

UPF 및 정현파 입력 특성을 가지는 새로운 SRM 구동용 converter

임근희* 김원호* 김은수*

* 한국전기연구소

A Choppingless Converter for an SRM with UPF and Sinusoidal Input Current

Geunhie Rim* Wonho Kim* Eunsoo Kim*

Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - This paper proposes a new converter for switched reluctance motors using a Boost converter in conjunction with a Buck converter.

The proposed converter has a unity power factor(hereafter referred to an UPF) in the ac input regardless of the load variations.

Moreover, compared to the conventional converter topologies, the total system efficiency is improved by introducing choppingless voltage control methods in the machine side converter and an energy recovery snubber in the pre-voltage regulation stage, respectively.

1. 서론

Switched Reluctance Motor(SRM)는 비교적 제작가가 저렴하며 구조가 간단함과 동시에 단위체적당 torque 및 효율 등이 우수한 특성을 가지고 있다는 장점 때문에 최근에 와서 가변속 운전 분야에서 점차적으로 그 적용범위가 확대되어 가고 있는 실정이다. 그러나, 반드시 구동을 위한 converter가 있어야하며 회전자의 정확한 위치를 검출하기 위한 위치센서가 필요하다는 단점도 지적되고 있다.

본 논문에서는 SRM 구동용으로서 Boost-Buck converter가 결합된 새로운 형태의 full converter system을 소개한다.

이 converter는 입력측에 Boost converter를 사용함으로써 부하의 영향에 관계없이 항상 입력측 역률이 '1'이 되는 unity power factor 특성을 가지도록 하였으며, Boost stage의 높은 전압을 이용하여 고속 운전 시 요구되는 빠른 전류 상승율을 얻을 수 있어 상권선에 필요한 크기의 전류를 얻기 위해 전압 인가 시점을 앞당기는 등의 복잡한 제어를 줄일 수 있다. 또한, 종래의 converter topology들에 비하여 pre-voltage regulation 방식을 채택함으로써 인덕스잇칭 손실등을 대폭 줄였으며 energy recovery 기능을 보장함으로써 인해서 전체적인 system의 효율을 향상시켰다.

새로운 형태의 converter 분석 및 특성 파악을 위해서는 8/6구조의 SRM을 제작하여 그 제반 사항을 검토하였다.

2. 제안된 새로운 Converter

본 논문에서 제안된 새로운 형태의 converter는 그림 1.에

나타내어져 있다. 또한, converter의 설계에 있어서 가장 중점을 둔 부분은 입력측의 전압 및 전류가 동위상이되는 특징을 가지게 함과 동시에 효율을 최대한도로 높이는 것이며 다음과 같은 sub-system으로 구성된다.

- Boost state
- Buck stage
- SRM 구동용 converter

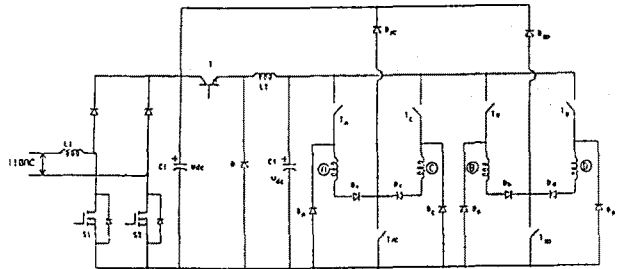


그림 1. 제안된 새로운 SRM 구동용 converter

3. 동작 원리

새로이 제안된 converter의 동작을 설명하기 위해서 전체적인 converter의 system을 크게 3부분으로 나누어서 그 동작을 설명한다.

① Boost state

입력 전압과 전류가 동위상이 되도록 제어하는 부분으로서 Switching 주파수는 약 20kHz가 되도록 제어회로를 설계하였으며 제어 방식은 SPWM(Sinusoidal Pulse Width Modulation)을 채택하였다. 부하의 변동에 관계없이 항상 converter의 입력 역률이 '1'이 되므로 입력측의 고조파 성분을 상당부분 제어할 수 있다. 또한, 기존의 제어 방식에 있어서는 저속운전 시에 전류를 제한하기 위하여 chopping 제어를 한다거나 속도의 증가에 따라 충분한 전류의 상승시간을 확보하기 위하여 triggering angle을 앞당기는 등의 복잡한 제어가 필요했으나, 이 topology는 Boost stage를 통해 높은 출력전압을 얻을 수 있으므로 SRM의 충분한 절연 내력을 확보할 수 있는 한 고속 운전시 자연스럽게 전류의

상승 속도를 높여줄 수 있으며 저속 운전 시에는 buck stage의 전압제어 방식을 채택함으로써 고속의 스위칭을 통한 chopping 제어의 필요성이 없어진다. 따라서, 종래의 converter와 같이 속도의 변화에 따른 복잡한 angle 제어 방식 등이 필요하지 않다.

종래의 diode bridge와 한 개의 스위치를 직렬 연결하여 사용하는 방식과는 달리, 스위치 2개의 on, off에 의해 동작되어 직렬로 구성되는 소자의 수가 적으므로 conduction loss를 줄일 수 있으며 ac측에 위치한 입력 L에 의해 EMI 영향을 감소시킬 수 있다. 또한, switch 1과 switch 2를 제어하기 위한 gate drive는 동일 ground이므로 제작이 용이하며 구조가 간단하다.

② Buck stage

종래의 converter에 있어서는 저속 운전 시 전류값의 상승을 억제하기 위하여 고속 스위칭 동작으로 전류를 chopping 하여 그 크기를 제한하였으나, 여기서는 buck stage의 switching duty를 조절함으로써 SRM 구동을 위한 converter의 전압제어를 실현한다. 따라서, 스위칭 주파수의 감소로 인한 loss를 크게 줄일 수 있으며 제어방식이 아주 간단하다.

이 때, Buck converter의 switching loss를 거의 없애 주기 위해 스위치의 양단간 전압이 zero가 되는 시점에서 turn-off 동작을 하여 Buck switch의 스위칭 시에 발생할 수 있는 전압 spike를 제어하는 효과를 가진다.

③ SRM converter

제어 방식이 가장 쉬우며 다양하다고 알려져 있는 Asymmetric Bridge Converter보다 소자의 수가 적고 비교적 다양하고 쉬운 제어를 실현할 수 있는 1.5q switch topology를 채택하였다. 그러나, 종래의 1.5q switch topology는 스위칭소자의 내부에 존재하는 diode의 영향을 무시하였으므로 상권선을 여자하는 loop상에 diode를 삽입하여 타상의 강제 감자시의 역전류 흐름을 억제하였다. 또한, 강제 감자시 전류를 입력측으로 회생시킬 수 있는 diode pass를 만들어 에너지 효율을 더욱 높일 수 있다.

이 converter를 사용함에 있어서 여자시 상순은 서로 이웃하지 않은 상순으로 교번시키며 여자하도록 주의해야 한다.

4. 실험 결과

그림 2.는 SRM 구동을 위한 전체 시스템 구성을 나타낸 그림이다. 새로이 제안되어진 converter의 특성을 알아보기 위해 제작한 SRM의 정격은 다음과 같다.

- Input voltage : AC 100V
- Output power : 400W
- Rated speed : 3600RPM

Converter에 의해 구동되어진 SRM의 입력측 전압, 전류 및 motor 권선의 상전류 파형이 그림 3.에 나타나 있다. 입력 전류 및 전압의 위상은 거의 in-phase되어진 상태에서 motor의 상전류도 아주 이상적으로 나타나고 있음을 알 수 있다.

그림 4.는 이상적으로 제어되고 있는 상태에서 Boost stage의 콘덴서 양단 전압과 Buck stage 콘덴서 양단의 전압파형

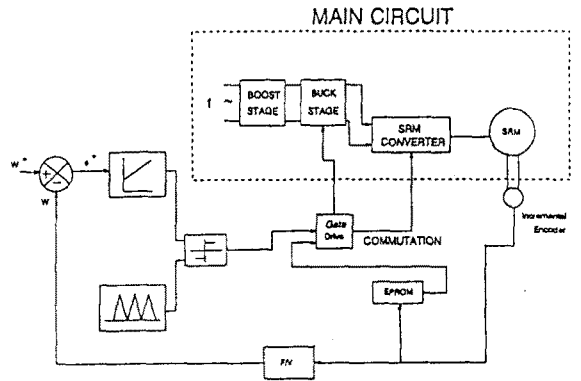


그림 2. 시스템의 전체 구성도

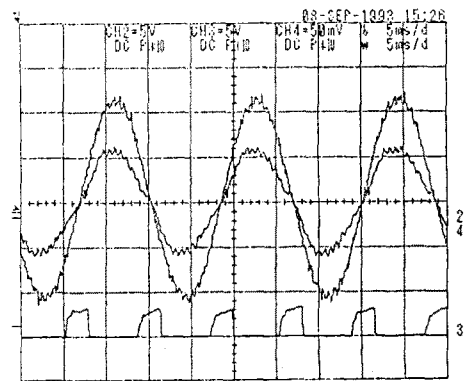


그림 3. 입력측 전압, 전류 및 motor 권선의 상전류 파형

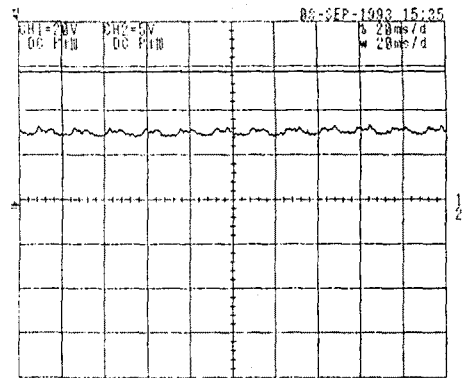


그림 4. Boost stage의 콘덴서 양단 전압과 Buck stage 콘덴서 양단의 전압파형

을 나타낸 그림이다. Boost stage 콘덴서의 양단 전압은 부하 변동에 무관하게 입력측 전압, 전류가 in-phase되도록 제어함으로써 거의 ripple이 포함되어 있지 않음을 알 수 있다.

그림 5.는 Buck switch 양단의 전압, 전류의 파형을 나타내는데, Switching loss 및 voltage spike의 영향이 억제되고 있음을 알 수 있다.

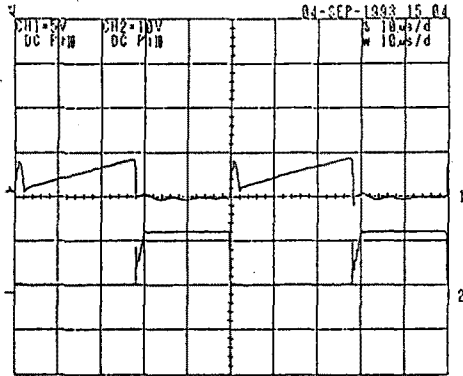


그림 5.는 Buck switch 양단의 전압, 전류 파형

5. 결론

실험 결과를 토대로 본 논문에서 제안된 converter의 특징을 살펴보면 다음과 같다.

- (1) 부하의 변동에 무관하게 항상 입력측 전압, 전류가 동 위상이 되는 UPF 제어에 의한 시스템 성능 향상.
- (2) Boost stage의 높은 전압을 이용함으로써 고속 운전 시에 별도의 제어 장치 없이도 효율적인 제어가 가능.
- (3) 종래의 converter와 비교하여 switching loss의 감소로 인한 system 효율의 향상.
- (4) Buck stage의 전압 제어를 통한 속도 변화로 인해 제어의 간편성을 도모.
- (5) Energy recovery snubber의 채용으로 Buck stage의 switching 손실 및 전압 spike 영향 제거.
- (6) UPF 제어, switching 손실 감소, switching stress 저감 및 경제적인 SRM 구동용 converter 채택으로 전체적인 SRM 제어용 full system 구축.

결론적으로 저주파 스위칭 소자의 사용가능성으로 원가절감이 기대되어지며 차후 Buck stage 콘덴서의 일정 전압제어를 통한 system 성능 향상에 대해서도 연구가 진행중에 있다.

참 고 문 헌

1. P. J. Lawrence, J. M Stephenson, "Variable-speed switched reluctance motors", IEEE PROC. vol. 127, no. 4, Jul., pp253-265, 1980
2. R. M. Davis, W. F. Ray, "Inverter drive for switched reluctance motor: circuits and component ratings", IEEE PROC, vol. 128, no. 2, Mar., pp126-136, 1981
3. Timothy J. E. Miller, "Converter Volt-Ampere Requirement of the Switched Reluctance Motor Drive", IEEE trans. on IA, vol. IA-21, no. 5, Sep/Oct,

pp1136-1144, 1985

4. W. F. Ray, P. J. Lawrenson, "High-Performance Switched Reluctance Brushless Drives", IEEE trans. on IA, vol. IA-22, no. 4, Jul/Aug, pp722-730, 1986
5. B. K. Bose, T. J. E. Miller, P. M. Szczesny and W. H. Bicknell, "Microcomputer Control of Switched Reluctance Motor", IEEE trans. on IA, vol. 22, no. 4, Jul/Aug, pp708-715, 1986
6. Krishnan Ramu, "Switched Reluctance Motor Drives", APEC '91, Jan., 1991
7. Slobodan vukosavic, Victor R. Stefanovic, "SRM Inverter Topologies: A Comparative Evaluation", IEEE trans. on IA, vol. 27, no. 6, Nov/Dec, 1991.
8. 임근희, "Switched Reluctance Motor의 개발응용 동향", 전기기술동향, Dec., pp1-5 1992
9. M. Ehsani, "Technology Simplification in Switched Reluctance Motor Drives", APEC '93, Mar., 1993
10. T. Takahashi, A. Chiba, K. Ikeda and T. Fukao, "A Comparison of Output Power Control Methods of Switched Reluctance Motors", PCC-Yokohama '93, Apr., 1993
11. R. Krishnan, R. Arumugam, J. F. Lindsay, "Design Procedure for Switched Reluctance Motors", IEEE trans. on IA, vol. 24, no. 3, May/June, 1988.
12. 임근희, 김원호, 이기철, 박종근, "가변속 스위치드 리럭턴스 모우터의 효율향상과 용이한 제어를 위한 새로운 콘버터 토폴로지", Proc. of KITE '93, vol 15, no. 1, Dec. 1993
13. 임근희, "Switched Reluctance Motor의 개발 및 응용", 전기공업, pp29-43, Sep., 1993
14. 임근희, "스위치드 리럭턴스 모우터 및 구동장치에 관한 연구", 과학기술처 연구보고서, 1993