q_1 은 턴-온 상태를 계속 유지하고 쇼핑 스위치 Q_2 는 턴-오프 상태가 되면 입력측의 전류 i_s 가 감소하게 되어 제로가 될 때까지의 모드이다. 입력측의 전류 i_s 는 감소하

게 되고, 모터의 상전류 i_L 은 상스위치 Q_1 과 다이오드 D_{A1} 을 통해 환류하게 된다. 상의 저항성분에 의해 환류전류는 서서히 감소하게 된다. 그리고 L_s 에 축적된 에너지는 외부콘덴서로 충전된다.

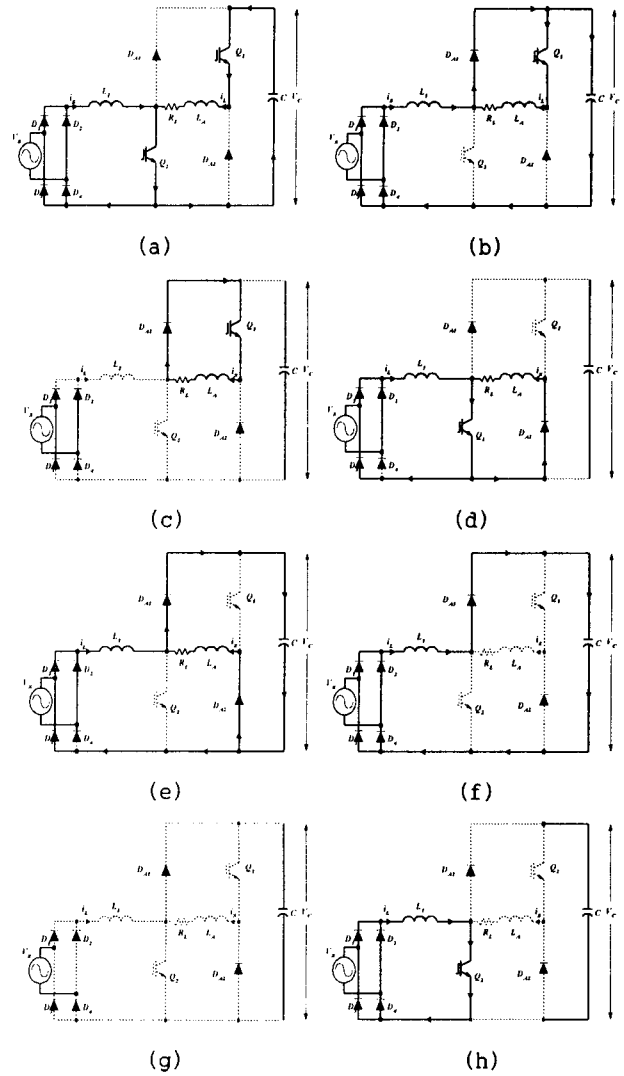


그림 3. 동작모드

Fig. 3. Operating Modes

(a)Mode 1, (b)Mode 2, (c)Mode 3, (d)Mode 4,
(e)Mode 5, (f)Mode 6, (g)Mode 7, (h)Mode 8

모드 3 (\$t_2-t_3\$): 모드 2에서 스위치의 변화는 없이 쇼핑 스위치 Q_2 가 턴-온 되기전까지의 모드이다. 이때 i_s 는 제로가 되며, 모터의 상전류 i_L 은 상스위치 Q_1 과 다이오드 D_{A1} 을 통해 환류하게 된다. 상의 저항성분에 의해 환류전류는 서서히 감소하게 된다. V_c 전압은 충·방전 없이 유지된다.

모드 4 (\$t_4-t_5\$): 쇼핑 스위치 Q_2 는 턴-온 되면서 모터의 상스위치 Q_1 이 턴-오프되는 모드이다. Q_2 가 턴-온되면 입력측의 전류 i_s 는 증가하기 시작하며, 모터의 상전류 i_L 은 쇼핑 스위치 Q_2 와 다이오드

D_{A2} 를 통해 환류하게 된다. 상 저항성분 R_L 에 의해 환류전류는 서서히 감소하게 된다. Q_1 이 턴-오프 상태이기 때문에 콘덴서는 방전이 일어나지 않고 V_C 전압은 계속 일정하게 유지된다.

모드 5(t_5-t_6): 쇼핑 스위치 Q_2 와 모터의 상스위치 Q_1 이 턴-오프되며 상전류 i_L 이 제로가 될 때까지의 모드이다. Q_1, Q_2 가 턴-오프되면 입력측의 전류 i_S 는 감소하게 되고 L_S 에 축적된 에너지는 다이오드 D_{A1} 을 통해 C 에 충전된다. 반면 모터의 상전류 i_L 은 감소하여 제로까지 떨어지며 L_A 에 축적된 에너지는 D_{A1}, D_{A2} 을 통해 콘덴서에 충전된다.

모드 6(t_6-t_7): 쇼핑 스위치 Q_2 와 모터의 상스위치 Q_1 이 계속 off가 유지되며 아직 zero로 떨어지지 못한 입력전류 i_S 가 zero 될 때까지의 모드이다.

모드 7(t_7-t_8): 쇼핑 스위치 Q_2 와 모터의 상스위치 Q_1 가 계속 턴-오프 상태로 유지되며 Q_2 가 턴-온 될 때까지의 모드이다. 이때 입력전류 i_S , 상전류 i_L 은 제로로 계속 유지되며 콘덴서의 충·방전은 일어나지 않는다.

모드 8(t_8-t_9): 모터의 상스위치 Q_1 이 턴-오프 상태를 계속 유지되면서 쇼핑 스위치 Q_2 는 턴-온 되는 모드이다. Q_1 이 턴-오프 상태이기 때문에 콘덴서는 충·방전이 일어나지 않고 V_C 전압은 계속 일정하게 유지된다.

3. 실험결과

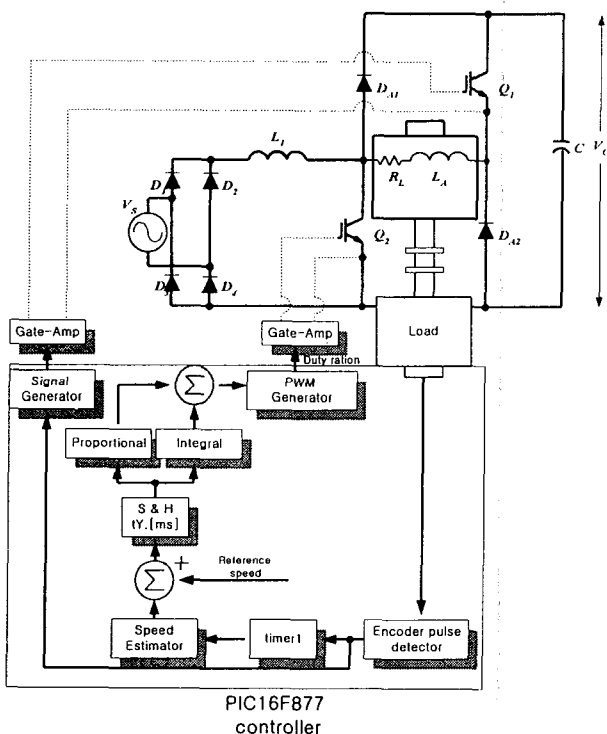


그림 4. 전체 시스템 구성도

Fig. 4. Configuration of the Overall System

그림 4는 전체 시스템 구성도를 나타내고 있다. SRM 구동 시스템의 구성은 구동력 발생의 본체인 단상 SRM, 이를 구동시키는 전압형 스위칭 컨버터, Gate Amp 와 제어부로 구성되어 있다. 제어기로 사용된 프로세서는 PIC16F877이다. 제어 루틴에서는 피 시험 모터가 기동 펄스, 운전 펄스 두 개의 펄스를 출력하게 되면 이 신호를 Encoder pulse detector가 검출하여 상여자 스위칭을 하게 되고, timer interrupt를 사용하여 12ms 동안 한번씩 모터의 속도를 검출해서 쇼핑 스위치의 듀티비를 결정하여 모터의 속도를 제어하게 된다.

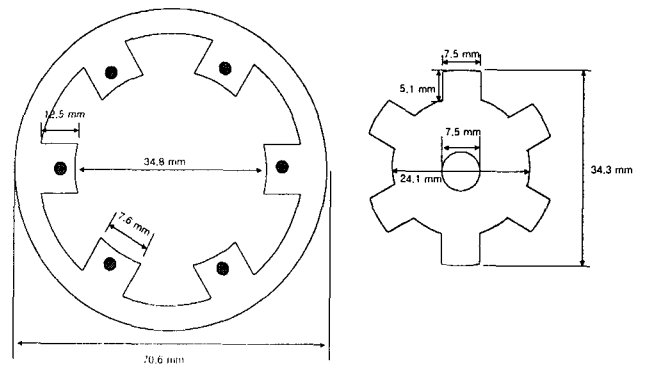


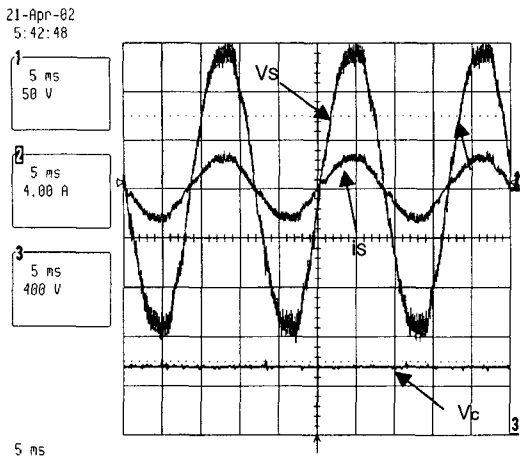
그림 5. 피 시험 전동기의 단면도

Fig. 5. Cross Sectional View of the Experimental SRM

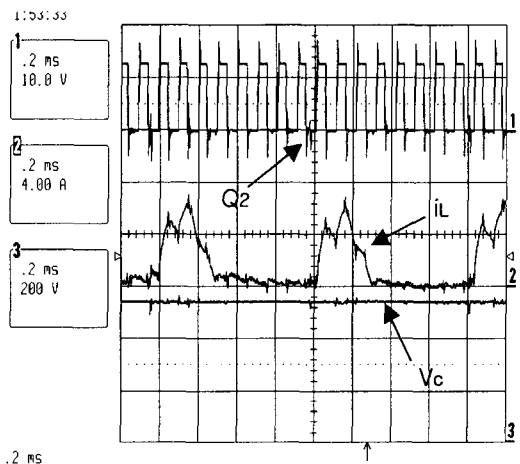
표 1. 시스템의 파라미터
Table 1. System Parameters

Parameter	Value	Unit
Input Voltage	100	[V]
Switching Frequency of Q_2	10	[kHz]
Filter Inductance of Input	1.6	[mH]
Filter Capacitance of Input	3.6	[μ F]
L_1 Inductance	1.2	[mH]
DC Link Capacitance	250	[μ F]

제안하는 시스템에 대한 구동 원리와 이론적 해석을 증명하기 위하여, 그림 5와 같은 모터 정수를 가진 1[kW]급 단상 6/6 pole SRM을 이용하여 단상 SRM용 PFC 컨버터를 제작하고 실험하였다. 제작한 시스템의 주 스위치는 IGBT(IXSH25N120AU1)로 50A, 1200V 정격을 가진다. 그림 6은 제안된 1 단 방식의 단상 SRM에서의 입력전압·전류와 스위치파형이다. 입력전압과 전류가 동위상이 되어 양호한 역률이 유지됨을 알 수 있다.



(a)



(b)

그림 6. 실험파형(12500rpm)

Fig. 6. Experimental Waveforms(12500rpm)

(a) Input Voltage · Current and DC Link Voltage

(b) Q2 signal, Phase Current and DC Link Voltage

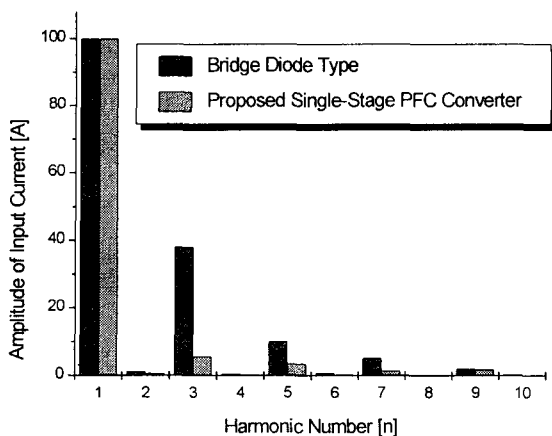


그림 7. 입력전류FFT 분석

Fig. 7. FFT Analysis of Input Current

그림 7은 기존의 브릿지 정류방식과 제안된 회로의 입력전류를 FFT분석하여 비교한 그래프이다. 그림에서 보는 바와 같이 고조파 성분이 현저히 저감됨을 보여주고 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 1단 방식의 단상 SRM용 컨버터를 사용하여 부가적인 능동회로 없이 브릿지 정류 방식의 문제점인 역률 개선과 2단방식의 문제점인 효율저감의 문제점을 해결하고 보다 간단한 단상 SRM 컨버터를 제안하였다. 입력 역률을 개선함과 동시에 경제적으로 저가화를 구현하여 단상 SRM의 실용화 가능성을 실험을 통해 입증하였다.

참 고 문 헌

- [1] R. Krishnam and S.Lee, "Effect of Power Factor Circuit on Switched Reluctance Motor Drives for Appliances", IEEE/APEC, pp.83-89, 1994.
- [2] G.H.Rim et al., "A Chopping Converter for Switched Reluctance Motor with Unity Power Factor and Sinusoidal Input Current". IEEE/PESC, pp.500-507, 1994.
- [3] F. S. Kang et al, "Unity Power Factor Drive of SRM with Single-Stack," IEEE/ISIE,pp.1786-1791,2001.
- [4] L. Huber, and M.Jovanovic, "Single-stage, Single-Switch, Isolated power supply technique with input-current shaping and fast output-voltage regulation for universal input-voltage-range applications," in Conf. Rec. IEEE APEC'97, pp.272-280, 1997.
- [5] M.H Kheruluwala, R.L. Steingerwald, and R. Gurumoorthy, "Fast response high power factor converter with a single power stage," in Conf. Re. IEEE PESC'91 pp.769-779, 1991
- [6] G. Hua, E.X. Yang, Y. Jiang, and F.C. Lee, "Novel Zero-current transition PWM converters," in Conf. Rec, IEEE PESC'93, pp.538-544,1993.