

새로운 2상 Switched Reluctance Motor-용 Zero-Voltage Switching Converter

김형준, 이근홍, 신홍철, 김병한, 윤희수, 배한경
 삼성전기 중앙연구소 *Advanced Motor Lab.*

Abstract

본 논문에서는 고속회전 모터응용을 위한 새로운 2상 SRM용 ZVS 컨버터를 제안한다. 제안한 컨버터는 모든 스위치에서 **Zero-Voltage Switching**이 가능하고, 기존 토폴로지에 비해 소자수가 작으며, 각 상간의 자연스러운 에너지 전달에 의해 토크 리플을 줄일 수 있다. 제안하는 컨버터의 동작원리를 설명하였고 기존 컨버터와의 비교 분석을 수행하였으며 시뮬레이션을 통해 본 방식의 타당성을 검증하였다.

1. 서론

최근 모터의 고속회전 기술이 점차 필요해짐에 따라 기존 AC모터 또는 DC모터와 같이 제어가 필요한 모터보다는 BLDCM이나 SRM과 같이 제어를 통해 속도조절이 가능한 모터가 각광을 받고 있다. 그러나 100,000 RPM 이상의 고속회전 영역에서 구동하게 되면 제어기를 구성하는 인버터 또는 컨버터 회로의 스위칭 손실이 커져 효율이 감소되는 문제가 발생한다. 따라서 고속회전을 필요로 하는 모터에서는 스위칭 손실을 줄이기 위한 소프트 스위칭 기법의 적용이 필요하다. 그러나 기존에 개발된 SRM 제어용 컨버터에서는 소프트 스위칭 기법이 적용된 토폴로지나 제어방법이 없었다.

본 논문에서는 고속 SRM 응용에 적합한 새로운 컨버터 토폴로지 및 제어방식을 제안한다. 제안한 컨버터는 다음과 같은 장점을 갖는다.

- 모든 스위치에서 **Zero Voltage Turn-ON** 이 가능하다.
- 기존의 SRM 컨버터에 비해 소자 수가 적다.
- 기존 SRM 컨버터에 비해 토크 리플을 줄일 수 있다.

2. 제안하는 컨버터의 동작원리

제안하는 컨버터는 그림 1에서 보는 것과 같은 2상 Switched Reluctance Motor를 구동하기 위해 설계되었다.

2상 SRM은 A상, B상 권선이 감긴 Stator를 여자하여 Rotor를 회전시킨다. 이 때 Stator의 돌극과 Rotor의 돌극에 위치에 따라 인덕턴스가 변화한다. 제안하는 컨버터는

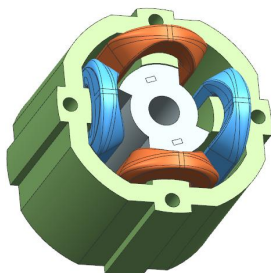


Fig. 1 Proposed Two-Phase Converter

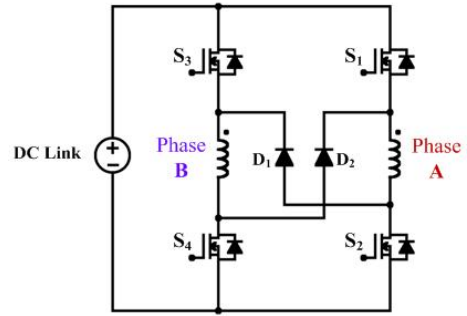


Fig. 2 Proposed Two-Phase Converter

그림 2에서 보는 것과 같이 4개의 MOSFET 스위치, 2개의 다이오드로 구성되어 그림 3에서의 제어 메커니즘으로 2상 SRM을 구동한다. S₁, S₄는 서로 180도 위상차를 가지며 반주기씩 On되어 있다. S₂, S₃ 또한 마찬가지로 180도 위상차와 반주기 On을 하고 있다. 기존 SRM 컨버터들의 선행각, 도통각 제어와 동일하게 엔코더 파형을 기준으로 S₂, S₃를 조절하여 선행각을 제어하고 S₁, S₄를 조절하여 도통각을 제어할 수 있다.

- **T₁ ~ T₂ (S₁ On, S₂ On)**
 S₁과 S₂가 Turn-On되어 A상 권선에 에너지를 공급 한다.
- **T₂ ~ T₃ (S₁ Off, S₂ On)**
 이때 S₁이 Turn-Off되고, S₁양단에 입력전압이 인가되면서 S₄의 내부다이오드와 D₂는 순방향 바이어스로 전환되어 A상에 흐르던 전류가 S₄ 내부다이오드와 D₂, S₂를 통해 순환한다.
- **T₃ ~ T₄ (S₂ On, S₄ On)**
 S₄가 Turn-On되어 A상의 전류는 S₂와 S₄를 통해 순환한다. 이때 S₄는 ZVS Turn-On을 성취하며 식(1)에 의해 전류기울기는 속도 기전력에 의해 점차 감소한다.

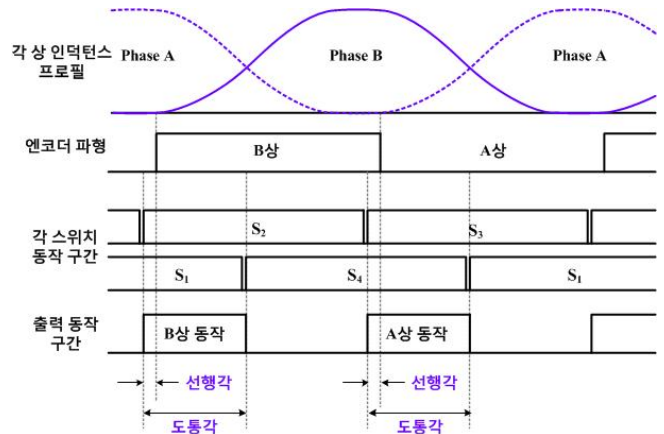


Fig. 3 Control Mechanism of proposed converter

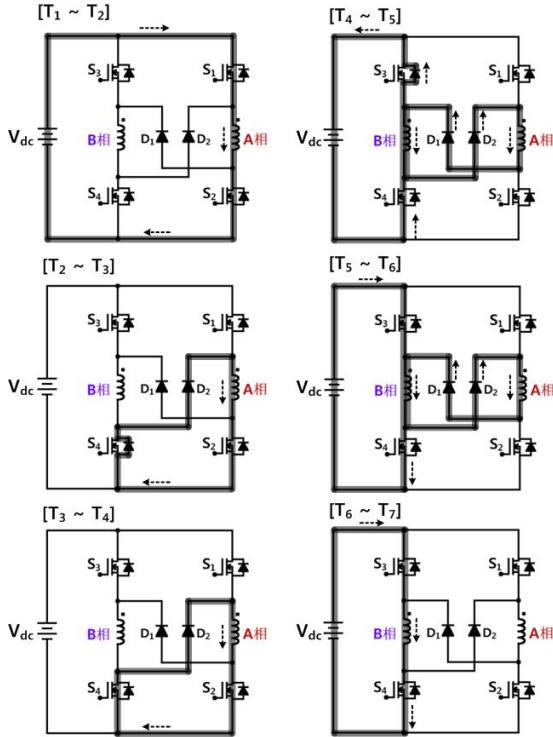


Fig. 4 Operation Mode of proposed converter

- $T_4 \sim T_5$ (S_2 Off, S_4 On)
 S_2 가 Turn-Off되어 S_3 내부다이오드와 D_1 은 순방향 바이어스로 전환된다. A상 전류는 D_1, D_2 , 및 S_3 내부 다이오드, S_4 를 통해 순환하며 A상에 입력전압이 역으로 인가되므로 점차 감소한다. 이때 B상 양단에서는 입력전압이 양의 방향으로 인가되어 B상 전류는 상승하며 A상 전류보다 작으므로 D_1, D_2 를 통해 흐른다.
- $T_5 \sim T_6$ (S_3 On, S_4 On)
 S_3 가 Turn-On되어 B상과 A상 전류 차만큼 S_3 와 S_4 를 통해 흐른다. 이때 S_3 는 ZVS Turn-On을 성취한다.
- $T_6 \sim T_7$ (S_3 On, S_4 On)
A상 전류는 0까지 감소하여 흐르지 않고 B상으로 입력 에너지가 모두 전달된다. 이때 속도기전력이 V_{dc} 보다 커져 아래 식(1)에 의해 전류는 감소한다.

$$V_{dc} = L_{motor} \cdot \frac{di}{dt} + i \cdot \frac{dL_{motor}}{d\theta} \cdot \omega \quad (1)$$

3. 실험

제안하는 컨버터의 게이트 파형 및 상전류 파형을 그림 6에 나타내었다. 앞의 동작원리에서 설명한 것과 같이 S_1, S_2 가 겹치는 구간에서 Phase A에 에너지가 전달됨을 확인하였다. 또한 그림 7에서 각 스위치마다 Zero-Voltage Switching이 성취되는 것을 증명하였다.

4. 결론

본 논문에서는 고속 2상 SRM 응용을 위한 ZVS 컨버터를 제안한다. 제안한 컨버터는 낮은 스위칭 손실, 작은 토크리플 면에서 10만 RPM이상의 고속회전용 SRM

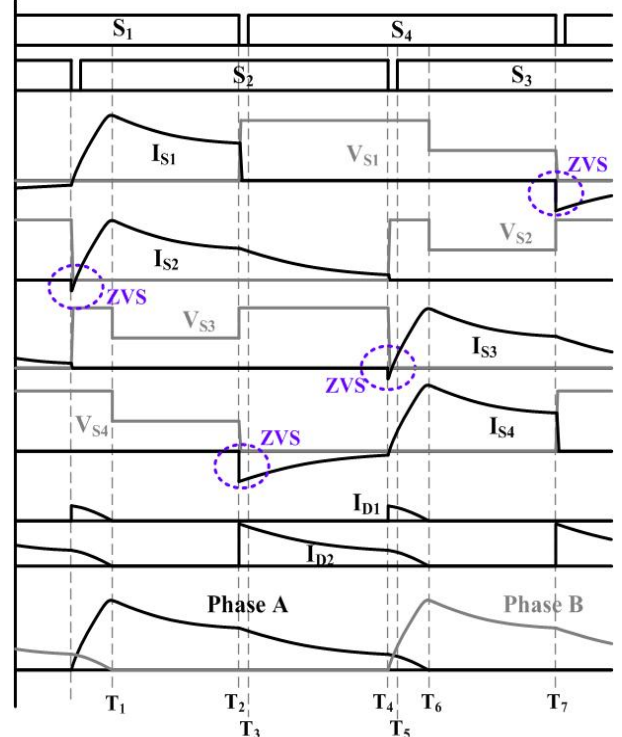


Fig. 5 Main Waveforms of proposed converter

컨버터로서 적합하다고 할 수 있다. 본 논문에서는 제안하는 컨버터의 동작원리 및 특징, 제어방식에 대해 설명하였고 시뮬레이션 및 실험을 통해 본 방식의 타당성을 검증하였다.

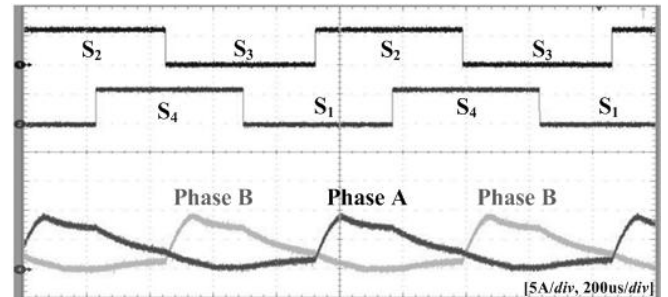


Fig. 6 Experimental Waveforms of the SRM Phase Current

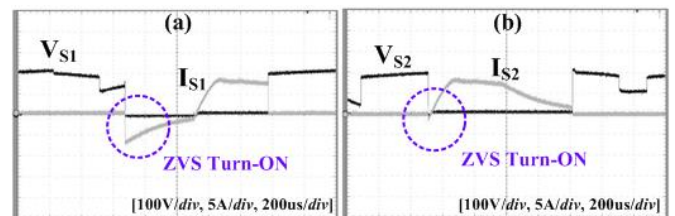


Fig. 7 Experimental Waveforms of the main switch (a) S_1, S_4 (b) S_2, S_3

참고 문헌

- [1] 안진우, "스위치드 릴럭턴스 전동기", 오성미디어, 2001
- [2] Han-Kyung Bae, Krishnan, R. "A novel approach to control of switched reluctance motors considering mutual inductance", in *Proc. IEEE IECON*, pp369-374, Oct. 2000.
- [3] Keunsoo Ha, Cheewoo Lee, Jaehyuck Kim, R. Krishnan, "Design and Development of Low-Cost and High Efficiency Variable-Speed Drive System With Switched Reluctance Motor", *IEEE Trans. Ind. Appl.* Vol.43, No.3, May/June 2007.