차세대 고속 전철용 Battery Charger 에 관한 연구

A Study on the Battery Charger for Next Generation High Speed Train

정한정*, 이원철*, 이상석**, 백진성***, 원충연*†

Jeong Han-Jeong, Lee Woncheol, Lee Sang-Seok, Paik Jin-Sung, Won Chung-Yuen

성균관대학교*, (주) 팩테크**, (주) 로템***

Sungkyunkwan Univ*, Pactech, Rotem*****

ABSTRACT

Recently, 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. Among them, 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. 서 론

고속 전철용 보조전원 장치(Auxiliary Power Unit)는 단상 PWM 컨버터 및 3상 CVCF 인버터 그리고 배터리 충전장치로 구성된다. 그 중 배터리 충전 장치는 동력차 및 동력 객차의 저전압 분배 시스템에 의해 공급되는 고전압 직류 전류 보조 전원을 안정한 저 전압 직류 출력 전류로 전환하는 것이다. 이 안정한 직류 출력은 동력차에 직류 부하 공급, 동력차 배터리 충전 및 적정 전압 유지 등에 사용된다.

본 논문에서는 간단한 2차측 보조회로를 적용한 영전압 영전류 스위칭 PWM 풀-브릿지 DC/DC 컨버터를 사용하여 고속 전철용 배터리 충전 장치를 제안하였다. 대용량 IGBT 소자를 이용하여 기존의 병렬 구성된 컨버터를 단일 컨버터로 구성, 제안하였다.

적용된 토폴로지의 타당성을 검증하기 위하여 Psim을 이용한 디지털 시뮬레이션을 수행하였다.

2. 본 론

2.1 영전압 위상전이 풀-브릿지 DC/DC 컨버터

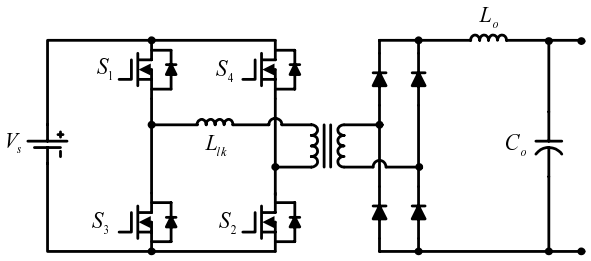

그림 1. 기존의 위상전이 풀-브릿지 DC/DC 컨버터
Fig 1. Conventional Phase shift Full- Bridge DC/DC Converter

기존의 하드스위칭 풀-브릿지 컨버터는 스위치 4개가 모두 turn-off 하는 구간이 발생하게 된다. 이 구간동안 전류는 1차 측에서만 환류(free wheeling)하고 2차 측으로 전력이 전달되지 못하

† 책임저자 : 정회원, 성균관대학교 정보통신공학부, 교수
E-mail : hanjung40@naver.com
TEL : (031)290-7169 FAX : (031)299-4623
* (정)비회원, 성균관대학교
** (주) 팩테크
*** (주) 로템

여 효율이 떨어진다. 또한 주 스위칭 소자의 기생 캐피시터 성분과 배선 및 주 변압기의 누설 성분에 의해 심각한 기생 진동 및 서어지(Surge) 전압이 발생하여 스위칭 소자의 수명을 단축시킨다. 게다가 대용량 소자는 스위치 turn-off 시 발생하는 tailing current로 인하여 도통손실도 발생한다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 ZVS(Zero Voltage Switching) 위상 전이 풀-브릿지 컨버터가 최근 많이 적용, 보급되고 있다. 안정한 영전압 스위칭 동작영역을 확보하기 위해 보조회로가 필요하다. 지상 레그(Lagging Leg)의 스위치 S_2와 S_4의 위상을 제어하면 변압기 2차측 전압이 0인 구간동안 1차측 스위치중 하나가 항상 턴-온(Turn-On)된다. 즉 1차측의 기생 진동 문제를 해결할 수 있도록 누설인덕턴스에 축적된 에너지를 순환시키는 저 임피던스 경로를 제공한다.

2.2 제안된 위상전이 풀-브릿지 DC/DC 컨버터

기존의 영전압 위상전이 풀-브릿지 컨버터는 스위칭 전이 구간동안 출력 측 다이오드는 환류(Free-wheeling)상태에 있으므로 변압기 2차측은 단락 되어 있고 입력 전압에 대한 에너지가 출력에 전달되지 않으므로, 1차측에 순환 전류가 발생하게 되는데 그로 인해 컨버터의 유효 듀티가 제한을 받게 된다.

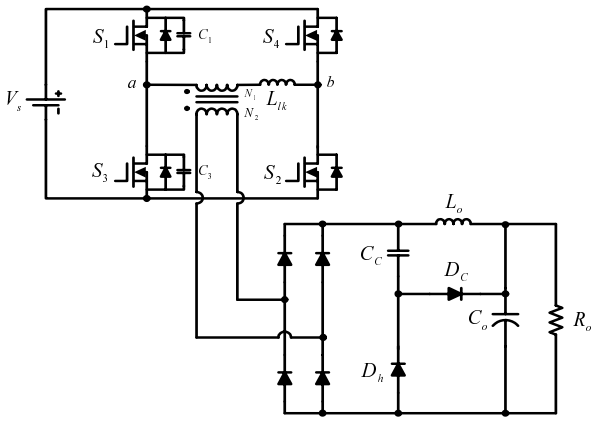

그림 2. 제안된 위상전이 ZVZCS 풀-브릿지 DC/DC 컨버터

Fig 2. The Proposed Phase shift ZVZCS Full-Bridge DC/DC Converter

본 논문에서 제안하고 있는 풀-브릿지 컨버터는 기존의 영전압 위상전이 풀-브릿지 컨버터 변압기 2차측에 간단한 보조회로를 추가하여 1차측 순환전류를 리셋하여 유효듀티를 높혔으며, 영전압 영전류 스위칭이 가능한 고효율 토폴로지로써 차세대 고속 전철용 배터리 충전기에 적용하였다.

2.3 배터리 충전 방식

배터리 충전장치의 충전 방식으로는 정전류 충전방식, 정전압 충전방식 그리고 정전류-정전압 충전방식이 있다. 정전류 충전방식이란 전류를 일정하게 설정하여 충전하는 방식으로 충전이 진행됨에 따라 배터리의 전압이 상승한다. 정전압 충전방식은 충전기의 출력저압을 일정하게 유지시키며 충전하는 방식으로 충전이 진행됨에 따라서 배터리에 들어가는 전류가 점차 감소한다. 정전류-정전압 충전방식은 충전 초기에는 전류를 일정하게 하여 충전하다가 충전 말기에는 전압을 일정하게 하는 충전 방식으로 배터리 충전 시 발생되는 손상을 최소화하기 위해서 사용되는 충전 방식이다. 본 논문에서는 충전장치의 온도 상승 및 내부 압력증가로 인한 안정성과 최적의 충전 상태를 유지해기 위해 정전압-정전류 충전방식을 적용하였다.

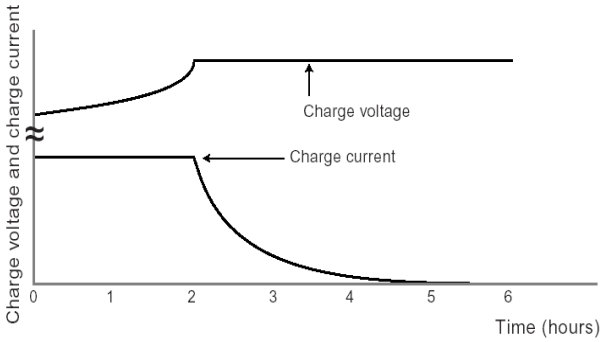

그림 3. 정전압, 정전류 충전 특성

Fig 3. Constant Voltage, constant current charge characteristics

2.5 시뮬레이션 설계 사양

도표 1은 그림 5의 시뮬레이션 설계 사양을 나타내고 있다. 제안된 위상전이 풀-브릿지 DC/DC 컨버터의 동작을 검증하기 위해 소자의 파라미터 값을 계산하여 시뮬레이션을 설계하였다.

도표 1. 설계 사양

Table 1. Specipication of the proposed converter

항 목	설계 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)	30 [kHz]

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.

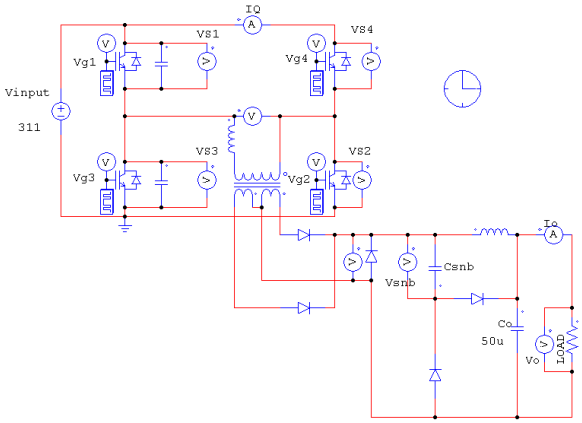

그림 4. 시뮬레이션 회로

Fig 4. Simulation circuit

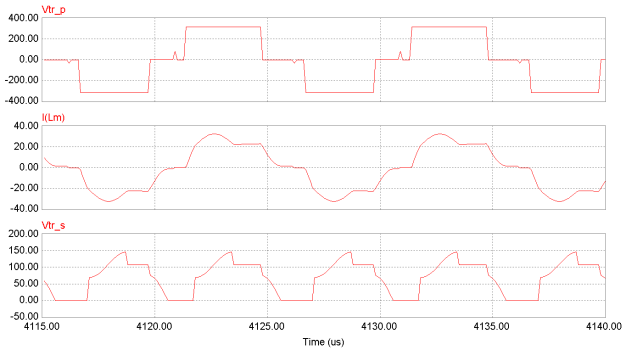

그림 5. 시뮬레이션 파형

Fig 5. Simulation waveforms

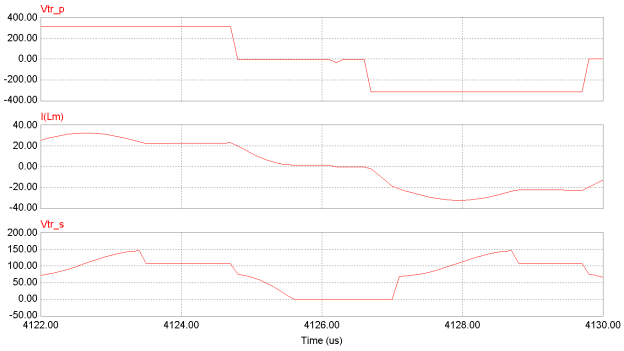

그림 6. 그림 5의 확대파형

Fig 6. Extended waveforms of Fig 6.

그림 5는 1차측 전압과 전류 파형 그리고 2차측 정류전압 파형을 나타내었고 그림 6은 이를 확대한 파형이다. 모든 파형들은 이론적인 것과 잘 일치됨을 알 수 있다. 일차전류는 환류구간동안에 이차측 전압에 의해 완전히 영으로 됨을 알 수 있다.

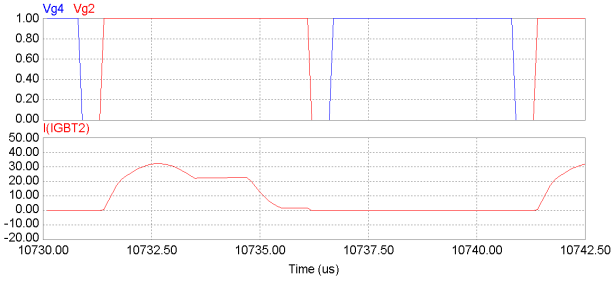

그림 7. 오른쪽 스위치들의 영전류 스위칭 파형

Fig 7. ZCS waveforms of lagging-leg switches.

그림 7에서는 오른쪽 스위치들의 파형을 나타내었다. 턴 오프되기 전에 전류가 영으로 되기 때문에 스위치 G2는 완전히 영전류로 턴 오프된다.

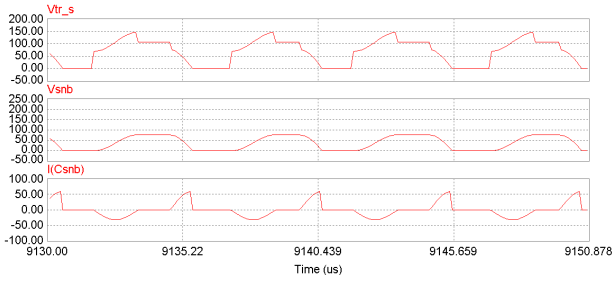

그림 8. 2차측 정류전압과 보조회로 커패시터 전압과 전류 파형

Fig 8. Waveforms of secondary rectifier voltage and holding capacitor voltage and current

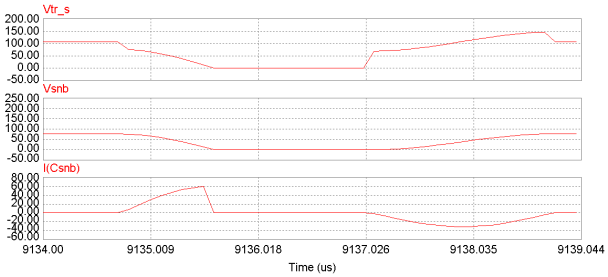

그림 9. 그림 8의 확대 파형

Fig 9. Exteded waveforms of Fig 8.

그림 8과 9는 정류전압 파형과 보조회로 커패시터 전압과 전류 그리고 확대된 파형이다.

그림 10은 위상전이 풀-브릿지 DC/DC 컨버터의 축소 모델이다. 시뮬레이션 설계 사양을 적용하여 축소 모델을 제작하였으며 현재 실험 진행 중에 있다.

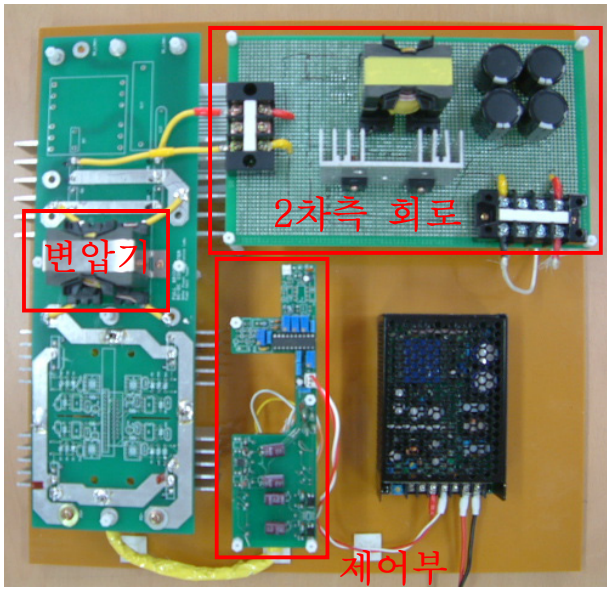

그림 10. 위상전이 풀-브릿지 DC/DC 컨버터 축소 모델

Fig 10. A reduced model of the phase shift full-bridge DC/DC converter

3. 결론

본 논문에서는 고속전철용 보조전원장치의 배터리 충전장치에 대한 연구를 통하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 영전압 위상전이 풀 브리지 컨버터를 사용하여 기존의 하드스위칭 컨버터보다 전류, 전압 스트레스가 적고 변압기 이용율이 좋으며 소형·경량화 및 저잡음화면에서 우수한 성능을 지닌 Phase shift ZVZCS Full-Bridge DC/DC 컨버터를 제안하였다.

참고문헌

1. 최욱돈, 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, 김흥근 (2000), “개선된 대용량 ZCT 풀 브릿지 DC-DC 컨버터에 관한 연구”, 전력전자학술대회 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.
4. R.L. Steigerwald, R.W. De Doncker, M.H. Kheraluwala, "A Conparison of High Power DC-DC Soft-Switched Converter Topologies", IEEE Trans. IA, Vol. 32, No. 5, 1996, pp.1139-114