

전기자동차 구동용 AC 전동기 시스템의 고효율 운전을 위한 Thyristor 다단변속 회로

박성열¹, 신양진¹, 최세완¹, 조수연²
 서울과학기술대학교¹, 자동차부품연구원²

Thyristor winding changeover circuit for high efficiency operation of AC motor drive system for Electric Vehicle

Sungyoul Park¹, Yangjin Shin¹, Sewan Choi¹, Suyeon Cho²

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 평균효율 극대화를 할 수 있는 다단 변속 회로를 제안하였다. 제안한 회로는 Thyristor를 이용한 직·병렬 변속회로로 구성되어 있다. Thyristor의 특성으로 인해 과도상태 없고 끊김없는 변속이 가능하여 추가적인 스너버회로가 필요 없으며, 낮은 스위치손실로 인해 AC전동기 시스템의 고효율 및 경량화를 기대할 수 있다. 제안한 다단변속 시스템의 타당성을 검증하기 위하여 1kW 급 시작품 1대를 AC전동기와 연계하여 변속 동작을 검증하였다.

1. 서론

최근 화석에너지의 고갈과 이산화탄소에 의한 지구환경 오염 문제가 대두됨에 따라 친환경자동차에 대한 기술개발의 요구가 높아지고 있다. 이에 따라 전기자동차의 기술개발 및 보급에 대한 정부의 지원과 기업의 참여가 활발히 진행되고 있으며, 특히 전기자동차의 1회 충전 주행거리 연장 및 연비 개선을 위해 주요 운전 영역에서의 평균효율 극대화를 할 수 있는 변속 기능을 추가한 전기자동차 개발이 요구가 증대되고 있다. 그림 1은 2단 변속시스템의 각 동작모드에 따른 T-N곡선으로서 전기자동차의 운전영역에 맞게 변속을 하여 넓은 속도영역에서 고효율 운전이 가능하다.

기존에 개발되었던 다단변속시스템으로는 Δ Y 권선 가변회로, 직·병렬 회로 변경회로, 직렬 턴 수 가변회로 등이 있다 [1]. 하지만 기계적 스위치로 구성 되어 제한된 수명과 변속구간동안 모터 전류 및 토크 단절이 발생하는 문제가 있었다.[1] 한편 2012년에 야스가와전기에서 개발한 다단변속 시스템 "QMET II"은 적은 수의 IGBT스위치와 다이오드 정류기만을 사용하여 기존 기계적 스위치의 제한된 수명 문제가 해결되었으며 변속시간을 단축하였다[2]. 하지만 변속시 발생하는 인덕터 서지에너지를 흡수하기 위하여 R C D로 구성된 수동 스너버회로가 별도로 필요하고, 변속회로 IGBT 스위치에서 높은 도통손실이 발생하여 다단변속시스템의 전력밀도를 저하시키는 단점이 있다.

본 논문에서는 기존 기계식 스위치가 사용되던 직·병렬 변속회로에 Thyristor를 적용한 다단변속시스템을 제안하였다.

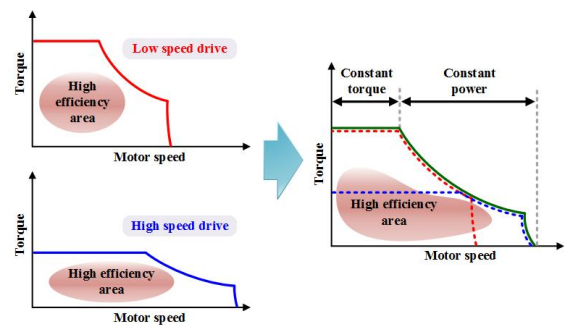


그림 1. 2단변속 시스템의 T-N곡선

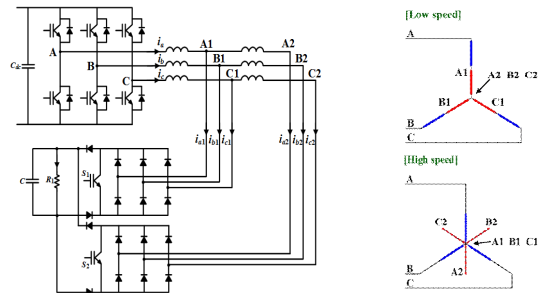


그림 2. 기존 중성점절체식 다단변속회로(야스가와전기)

제안한 변속회로는 변속 시 과도 상태 없는 전환이 가능하여 별도의 스너버 회로가 필요하지 않으며 도통 손실이 작아 전기자동차의 연비 향상 및 경량화를 기대할 수 있다.

2. 제안하는 다단변속회로

제안한 Thyristor를 적용한 직·병렬 변속회로는 그림 3과 같다. 1변속 모드에서는 권선을 직렬로 연결하며, 2변속 모드에서

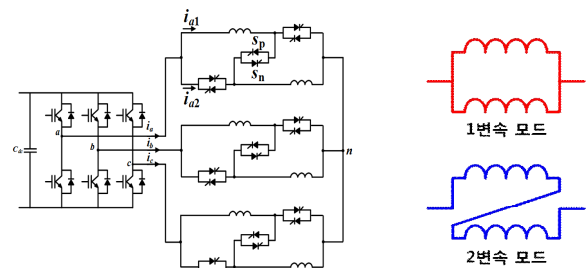


그림 3 제안하는 Thyristor 직 병렬 다단변속회로

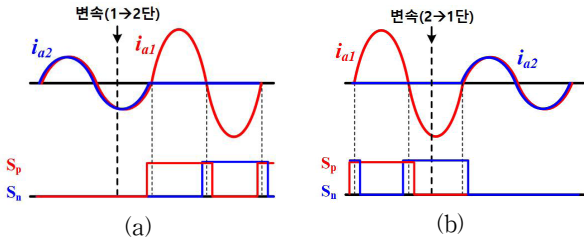


그림 4. 변속회로 스위칭 동작 (a) 1단→2단 (b) 2단→1단

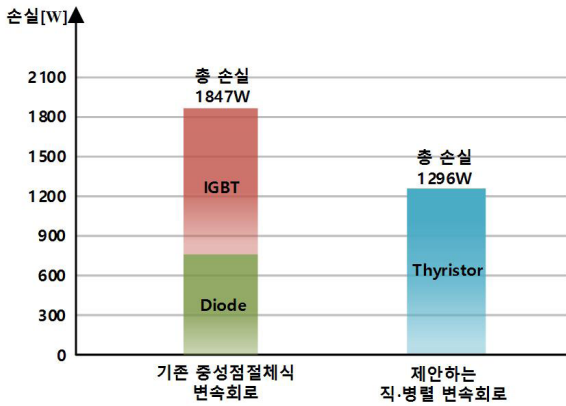


그림 5. 80kW 다단변속회로 손실 비교

는 권선을 병렬로 연결하여 각 변속모드에 따라 AC전동기의 T N 특성을 변화시켜줌으로서 넓은 속도영역에서 고효율을 성취할 수 있다. 스위칭동작은 정상 상태에서는 전류 주기에 따라 Thyristor를 저속스위칭을 해주며, 변속 시에는 그림 4와 같이 변속 신호가 입력되었을 때 다음 zero crossing 지점에서 변속이 되도록 한다. 그래서 변속 시 과도상태가 발생하지 않고 끊김없는 모드전환이 가능하며, 추가적인 스너버회로가 필요하지 않다. 그림 5는 야스가와전기사 변속회로와 제안한 변속회로의 소자별 손실을 80kW용량에서 계산하여 비교한 것이다. 그래프에서 보이는 것과 같이 제안한 변속회로 손실이 야스가와전기 변속회로보다 약 550W정도 작은 것을 확인할 수 있다.

3. 실험 결과

제안하는 컨버터의 타당성을 입증하기 위해 아래와 같은 사양의 다단변속회로 시작품을 제작하여 그림 6과 같이 AC 전동기와 연계하여 변속동작을 검증하였다.

- $P_o = 1\text{kW}$
- $V_{bus} = 100\text{V}$
- $f = 20\text{Hz}$

그림 7(a)은 2변속(직렬)에서 1변속(병렬) 모드로 전환할 때, 그림 7(b)은 1변속(병렬)에서 2변속(직렬) 모드로 전환할 때 실험파형이다. 실험파형에서 보이는 것과 같이 변속 시에 과도상태가 없으며 끊김 없는 전환이 되는 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 전기자동차용 다단변속회로를 제안하였다. 제안한 회로는 Thyristor를 이용한 직·병렬 변속회로로서 주행모

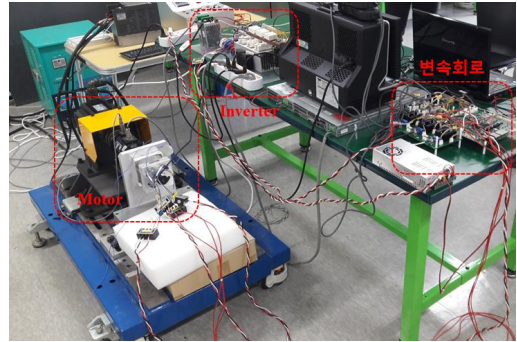
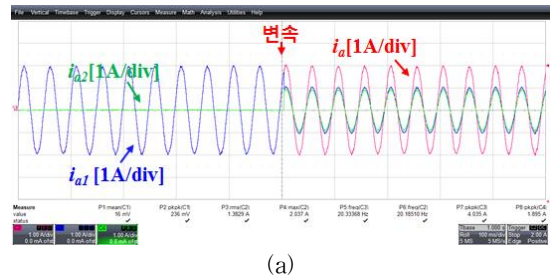
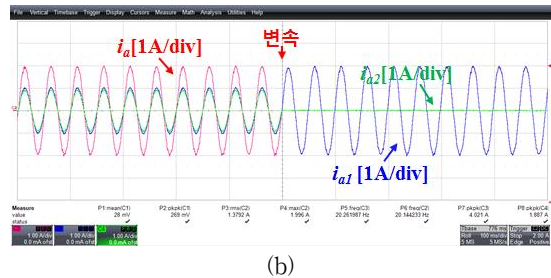


그림 6. 제안하는 1kW 다단변속시스템 시작품



(a)



(b)

그림 7. 변속회로 실험 결과 (a) 2단→1단 (b) 1단→2단

드에 따라 2단변속이 가능하여 넓은 속도영역에서 고효율 운전이 가능하다. 또한 Thyristor의 특성을 이용하여 과도상태 없는 변속을 할 수 있으며, 낮은 스위치손실로 인하여 다단변속 시스템의 고효율 및 경량화를 기대할 수 있다. 1kW급 시작품 1대를 AC전동기와 연계 동작하는 실험을 통해서 변속 동작을 검증하였다.

참고 문헌

- [1] C. H. Chen, M. Y. Cheng, M. S. Tsai, "Study on a Wide Speed Range Integrated Electrical Transmission System", *IEEE PEDS 2005.*, pp. 781-786.
- [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 Applications.*, 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.