

위상전이 풀-브리지 DC/DC 컨버터를 이용한 차세대 고속 전철용 Battery Charger에 관한 연구

(A Study on Battery Chargers for the next generation high speed train using the Phase-shift Full-bridge DC/DC Converter)

조한진*, 김근용*, 이상석**, 김태환***, 원중연*†

(Han-jin Cho, Keun-young Kim, Sang-seok Lee, Tae-hwan Kim, Chung-yuen Won)

성균관대학교*, (주) 팩테크**, (주) 로템***

Sungkyunkwan Univ*, Pactech**, Hyundai-Rotem***

Abstract

There is an increasing demand for efficient high power/weight auxiliary power supplies for use on high speed traction application. Many new conversion techniques have been proposed to reduce the voltage and current stress of switching components, and the switching losses in the traditional pulse width modulation(PWM) converter.

Especially, the phase shift full bridge zero voltage switching PWM techniques are thought most desirable for many applications because this topology permits all switching devices to operate under zero voltage switching(ZVS) by using circuit parasitic components such as leakage inductance of high frequency transformer and power device junction capacitance. The proposed topology is found to have higher efficiency than conventional soft-switching converter. Also it is easily applicable to phase shift full bridge converter by applying an energy recovery snubber consisted of fast recovery diodes and capacitors.

1. 서론

1990년대 중반부터 시작된 고속전철 기술 개발 사업의 성공으로 우리나라 철도 기술을 혁신적으로 발전시키는 계기가 되었다. 정부의 능동적인 국가 정책사업의 결과 최근 철도 선진국의 고속화의 기술을 받아들여 독자적인 개발 능력을 가지게 되었다.

현재 개발 중인 고속철도는 목표 속도가 400km/h, 영업 속도가 350km/h인 초고속 열차이며 이를 실현하기 위해 고효율 및 고성능 그리고 고밀도의 전력변환 장치가 필요하다.

보조전원장치는 주변압기의 보조권선을 통하여 공급되는 단상 380 Vac를 단상 AC/DC 컨버터를 통해 직류 670V로 변환하고 3상 인버터를 통하여 차량의 교류 부하에 전력을 공급하는 전력변환 장치이다. 또한 배터리 충전장치는 차량의 제어 전원 및 직류 부하에 전력을 공급하는 장치이다.

본 논문에서 PWM 풀-브릿지DC/DC 컨버터로 2차측에 보조회로를 적용하여 좀 더 효율적인 영 전압·영 전류 스위칭을 하는 것을 목적으로 한다. 기존의 IGBT를 이용하고 고주파 변압기 보조권선을 추가로 감아사

용한 병렬구성 충전장치와는 다르게 대용량 IGBT 소자를 이용하여 단일 컨버터로서 2차측 추가 회로가 다이오드 및 캐패시터로만 이루어진 회로를 적용하여 차세대 고속 열차용 배터리 충전기를 구성·제안하였다.

그리고 제안된 컨버터의 타당성을 검증하기 위하여 시뮬레이션과 실험을 수행하였다.

2. 본론

2.1 기존의 위상전이 풀-브릿지 DC/DC 컨버터

기존의 풀-브릿지 컨버터는 스위치 4개가 모두 꺼지는 구간동안 1차측 전류가 2차측으로 전달되지 못하고 환류하게 된다.

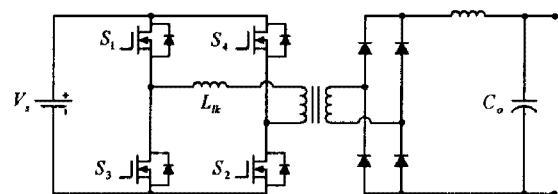


그림 1. 기존의 위상전이 풀-브릿지 DC/DC 컨버터
Fig 1. Conventional Phase shift Full- Bridge DC/DC Converter

기존의 풀-브릿지 컨버터는 스위치 4개가 모두 꺼지는 구간동안 1차측 전류가 2차측으로 전달되지 못하고 환류하게 된다.

게다가 주 변압기와 스위치의 기생 캐피시터 성분과 권선의 누설 성분에 의해 기생진동과 서어지(Surge) 전압이 발생하여 스위칭 소자의 수명을 단축시킨다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 위상전이 영전압 풀-브릿지 컨버터가 최근 많이 적용, 보급되고 있다. 위상전이 영전압 풀-브릿지 컨버터는 안정적인 영 전압 스위칭 동작 영역을 확보하기 위해 보조회로를 삽입하여 1차 측의 기생 진동 문제를 해결할 수 있도록 누설인덕턴스에 축적된 에너지를 순환시키는 저 임피던스 경로를 제공한다.

2.2 제안된 위상전이 풀-브릿지 DC/DC 컨버터

기존의 위상전이 영전압 스위칭 풀-브릿지 DC/DC 컨버터는 안정적인 영전압 스위칭 동작영역을 확보하기 위해 DC/DC 컨버터의 고주파 변압기 누설 인덕턴스를 증가시키거나 또는 고주파 변압기와 직렬로 인덕터를 삽입하는 방법을 주로 사용했다.

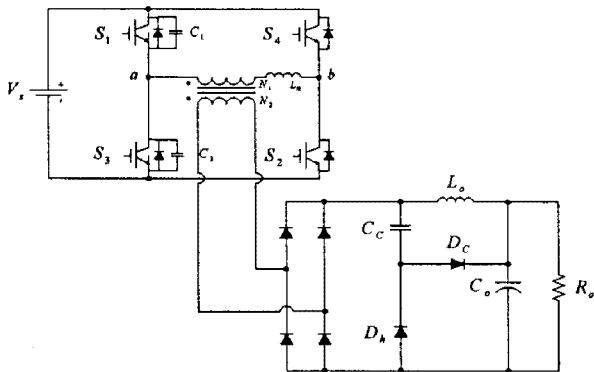


그림 2. 제안된 ZVZCS 풀-브릿지 DC/DC 컨버터
Fig 2. The Proposed Phase shift ZVZCS Full-Bridge DC/DC Converter

이러한 방법은 유효 듀티를 감소시키게 되어서 고주파 변압기의 2차 측 전압 이용률이 떨어지게 되고, 순환모드 구간 동안에 스위칭 소자를 통해 흐르는 순환전류에 따라 도통손실을 발생하게 한다.

본 논문에서는 기존의 위상전이 영전압 풀-브릿지 컨버터 변압기 2차 측에 간단한 보조회로를 추가하여 1차 측 순환전류를 환류모드동안 방전해 준다. 이 동작에 따라 회로의 왼쪽 암은 영전압, 오른쪽 암은 영전류 스위칭을 하게 된다.

영전압·영전류 스위칭은 안정된 소프트 스위칭 동작 영역을 확보할 수 있게 하며, 순환모드구간동안 순환전

류 경로가 차단되어 1차 측 브리지 주 스위칭소자의 도통손실과 변압기의 손실이 크게 줄어들게 한다.

2.3 배터리 충전 방식

일반적인 배터리 충전장치의 충전방식은 정전압 충전 방식, 정전류 충전방식 그리고 정전류-정전압 충전방식이 있다. 정전압 충전방식은 충전기의 전압을, 정전류 충전방식은 출력전류를 일정하게 유지시키며 충전하는 방식이고, 정전류-정전압 충전방식은 충전 초반에는 전류를 일정하게 하여 충전하다가 충전 후반에는 전압을 일정하게 하는 충전 방식이다. 본 논문에서는 배터리 충전장치의 온도 상승 및 내부 압력증가로 인한 안정성과 최적의 충전상태를 유지하기 위해서 정전압-정전류 충전방식을 적용하였다.

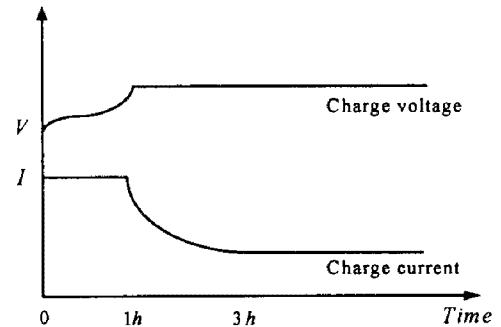


그림 3. 정전압, 정전류 충전 특성
Fig 3. Constant Voltage, constant current charge characteristics

2.5 설계 사양

설계사양은 아래의 표와 같다.

항 목	컨버터 사양
입력전압 (V)	311 [V]
변압기 권선비(N_s/N_p)	0.26
스너버 캐패시터 (C)	0.44 [μF]
누설 인덕터 (H)	1 [μH]
출력 인덕터 (H)	24 [μH]
출력전압 (V)	80 [V]
스위칭 주파수 (Hz)	10 [kHz]

표 1. 설계 사양
Table 1. Specification of the proposed converter

제안된 위상전이 풀-브릿지 DC/DC 컨버터의 동작을 검증하기 위해 소자의 파라미터 값을 계산하여 시뮬레이션하고 실험세트를 제작하여 검증하였다.

2.6 위상전이 풀-브릿지 DC/DC 컨버터 시뮬레이션

그림 4는 본 논문에서 제시하고 있는 위상전이 풀-브릿지 DC/DC 컨버터의 시뮬레이션에 대한 기본적인 회로이다.

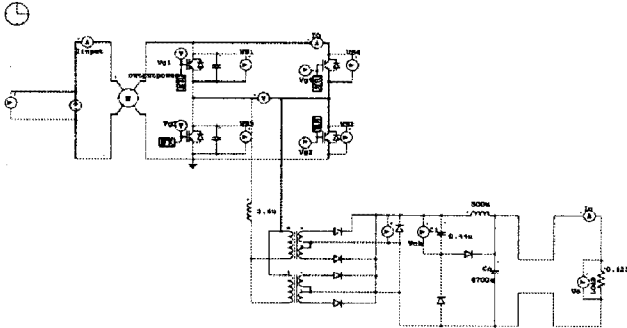


그림 4. 시뮬레이션 회로
Fig 4. Simulation circuit

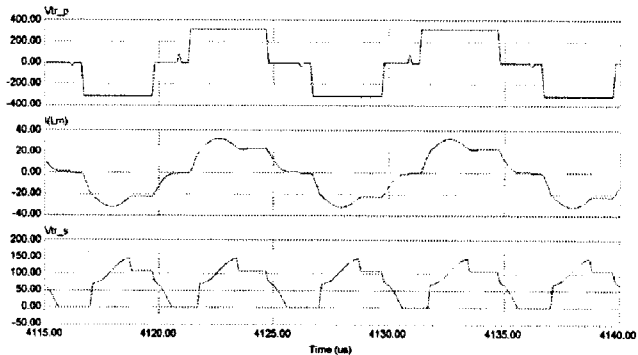


그림 5. 시뮬레이션 파형
Fig 5. Simulation waveforms

그림 5는 1차측 전압과 전류 파형 그리고 2차측 정류 전압 파형을 나타낸다. 일차전류는 환류구간동안에 2차측 전압에 의해 완전히 영으로 됨을 알 수 있다.

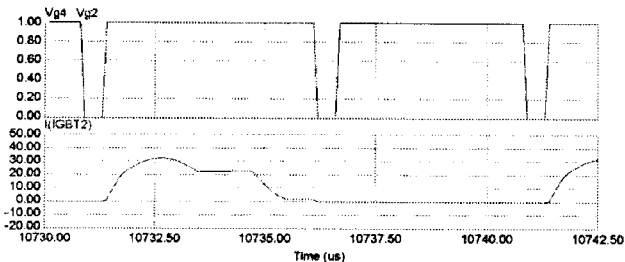


그림 6. 오른쪽 스위치들의 영전류 스위칭 파형
Fig 6. ZCS waveforms of lagging-leg switches.

그림 6에서는 오른쪽 스위치들의 파형을 나타내었다. 턴 오프되기 전에 전류가 영으로 되기 때문에 스위치 G2는 완전히 영전류로 턴 오프 된다.

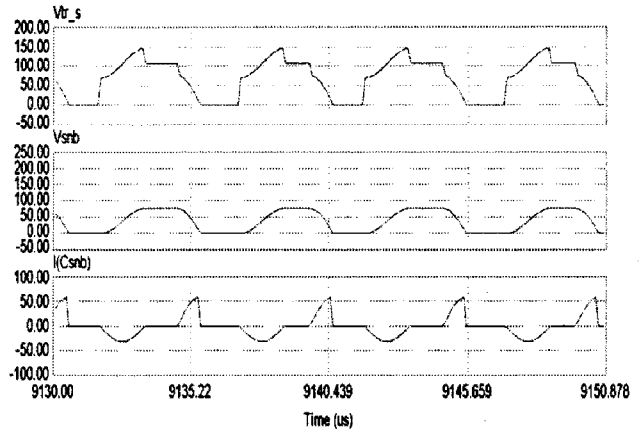


그림 7. 2차측 정류전압과 보조회로 커패시터 전압과 전류 파형
Fig 7. Waveforms of secondary rectifier voltage and holding capacitor voltage and current

그림 7은 정류전압 파형과 보조회로 커패시터 전압과 전류 파형이다.

2.7 위상전이 풀-브릿지 DC/DC 컨버터 실험

그림 8은 위상전이 풀-브릿지 DC/DC 컨버터의 축소 모델이다. 시뮬레이션 설계 사양을 적용하여 축소 모델을 제작하였으며 이론을 검증하였다.

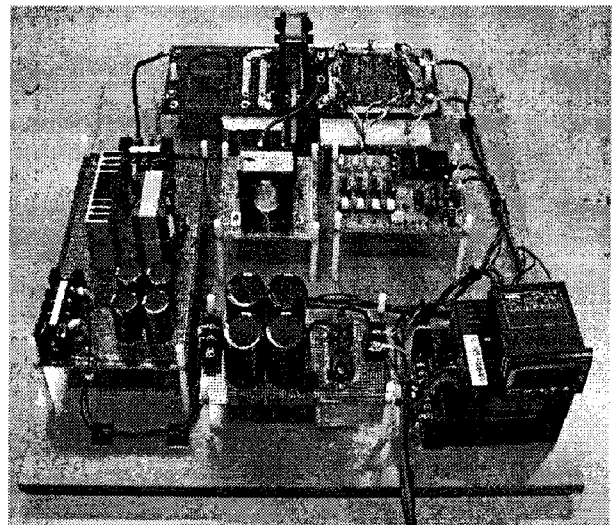


그림 8. 위상전이 풀-브릿지 DC/DC 컨버터 축소 모델

Fig 8. A reduced model of the phase shift full-bridge DC/DC converter

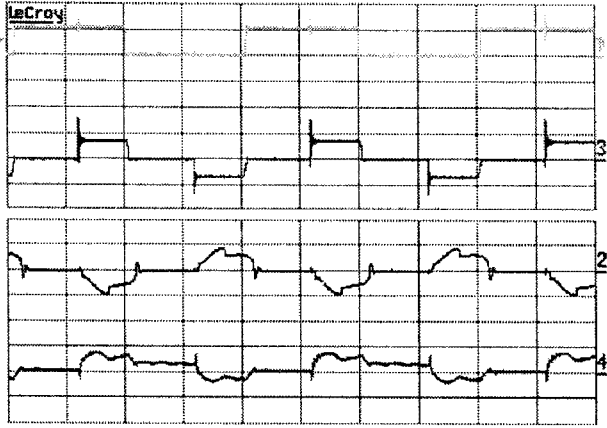


그림 9. 실험 파형
Fig 9. Experimentation waveforms

위 그림은 실험을 통해 얻은 게이트부분파형과, 1차·2차 축 전압 그리고 1차축 전류를 나타낸다.

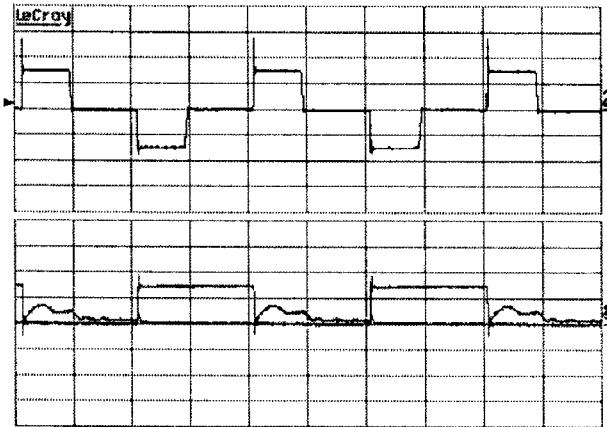


그림 10. 진상 레그 스위치들의 ZVS 파형
Fig 10. ZVS waveforms of leading-leg switches.

그림 10의 파형은 왼쪽압의 전압과 전류 파형과 1차 축 전압파형을 나타낸다.

끝으로 그림 12에서는 오른쪽 압에서의 영전류 스위칭을 확인 할 수 있다.

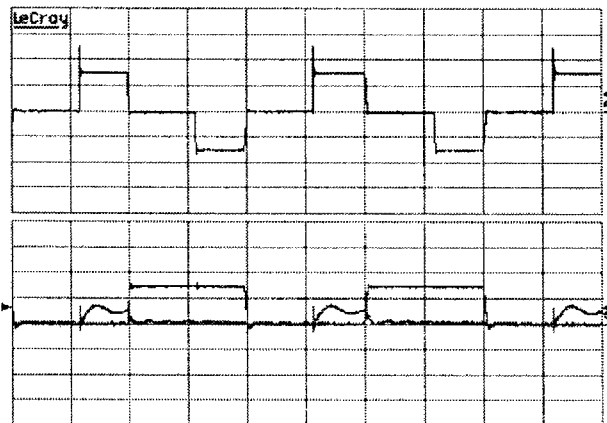


그림 12. 지상 레그의 ZCS 파형
Fig 12. ZCS waveforms of lagging-leg switches.

3. 결론

본 논문에서는 고속전철용 보조전원장치의 배터리 충전장치에 대한 연구를 통하여 기존의 DC/DC 위상전이 영전압 폴-브리지 컨버터보다 개선된 새로운 위상전이 영전압·영전류 컨버터를 제안하였다. 그리고 실험을 통하여, 개선된 컨버터가 기존의 것보다 전류, 전압 스트레스가 적고 변압기 이용율이 좋으며 소형·경량화 및 저 잡음특성 면에서 우수한 성능을 지닌다는 것을 검증하였다.

참 고 문 헌

- (1) 최옥돈, 이종필, 이재문, 김연준 (2000), "Ni-Cd전지용 충전 알고리즘을 이용한 고속전철용 ZVZCS형 충전장치개발", 전력전자학회 논문지, 제 5권 5호, pp. 493~500
- (2) 백주원, 이영식, 정창용, 유동욱, 김홍근 (2000), "개선된 대용량 ZCT 폴 브릿지 DC-DC 컨버터에 관한 연구", 전력 전자학회대회 논문집,
- (3) J. G. Cho, J. Sabate, G. Hua, and F. C. Lee, "Zero voltage and zero current switching full bridge PWM converter for high power applications", IEEE PESC Rec. 1994, pp. 102-108.