

전기식 회생 보조 브레이크 시스템을 위한 DC-DC 컨버터 설계

곽태균*, 고종선**, 유창희***, 이준영*

명지대학교 전기공학과*, 단국대학교 전자전기공학부**, (주)상신브레이크***

DC-DC Converter Design For Electric Regenerative auxiliary Brake System

Tae Kyun Kwak* , Jong Sun Ko** Chang Hee Yoo***, Jun Young Lee*

Department of Electrical Engineering, Myongji University*

Department of Electronics and Electrical Engineering, DanKook University**, Sangshin Co.,Ltd.***

ABSTRACT

현재 제동장치(Brake system)는 운동에너지를 열에너지로 바꾸어 공기 중으로 발산시킴으로서 제동 작용을 하는 마찰형 Brake가 대부분이다. 이러한 제동장치 속에는 리타더라는 제동력을 유발하는 장치가 있는데 이중 빠른 응답특성을 띄는 전기식 리타더의 단점인 전기에너지 소비 측면을 극복하기 위하여 제동에너지를 전기에너지로 회생하여 에너지를 절감 할 수 있는 기술이 선진국에서는 이미 진행이 되고 있다. 본 논문에서는 리타더에서 발생하는 3상 전압을 정류하여 받은 DC전압을 입력으로 받아 24V로 강압시키고 배터리를 충전하는 DC DC 컨버터를 제작하고 이에 따른 보완점 및 타당성을 실험을 통하여 검증하였다.

1. 서 론

대형 상용차량의 제동 안전성 및 연비효율을 향상시키고, 실차적용을 위한 전력을 회생할 수 있는 비접촉식 회생 보조 브레이크 시스템 개발을 완성하기 위한 리타더 후단의 3상 전압을 DC전압으로 정류하여 배터리를 충전할 수 있는 전력회수 회로를 개발하기 위해 Full bridge 및 PWM PRT, 동기정류기 이론을 접목시켜 실험을 진행하였으며 출력전압은 대형 차량에서 사용되는 24V에 맞추어 설계하였다.

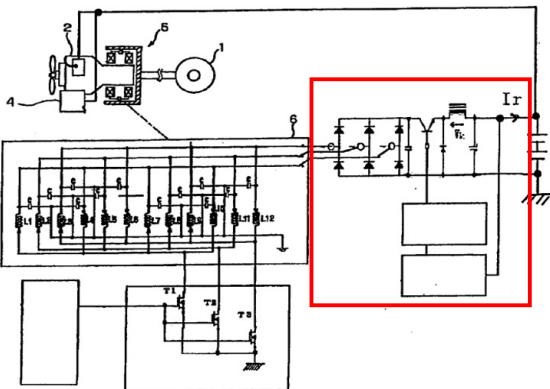


그림 1 리타더 회로구성도
Fig. 1 Retarder Circuit

그림 1은 리타더 에너지 회수회로의 구성도이며 현재 일본에서 구현한 기본적인 회로도이다. 그림 1의 우측 네모박스 안의 부분이 정류기를 포함한 DC DC 컨버터 부분이며 자동차에 제동이 걸리는 동안 발생하는 에너지를 회수하여 배터리를 충전하는 원리이다. DC DC컨버터는 리타더에서 발생한 3상전압을 반파 혹은 전파정류기를 통하여 정류된 DC전압을 입력으로 받아 1차측 스위칭과 변압기에 의해 강압되어 24V전압으로 강압되며 전류는 200A이상의 고전류 출력을 낸다. 자동차의 제동 및 회생시스템은 운전자가 풋브레이크를 밟는 시점에 동작하며 자동차의 주행속도에 따라 리타더에서 발생하는 전압이 일정하지 않으므로 충전기 시스템처럼 일정시간동안 비슷한 전류량이 흐르지 않고 제동순간 200A이상의 고전류가 흐르는 것을 회로가 견디면서 배터리를 충전해 주어야 한다. 200A급의 고전류와 대형차에 들어가는 24V 배터리 충전을 위하여 전류 사양이 큰 관계로 2.5kW급 회로 2개를 병렬로 사용하여 실험을 진행하였다.

2. 제안된 PWM-PRT DC-DC Converter

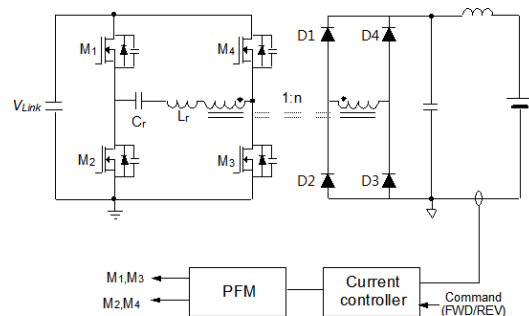
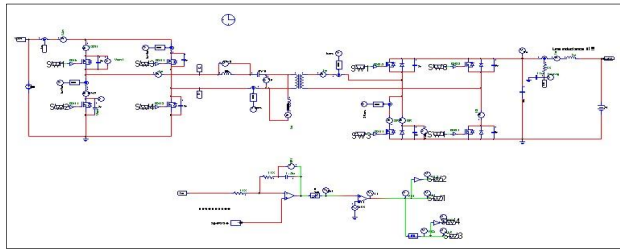


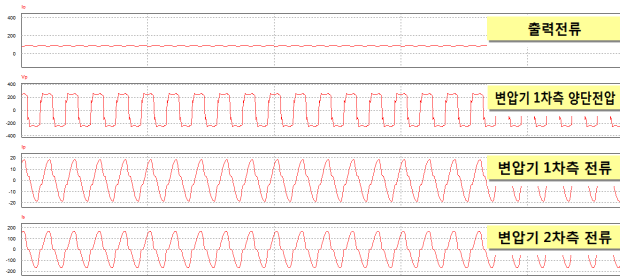
그림 2 제안한 DC-DC Converter 회로구성도
Fig. 2 Proposed DC-DC Converter Circuit

본 논문에서 Full bridge 및 PWM PRT, 동기정류기이론이 활용된 컨버터를 제안한다. PWM PRT형 컨버터는 빠른 응답 특성을 가지며 효율면에서 유리한 장점이 있다. 그리고 출력에 인덕터가 필요 없으며 스위치와 출력 정류기의 Turn off전압이 입력과 출력 캐패시터에 의해 Clamping이 되므로 EMI에 유리하다. 2차측의 동기정류기는 배터리 전압인 24V보다 높고 고전류에 대처하기위해 200A 이상의 MOSFET을 사용하였다.

MOSFET을 다이오드 대신에 사용한 이유는 R_{ds} 값을 검토하여 효율을 극대화시키기 위함이다. 배터리 충전 시스템이 고전압 저전류입을 감안하여 손실분석을 한 결과 다이오드보다 MOSFET을 사용하여 도통손실을 줄이는 것이 효율 측면에서는 유리하다.



a) 시뮬레이션 회로도



b) 시뮬레이션 파형(출력전류 100A @ 2.5kW)

그림 3 제안한 DC-DC Converter 시뮬레이션

Fig. 3 Simulation for Proposed DC-DC Converter

스위칭 주파수(F_s)는 50kHz로 설정하였으며 제어기는 PI 제어기를 이용하여 전압제어 및 전류제어로 Mode Change를 하며 동작한다. 동작모드는 그림 2의 회로도에서 1차측 Full bridge회로에서 M_1 과 M_3 가 도통되면 2차측 동기정류기의 D_1 과 D_3 가 도통되고 M_2 와 M_4 가 도통되면 2차측의 D_2 와 D_4 가 도통되는 전류패스가 형성되도록 하고 PWM제어를 1차측의 M_1 과 2차측의 D_1, D_3 가 같이 묶여있고 1차측의 M_2 와 2차측의 D_2, D_4 가 하나로 동작한다. 소프트 스위칭까지 포함하여 변압기의 L_M 을 설계하였으며, 위의 이론 및 시뮬레이션 데이터를 바탕으로 아래와 같은 실험결과를 도출하였다.

3. 실험 결과

표 1 제안된 DC-DC Converter 사양

Table 1 Spec of Proposed DC-DC Converter Circuit

PRT-PWM DC-DC Converter	
V_{in}	300V _{dc}
P_o	24V _{dc} /210A (5kW)
Switching Frequency	50kHz
MCU(DSP IC)	TMS320F28335

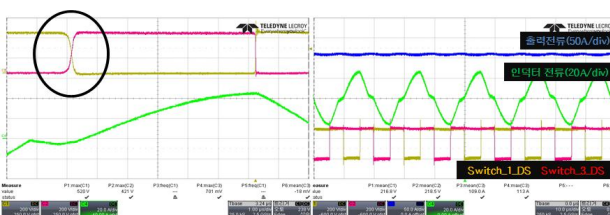


그림 4 소프트 스위칭 파형 및 M_1, M_4 D-S간 파형 (circuit_1 단독 test)
Fig. 4 Experimental Results of Soft Switching and Drain between Drain and source of M_1, M_4 (circuit_1 single test)

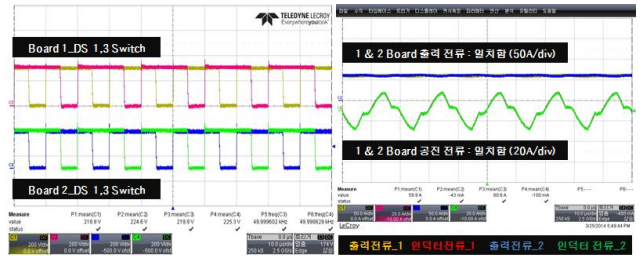


그림 5 2회로 연동 테스트

Fig. 5 interlocking Test of two circuit

그림 4를 통하여 소프트 스위칭과 1회로의 단독 테스트시 2.5kW의 출력을 보여준다. 2회로 연동 테스트를 할 경우 각 회로 별로 각각의 PWM제어를 통하여 제어하였으며, 실험결과 회로 스위칭 스트레스가 심하지 않아 위상을 딜레이 시켜주는 인터리브 방식은 사용하지 않고 같은 위상으로 제어하였다. 그림 5에서 좌측파형이 회로별 MOSFET D S간 스트레스가 심하지 않다는 것을 보여주며 우측 파형은 출력 전류 및 공진 전류까지 일치하는 것을 보아 전류제어가 잘 동작하고 있다는 것을 보여준다.

4. 결론

본 논문에서는 전기식 회생 보조 브레이크 시스템 즉 전기식 리타더를 통하여 배터리를 충전하는데 필요한 DC DC 컨버터를 설계하고 실험 검증하였다. 자동차의 실시간으로 변하는 속도에 따른 제동시 발생하는 리타더의 출력에 대비하여 출력 전류의 Dynamic 테스트까지 완료하였으며, 현재 개발 중인 리타더의 출력 전압의 크기에 따라 입력 필터부분 커패시터 및 변압기 턴비 등의 수정 및 검증을 수행할 예정이다.

이 논문은 단국대학교 전자전기공학부의 연구비 지원에 의하여 수행된 연구임.

본 연구는 2013년도 에너지기술평가원의 재원으로 (주)상신브레이크의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 2013T100200023)

참고 문헌

- [1] Y. Panov, J. Rajagopalan, and F. C. Lee, "Analysis and Design of N Parallel DC DC Converters with Master Slave Current Sharing Control", APEC '97, pp. 436, 1997.
- [2] Morcos, M.M, "Battery chargers for electric vehicles" Power Engineering Review, IEEE, vol 20, pp 8 11, 2000
- [3] 유광민, 김승주, 김경동, 박승희, 변용섭, 임승범, 이준영, "LLC 공진형 컨버터를 이용한 무정전전원장치 battery discharger 설계", 전력전자학회논문지 18 3, 2013. 06, pp. 240 256