

80kW급 전기자동차 구동 시스템의 고효율 운전을 위한 Thyristor 다단변속회로

신양진¹, 박성열¹, 강수한¹, 최세완¹, 조수연², 정호창², 박준성², 신외경², 김덕진²
 서울과학기술대학교¹, 자동차부품연구원²

Thyristor winding changeover circuit for high efficiency operation of 80kW Electric Vehicle drive system

Yangjin Shin¹, Sungyoul Park¹, Suhan Kang¹, Sewan Choi¹, Suyeon Cho², Hochang Jung², Junsung Park², Waegyeong Shin², Deokjin Kim²

Seoul National University of Science and Technology¹, Korea Automotive Technology Institute²

ABSTRACT

본 논문에서는 전기자동차의 1회 충전 주행거리 연장 및 연비 향상을 위하여 주요 운전 영역에서의 평균효율을 극대화 시킬 수 있는 다단 변속 회로를 제안하였다. 제안한 회로는 Thyristor를 이용한 직·병렬 변속회로로 구성되어 있다. Thyristor의 특성으로 인해 과도상태가 없고 끊임없는 변속이 가능하여 추가적인 스너버 회로가 필요 없으며, 낮은 스위치 손실로 인해 전기자동차 구동 시스템의 고효율 및 저가격을 기대할 수 있다. 제안한 다단 변속 시스템의 타당성을 검증하기 위하여 80kW급 변속회로 AC 전동기와 연계하여 변속 동작을 검증하였다.

1. 서론

최근 화석에너지의 고갈과 이산화탄소에 의한 지구환경 오염 문제가 대두됨에 따라 전기자동차의 기술개발의 요구가 높아지고 있다. 전기자동차의 구동장치인 모터는 엔진에 비해 효율이 높고 진동과 소음문제가 거의 없으며, 토크 및 속도제어가 가능하다. 그러나 전력 공급의 한계로 인하여 고전력, 고토크의 연속주행이 불가능하다. 따라서 전기자동차의 다단변속이 구현된다면 토크 비 증대로 동일 모터로 우수한 동력성을 가질 수 있다. 또한 전기자동차의 운전영역에 맞게 변속을 하여 넓은 속도영역에서 고효율 운전이 가능하다.

기존에 개발되었던 다단 변속 시스템은 기계적 스위치로 구성되어 제한된 수명과 변속구간 동안 모터 전류 및 토크 단절이 발생하는 문제가 있다. 그림 1은 2012년에 야스가와 전기에서 개발한 다단 변속 시스템"QMET II"이다. 야스가와 전기의 변속 시스템은 적은 수의 IGBT 스위치와 다이오드 정류기만을 사용하여 기존 기계적 스위치의 제한된 수명 문제를 해결하였으며 변속시간을 단축하였다.[2] 하지만 변속 시 발생하는 인덕터의 서지에너지를 흡수하기 위하여 R C D로 구성된 수동 스너버 회로가 별도로 필요하고, 변속회로 IGBT 스위치에서 높은 도통손실이 발생하여 변속 시스템의 전력밀도를 저하 시킨다는 단점이 있다.

본 논문에서는 기존 기계식 스위치가 사용되던 직·병렬 변속회로에 Thyristor를 적용한 다단 변속 회로를 제안하였다. 제안한 변속회로는 변속 시 과도상태 없는 전환이 가능하여 별도의 스너버 회로가 필요 없으며 도통손실이 작아 전기자동차의 연비 향상 및 경량화를 기대할 수 있다.

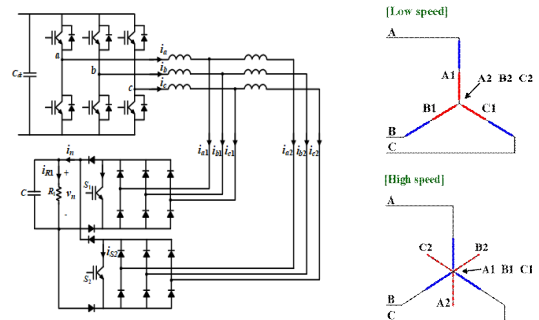


그림 1. 기존 중성점 절체식 변속회로(야스가와전기)

또한 제안한 변속 시스템의 타당성을 검증하기 위해 80kW급 변속회로 1대를 AC전동기와 연계하여 동작을 확인하였다.

2. 제안하는 다단 변속 회로

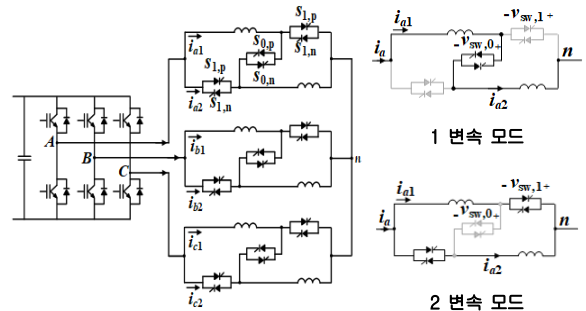


그림 2. 제안하는 Thyristor 직병렬 변속회로

스위칭 동작은 그림 4와 같이 정상 상태에서는 전류 주기에 따라 Thyristor를 저속 스위칭을 해주고, 변속 시에는 변속 신호가 입력되었을 때 다음 zero crossing 지점에서 변속이 되도록 한다. 따라서 변속 시 과도상태가 발생하지 않고 끊임없는 모드전환이 가능하며, 추가적인 스너버 회로가 필요하지 않다.

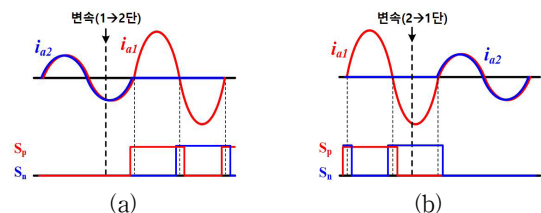


그림 3. 변속회로 스위칭 동작 (a) 1단→2단 (b) 2단→1단

표 1. 80kW 변속회로 비교

	기존 야스가와 변속회로	제안한 Thyristor 변속회로
스너버 회로	필요	필요 없음
소자 개수	IGBT : 2개 Diode : 16개 RC snubber : 1개 Gate Driver : 2개	Thyristor : 18개 Gate Driver : 18개
총 가격	\$500	\$780
총 손실	1847W	1049W

표 1은 80kW용량에서 야스가와 전기사의 변속회로와 제안한 변속회로의 손실과 가격등을 비교한 것이다. 제안한 변속회로의 총 손실이 야스가와와 변속회로에 비해 약 43%정도 적은 것을 확인할 수 있다. 그러나 총 가격은 약 50%정도 높은 것을 확인할 수 있다. 제안한 변속회로는 스위치의 개수가 많고 그에 따른 Driver 회로부가 필요하기 때문에 총 가격은 높지만 끊임없는 전환으로 손실이 적고 스너버 회로가 필요없다.

3. 실험 결과

제안하는 변속회로의 타당성을 입증하기 위해 아래와 같은 사양의 시작품을 제작하여 그림 4와 같이 AC 전동기와 연계하여 변속동작을 검증하였다.

- $P_o = 80\text{kW}$
- $V_{bus} = 150\text{V}$
- $f = 20\sim 120\text{Hz}$

그림 5는 80kW급 변속회로 시작품 1대를 AC전동기와 연계하여 동작한 실험파형이다. 그림 5(a)는 1변속(직렬)모드, 그림 5(b)는 2변속(병렬)모드로 동작한 실험파형이다.

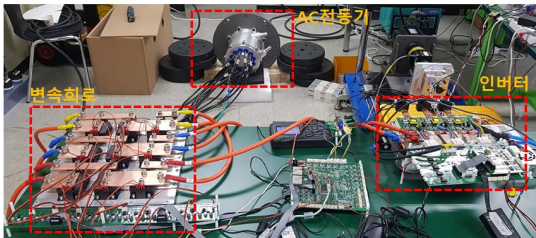
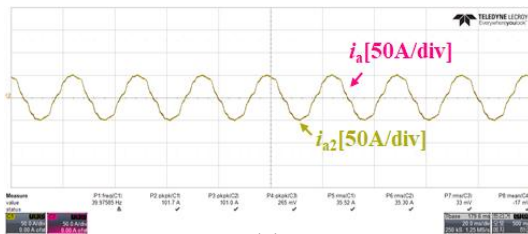
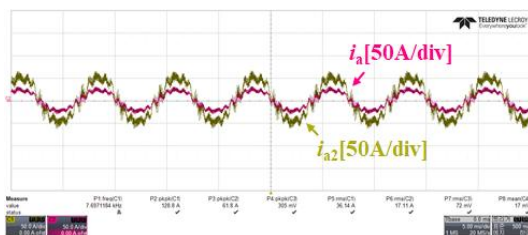


그림 4. 80kW 다단변속시스템 1차 시작품



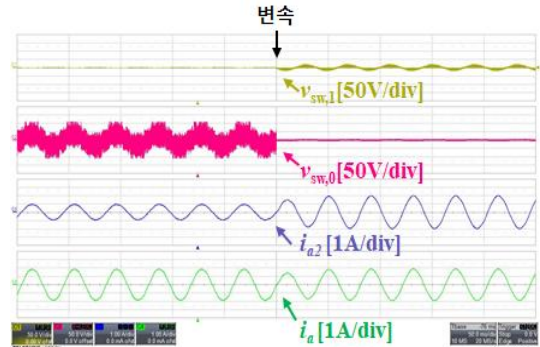
(a)



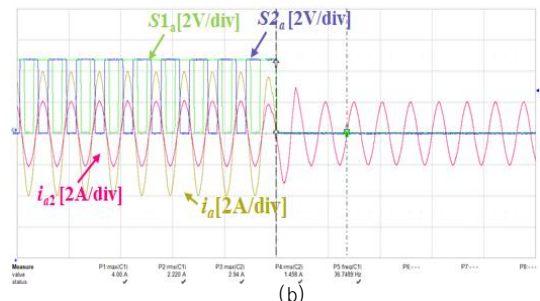
(b)

그림 5. 변속회로 실험 결과 (a) 1변속(직렬) (b) 2변속(병렬)

그림 6은 2변속(병렬)에서 1변속(직렬)으로 전환할 때 실험 파형이다. 그림 6(a)에서는 싸이리스터 스위치 양단에 걸리는 전압과 흐르는 전류에서 변속 시 과도상태가 없는 것을 확인할 수 있다. 그림 6(b)는 싸이리스터에 흐르는 전류에 따라 게이트 신호가 발생하고 있는 것을 확인할 수 있다.



(a)



(b)

그림 6. 변속회로 2단→1단 실험결과

4. 결론

본 논문에서는 전기자동차 구동용 다단변속회로를 제안하였다. 제안한 회로는 Thyristor를 이용한 직병렬 변속회로로서 주행모드에 따라 변속이 가능하여 넓은 운전영역에서 고효율 운전이 가능하다. 또한 Thyristor의 특성을 이용하여 과도상태 없는 변속을 할 수 있으며, 낮은 스위치 손실로 인하여 변속시스템의 고효율 및 경량화를 기대할 수 있다. 80kW급 시작품 1대를 AC전동기와 연계 동작 실험을 통해 변속동작을 검증하였다.

참고 문헌

- [1] 박성열, 신양진, 최세원, 조수연, “전기자동차 구동용 AC전동기 시스템의 고효율 운전을 위한 Thyristor 다단변속 회로”, 전력전자학회 2017년도 학술대회 논문집, pp.411-412.
- [2] M. M. Swamy, T. Kume, A. Maemura, S. Morimoto, “Extended High Speed Operation via Electronic Winding Change Method for AC Motors”, *IEEE Trans. Industry Application.*, vol.42, no.3, pp.742-753, May, 2006.
- [3] Y. Takatsuka, H. Hara, K. Yamada, A. Maemura, T. Kume, “A Wide Speed Range High Efficiency EV Drive System Using Winding Changeover Technique and SiC Devices”, *The 2014 International Power Electronics Conference*, pp. 1898-1903, 2014.