

전기식 회생 보조 브레이크 시스템을 위한 DC-DC 컨버터 설계

곽태균* · 문채주** · 이준영*** · 고종선**** · 유창희*****

DC-DC Converter Design For Electric Regenerative auxiliary Brake System

Tae-Kyun Kwak* · Chae-Joo Moon** · Jun-Young Lee*** · Jong-Sun Ko**** · Chang-Hee Yoo*****

요약

현재의 브레이크 시스템은 운동에너지를 열에너지로 변경하여 거의 마찰형 브레이크로 공기 중에 발산하여 제동한다. 시스템 내에는 제동력을 발생시키는 리타더라는 장치가 있다. 전기에너지의 소모를 절약하기 위해 리타더의 제동에너지 일부를 활용하는 리타더의 고속 응답 특성에 관한 고도기술 연구는 이미 선진국에서 진행 중이다. 본 논문에서는 배터리 충전을 위해 리타더에서 발생한 3상 전압을 24V 직류 전압으로 변환하고 실험을 통해 타당성을 검증하는 DC-DC 컨버터를 제안한다.

ABSTRACT

Current brake system changes the kinetic energy into heat energy by friction-type of brake that the braking action is diverging into the air. The system has a device called a retarder that generates braking force. High-tech research on the high-speed response characteristics of retarders utilizing part of the braking energy of the retarder to save electrical energy consumption is already underway in advanced countries. In this paper, we propose DC-DC converter which converts 3-phase voltage generated from retarder to 24V DC voltage for battery charging and verify its validity through experiments.

키워드

Retarder, PWM-PRT DC-DC Converter, Full-bridge Converter
리타더, 1차측 공진 탱크 PWM 제어 DC-DC 컨버터, 풀브릿지 컨버터

1. 서론

현재 제동장치(Brake system)는 운동에너지를 열 에너지로 바꾸어 공기 중으로 발산시킴으로서 제동

작용을 하는 마찰형 브레이크가 대부분이다. 시중의 대형 버스 및 트럭 등 같은 경우, 부하가 아주 크다. 또한 내리막길이나 장거리 운행 시에 잦은 제동으로 인하여 마찰을 이용한 기존 방식의 브레이크들은 브

* 국립목포대학교 전기공학과(tk.kwak@evedu.or.kr)

** 교신저자 : 국립목포대학교 전기공학과

*** 명지대학교 전기공학과(pdpljy@mju.ac.kr)

**** 단국대학교 전자전기공학과(jsko@dankook.ac.kr)

***** 상신브레이크 기술연구소(yooch@sangsin.com)

• 접수일 : 2019. 04. 11

• 수정완료일 : 2019. 05. 13

• 게재확정일 : 2019. 06. 15

• Received : Apr. 11, 2019, Revised : May. 13, 2019, Accepted : Jun. 15, 2019

• Corresponding Author : Chae-Joo Moon

Dept. Electrical Engineering College of Mokpo National University

Email : cjmoon@mkpo.ac.kr

레이크 파열 및 페이드 현상 때문에 제동 안전성에 문제가 있다. 이러한 제동 부담을 분담하기 위해 현재 보조브레이크(리타더)가 필수적이며, 엔진 계통의 보조브레이크가 아닌 비접촉식 브레이크 같은 친환경 보조브레이크가 요구되고 있다. 그리고 차량 제동 시 발생하는 기계에너지를 전기에너지로 회생하여 에너지효율을 향상 시키려는 연구가 현재 활발히 진행되고 있다.

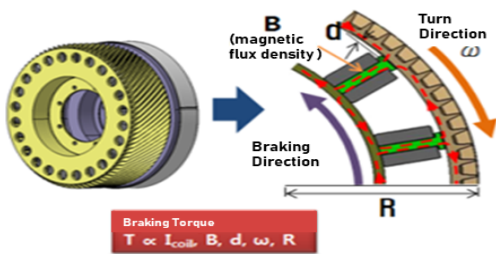


그림 1. 리타더의 원리
Fig. 1 Principle of retarder

그림1은 리타더의 모델링 및 해석등 기본 원리를 나타낸 것이며, 본 논문에서는 리타더에서 배터리 충전을 위해 리타더에서 발생한 3상 전압을 24V 직류 전압으로 변환하는 DC-DC 컨버터를 제안하고 실험을 통해 검증하였다.

제안하는 비접촉식 회생 보조 브레이크는 버스, 트레일러 등 대형 상용차량의 제동 안전성 및 연비효율을 향상과 실차 적용용 전력 회생장치이다. 이 시스템은 리타더 후단의 3상 전압을 직류전압으로 정류하여 배터리를 충전할 수 있는 전력회수회로를 개발하기 위해 Full- bridge 및 PWM-PRT, 동기정류기 이론을 접목시켜 실험을 진행하였으며 대형 차량에서 사용되는 배터리 전압(24V)에 맞추어 설계하였다.

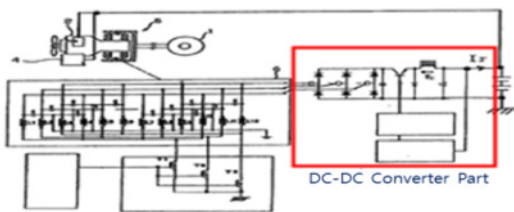


그림 2. 리타더 회로구성
Fig. 2 Retarder circuit

현재 일본의 T사의 특허자료에 나타난 기본적인 리타더 에너지 회수회로의 구성도를 그림 2에 나타내었다. 리타더는 회전자에 있는 잔류자계가 고정자인 L-C 공진회로에 자기장에 의한 전류를 발생시키고 이 전류는 다시 회전자에 전류를 유기시키는 원리로 동작한다. 서로 간의 상호 작용에 따른 B-H곡선으로 인해 유도 발전기 전압이 포화상태가 되므로 전자기형 리타더는 유도발전기로 모델링 할 수 있다. 그리고 자동차의 주행 속도에 따른 주파수를 계산하여 고정자의 L과 C의 값을 조정하여 공진주파수로 맞춰주면 L-C 공진회로에 최대 전압을 발전시킬 수 있다. 발전을 위해 회전자계의 주파수는 회전자의 주파수보다 작으며, 주파수 차이에 의해 와전류가 생긴다. 그러므로 와전류 손실이 생기고 열이 나면서 기계에너지가 다른 에너지로 바뀌게 되며 제동과 에너지회수가 동시에 일어나는 원리이다.[1]

그림 2의 우측 네모박스 안의 부분이 정류기를 포함한 DC-DC 컨버터 부분이며 자동차에 제동이 걸리는 동안 발생하는 에너지를 회수하여 배터리를 충전하는 원리이다. DC-DC컨버터는 리타더에서 발생된 3상전압을 반파 혹은 전파정류기를 통하여 정류된 DC 전압을 입력으로 받아 1차측 스위칭과 변압기에 의해 강압되어 24V전압으로 강압되며 전류는 200A이상의 대전류 출력을 낸다. 자동차의 제동 및 회생시스템은 운전자가 풋브레이크를 밟는 시점에 동작한다. 자동차의 주행속도에 따라 리타더에서 발생하는 전압이 일정하지 않으므로 충전기 시스템처럼 일정시간동안 비슷한 전류량이 흐르지 않고 제동순간 200A이상의 대전류가 흐른다. 이에따라 회로는 200A이상의 전류를 제어하여 배터리를 충전해 주어야 한다. 200A급의 대전류와 대형차에 들어가는 24V 배터리 충전을 위하여 전류 사양이 큰 관계로 2.5kW급 회로 2개를 병렬로 사용하여 실험을 진행하였다.

II. 제안한 PWM - PRT DC-DC Converter¹⁾

2.1 제안된 Converter의 동작 원리

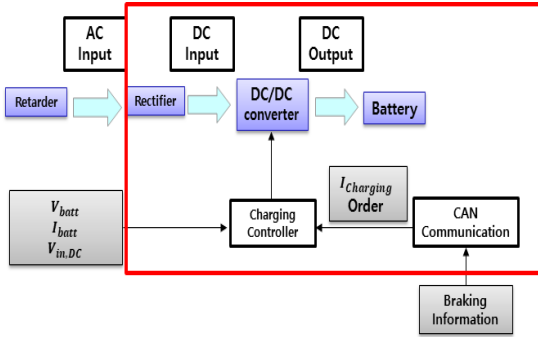


그림 3. 리타더 에너지 회수 회로
Fig. 3 Retarder energy collection circuit

그림 3는 리타더로부터 회생된 AC전압을 강압시켜 배터리를 충전하기까지의 회로도를 보여주며, 본 논문의 전체 회로의 일부인 DC-DC 컨버터 부분이라는 점을 말해준다.[10] ESS(:Energy Storage System)의 BMS(:Battery Management System)부분과 같은 역할을 갖으며, 차량의 배터리 충·방전을 제어하기 위해 본 논문에서는 그림 3의 회로를 바탕으로 본 논문에서는 Full-bridge, LLC, 동기정류기의 이론을 접목시켜 아래 그림 4와 같이 DC-DC Converter 회로를 구현하였다. [8]

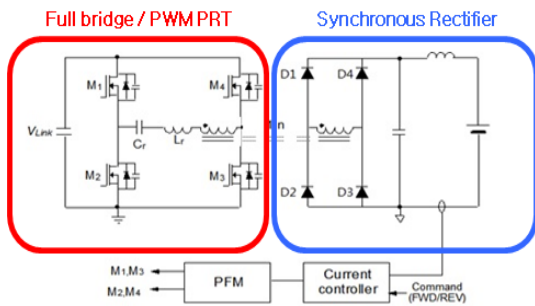
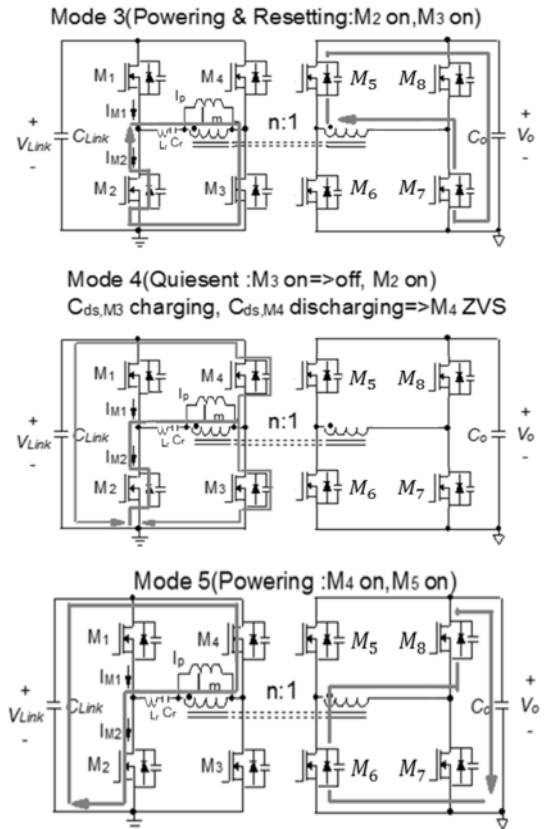


그림 4. 제안된 DC-DC컨버터 회로의 모델링
Fig. 4 Proposed DC-DC converter circuit modeling

1) PWM-PRT : Pulse Width Modulation Primary Tank DC-DC Converter : 펄스 폭 변조를 활용하며, 1차측에 공진 탱크를 가진 DC-DC 컨버터

본 논문에서 Full-bridge 및 PWM-PRT, 동기정류 기이론이 활용된 컨버터를 제안한다.[2] 1차측 제어뿐만 아니라 2차측 정류기도 스위치로 제어하여 손실 및 스위칭 스트레스를 최소화 하였다. PWM-PRT형 컨버터는 빠른 응답 특성을 가지며 효율면에서 유리한 장점이 있다. 그리고 출력에 인덕터가 필요 없으며 스위치와 출력 정류기의 Turn-off전압이 입력과 출력 커패시터에 의해 Clamping이 되므로 EMI에 유리하다. 2차측의 동기정류기는 배터리 전압인 24V보다 높고 대전류에 대처하기 위하여 200A 이상의 MOSFET을 사용하였다.[7]

MOSFET을 다이오드 대신해 사용한 이유는 R_{ds} 값이 낮을 검토하여 효율을 극대화시키기 위함이다. 배터리 충전 시스템이 고전압 저전류임을 감안하여 손실분석을 한 결과 다이오드보다 MOSFET을 사용하여 도통 손실을 줄이는 것이 효율 측면에서는 유리하다.[6]



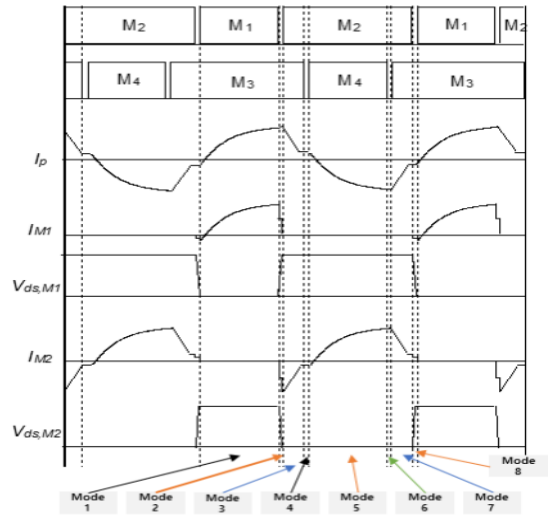
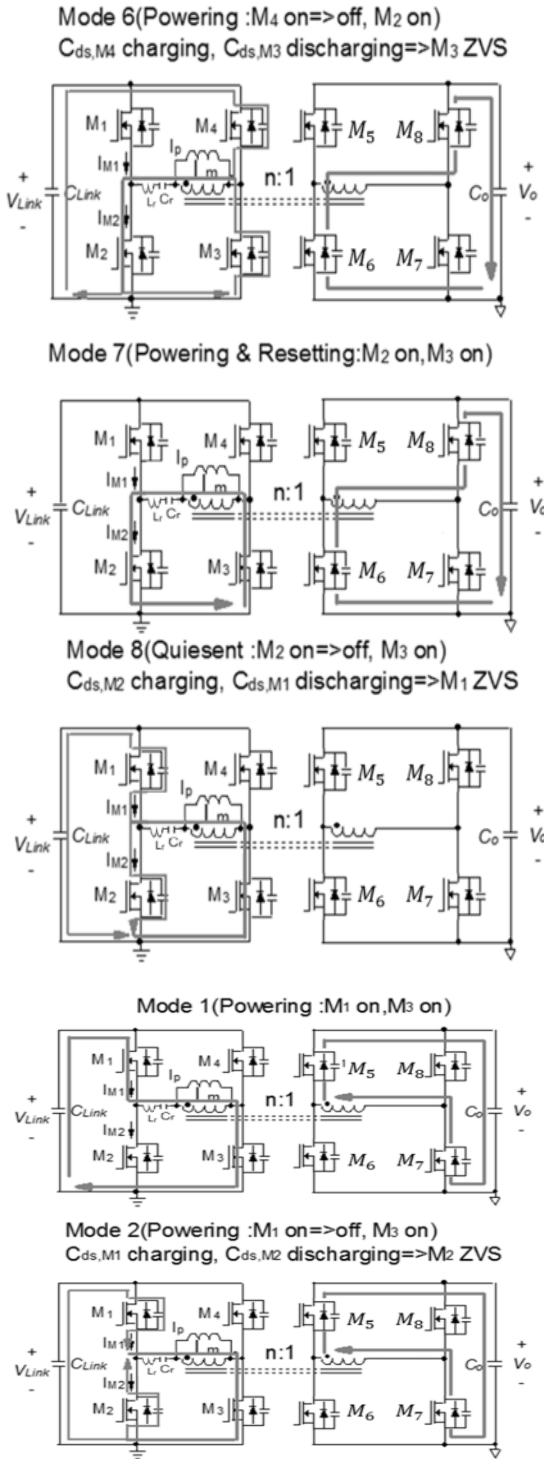


그림 5. 각 Mode별(시뮬레이션) 동작 파형
 Fig. 5 Operation waveform of each mode(situation)

2.2 LLC Converter 활용

본 논문의 검증을 위해 제안된 컨버터의 입력전압은 250~350V이며 출력전압은 대형 차량용 배터리 정격전압인 24V이다. LLC 방식이 효율향상에 유리하고 가변전압의 범위가 좁기 때문에 배터리 시스템에 도입하기에는 적격이다. 위 그림 5는 제안된 회로의 MOSFET On/Off에 따른 동작 Mode별 전류 흐름도를 나타낸 것이다. 이 상황에서 가장 중요한 점은 1차측의 Loop를 흐르던 전력이 2차측으로 Powering 되기 위한 Mode3과 Mode7 구간의 확보가 중요하다.[4]

아래 그림 6는 LLC컨버터의 파라미터를 선정하기 위한 LLC AC모델링 회로를 나타낸다.

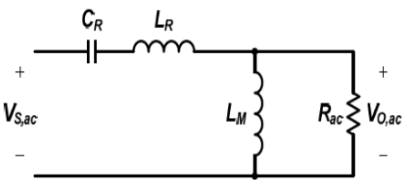


그림 6. LLC AC 모델링
 Fig. 6 LLC AC modeling

모델링으로부터 구해진 식 (1),(2),(3),(4)로부터 DC 성분으로 치환하면 입, 출력이득인 GDC를 얻을 수

있다. 부하에 따른 LLC 컨버터의 공진주파수 범위는 트랜스포머의 자화 인덕턴스 LM과 누설인덕턴스 LR의 비인 K값과 부하와 공진회로의 임피던스 비와 관계있는 Q에 의해 좌우된다. n은 트랜스포머의 Turn비, Rac는 부하저항의 ac모델, Ro는 부하저항, FR은 LLC 공진형 컨버터의 공진주파수를 나타낸다.[3]

$$G_{ac} = \frac{V_{o,ac}}{V_{s,ac}} = \frac{R_{ac} // j2\pi F_s L_M}{j2\pi F_s L_R + \frac{1}{j2\pi F_s C_R} + R_{ac} // j2\pi F_s L_M} \quad \dots (1)$$

$$V_{s,ac} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} V_s \quad \dots (2)$$

$$R_{ac} = \frac{8n^2}{\pi^2} R_0 \quad \dots (3)$$

$$V_{o,ac} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} V_o \quad \dots (4)$$

$$G_{DC} = \frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{2n \sqrt{\left\{ 1 + \frac{1}{K} \left[1 - \left(\frac{F_R}{F_s} \right)^2 \right] \right\}^2 + \left\{ \left(\frac{F_s}{F_R} \right) - \left(\frac{F_R}{F_s} \right) Q \right\}^2}} \quad \dots (5)$$

$$F_R = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_R C_R}} \quad \dots (6)$$

$$Q = \frac{1}{R_{ac}} \sqrt{\frac{L_R}{C_R}} \quad \dots (7)$$

$$K = \frac{L_M}{L_R} \quad \dots (8)$$

하드웨어 초기값 즉 시정수인 n, FR, LM, Ro, LR의 값은 전원장치 제작시 초기설정 고유의 값으로 정해지며 스위칭 주파수는 공진주파수에 맞추어 선정하고 일정 전압제어를 위하여 알맞은 게인을 선정하여야 한다. 변화된 LLC 공진형 컨버터의 입, 출력 관계식은 식 (5),(6),(7),(8)에 나타내었다.[3]

III. 회로설계

위 식을 토대로 Table 1과 같이 파라미터를 선정하였다. 그림 7과 같이 제작된 트랜스포머의 Turn비

에 따른 자화인덕턴스는 250uH이며, LLC 공진회로에서의 ZVC 소프트 스위칭 기법을 사용하여 손실을 최소화하기 위하여 보조 공진 인덕터를 부착하게 되었다.[9]

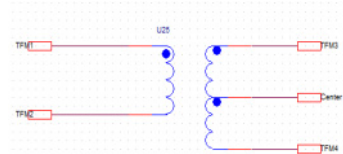
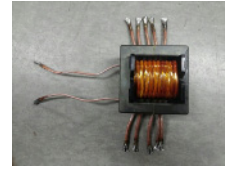


그림 7. 변압기
Fig. 7 Transformer

표 1. PWM PRT DC-DC 컨버터 디자인 파라미터
Table 1. PWM- PRT DC-DC converter design parameters

Parameter	Mark	Value	Unit
Input Voltage	VIn	300	V
Output Voltage	Vo	24	V
Output Current	Io	105	A
Output Power	Po	2.5	kW
Switching Frequency	fs	50	kHz
Transformer turns ratio	n	16:1.75	-
Transformer Magnetizing inductance	Lm	250	μH
Transformer primary Leakage inductance	Lq1	4.7	μH
Transformer secondary Leakage inductance	Lq2	40	nH
Resonant Tank inductor inductance	Lr	50	μH
Resonant Tank inductor capacitance	Cr	225	nF

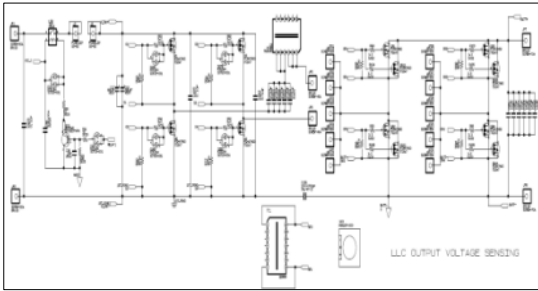


그림 8. 1차측 공진 탱크 DC-DC 컨버터
Fig. 8 Primary resonant tank DC-DC converter

IV. 모의실험

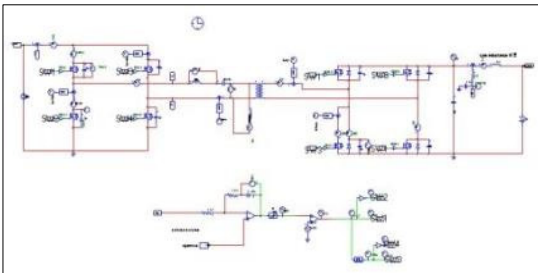


그림 9. 제안된 DC-DC 컨버터의 시뮬레이션
Fig. 9 Simulation for proposed DC-DC converter

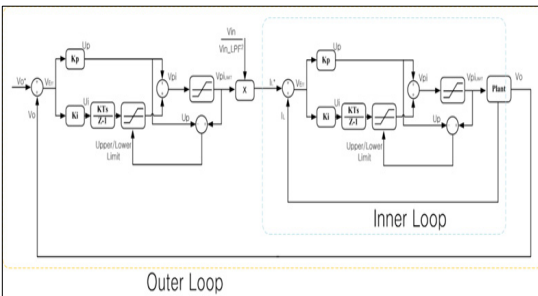


그림 10. 전압제어를 위한 PI 제어기
Fig. 10 PI Controller for voltage control

그림 8의 제안된 컨버터의 회로를 바탕으로 그림 9와 같이 PSIM 시뮬레이터를 이용하여 모의실험을 하였다. 그림 9의 하단에 나타나는 부분은 출력전압 및 전류를 제어하기 위한 PI제어기로 그림 10의 알고리즘

을 바탕으로 PSIM에 반영하였다. 스위칭 주파수(FS)는 50kHz로 설정하였으며 앞서 설명한 전압제어 및 전류제어로 Mode Change를 하며 동작한다.[10] 동작 Mode는 그림 5에서 나타낸 것처럼 1차 측 Full-bridge회로에서 M1과 M3가 도통되면 2차 측 동기정류기의 M5와 M7가 도통되고 M2와 M4가 도통되면 2차 측의 M6과 M8이 도통되는 전류패스가 형성되도록 하고 PWM제어를 1차 측의 M1과 2차 측의 M5와 M7이 같이 묶여있고 1차 측의 M2와 2차 측의 M6과 M8이 하나로 동작한다. 소프트 스위칭을 위한 변압기 사양 및 선택된 파라미터를 모두 반영하여 그림 11과 같은 모의실험 결과를 도출하였다.

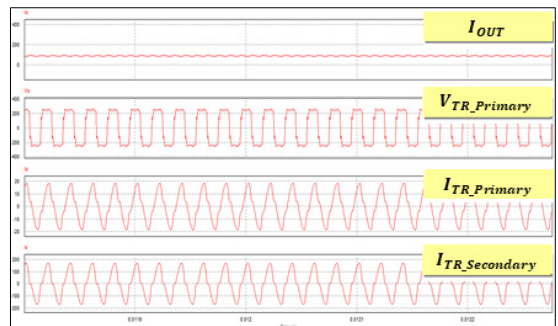


그림 11. 시뮬레이션 결과
Fig. 11 Simulation result (IO=100A or VO=24V @ 2.5kW)

시뮬레이션은 입력전압을 300V로 설정, 스위칭 주파수는 빠른 응답특성과 MOSFET의 특성을 고려하여 50kHz, 출력전압 24V, 출력전류 105A에 맞게 Duty를 설정하고 기타 파라미터는 Table 1과 같이 설정하여 실행하였다. 결과 파형에서 알 수 있듯이 PI제어기에 대입한 목표치에 해당되는 전류 및 전압제어(Mode change)가 잘 이루어지고 있다는 것을 확인하였으며, 변압기의 공진전류 파형을 보고 소프트 스위칭도 잘 이루어지고 있다는 것을 확인하였다.

V. 실험 결과

그림 8의 제안된 회로는 1개 회로당 2.5kW의 최대 출력 Spec을 갖고 있으며, 본 과제 및 논문의 최대 목표는 출력전압 24V 제어를 하며, 5kW의 출력으로

배터리를 충전하는 것이다. 최대 5kW의 출력을 내기 위해서는 제안된 회로를 2개 병렬로 연결하여야 한다. 앞서 출력 전류 및 전압을 센싱하여 한 개의 PWM 신호를 2개의 회로에 동시에 입력한 결과 회로 1과 회로 2의 출력전류 차이가 10A 가량 다르다는 것을 파악하였다. 각각의 출력을 일정하게 제어하여 어느 한쪽에 치우치지 않도록 정밀한 전류 혹은 전압제어가 필요하기에 각각의 회로에 출력전류를 따로 센싱하여 각각의 PWM을 입력의 필요성을 알게 되었다. 또한 안정성을 보장하기 위하여 본 실험에서는 배터리를 대신하여 고정부하를 활용하여 테스트를 진행하였으며, 최대 출력(5KW)을 위해 회로별 각각의 PI제어기를 도입하여 각각의 PWM 입력으로 전류제어를 통하여 검증하였다.

표 2. 제안된 DC-DC 컨버터 회로의 스펙
Table 2. Spec of proposed DC-DC converter circuit

PRT-PWM DC-DC Converter	
Vin	300Vdc
Po	24Vdc/210A (5kW)
Switching Frequency	50kHz
MCU(DSP IC)	TMS320F28335
Primary MosFET	FCA47N60
Secondary MosFET	IXTH300N04T2
※ 2.5kW 회로 2EA 연동 Test	

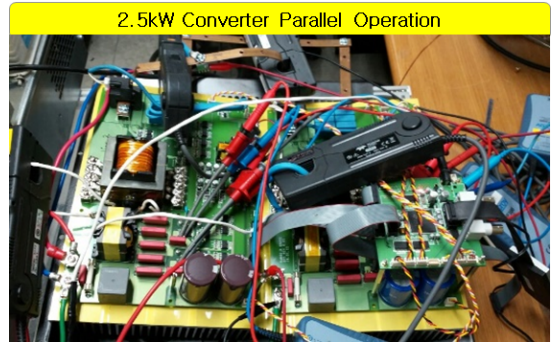
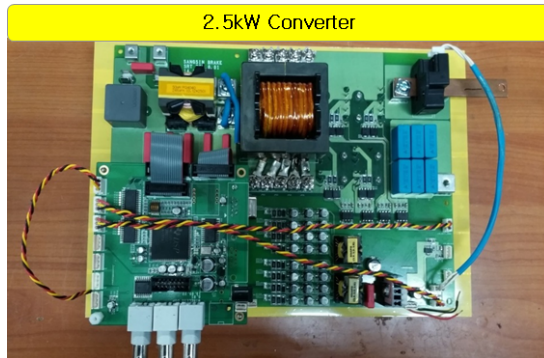


그림 12. 제안된 컨버터의 실제 회로(2세트)
Fig. 12 The real circuit of proposed converter(2set)

그림 12의 상단은 2.5kW급 회로의 set를 보여주며, 하단은 상단의 회로 2개를 병렬로 연결하여 5kW급 세트르 제작된 회로이다.



그림 13. M1, M4의 드레인과 소스 간의 소프트 스위칭 실험결과(회로_1의 단일 테스트)

Fig. 13 Experimental results of soft switching and drain between drain and source of M1, M4 (circuit_1 single test)

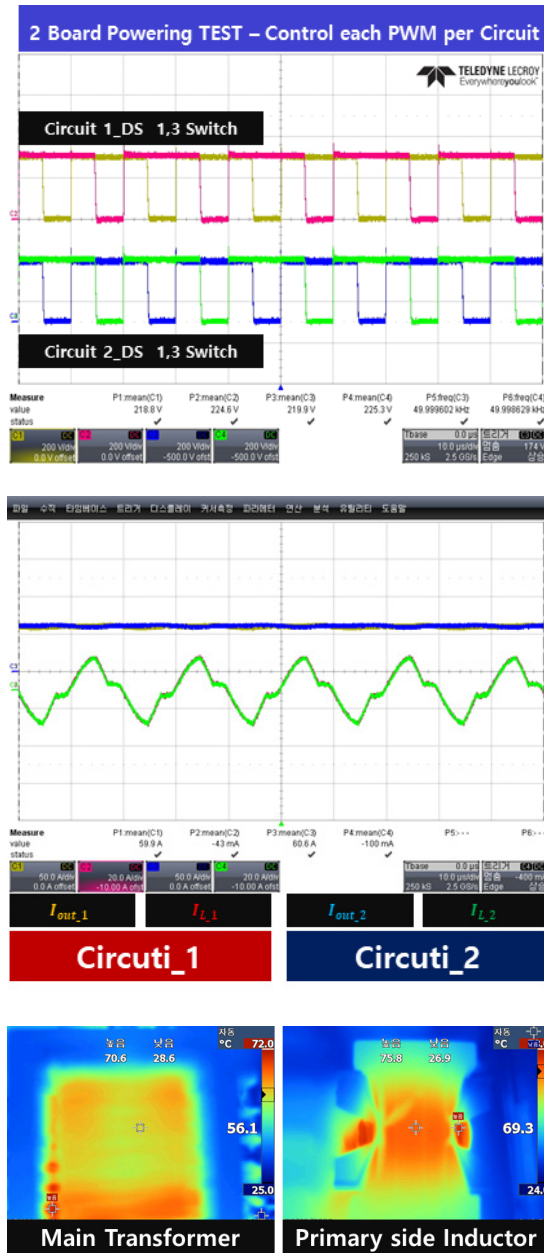


그림 14. 2개 회로의 연동 실험
Fig. 14 Interlocking test of two circuit

그림 13을 통하여 완벽한 소프트 스위칭과 1set의 단독 테스트 시 2.5kW의 출력이 이상없이 잘 동작한다는 것을 확인하였다. 이를 바탕으로 2set로 연동하여 앞서 언급했듯이 각 회로 별 각각의 PWM제어를

통하여 제어하였으며, 실험결과 회로 스위칭 스트레스가 심하지 않아 위상을 딜레이 시켜주는 인터리브 방식은 사용하지 않고 같은 위상으로 제어하였다. 그림 14에서 좌측파형이 회로별 MOSFET Drain-Source 간 스트레스가 심하지 않다는 것을 보여주며 우측 파형은 출력 전류 및 공진 전류까지 일치하는 것을 보아 전류제어가 잘 동작하고 있다는 것을 확인하였다. 추가로 회로의 안정성 테스트를 위하여 20분 동안 동작시킨 후 트랜스포머 및 보조 공진 인덕터의 온도를 테스트 한 결과 그림 14의 하단사진과 같이 메인 트랜스포머는 1차측의 권선이 마무리된 부분의 온도만 평균보다 10℃가 높았지만 최고온도가 평균 70℃를 유지하였고, 보조 공진 인덕터의 온도도 80℃를 넘지 않는 선에서 평균 70℃ 안팎을 유지한 것을 확인하였으며, 발열에 의한 손실은 많지 않다는 것을 확인하였다.

VI. 결 론

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 출력전류의 Dynamic 테스트까지 완료하였으며, 현재 개발 중인 리타더의 출력 전압의 크기가 급변하는 현상을 고려하여 DC-DC 컨버터의 입력 필터부분의 커패시터 및 변압기 Turn비 등 주요 파라미터를 수정 및 검증할 필요가 있다. 또한 본 논문의 기술을 활용하여 최근 이슈화되고 있는 전기자동차 저압배터리 충전기 개발 기술에 활용도가 높을 것으로 사료된다.[5]

감사의 글

본 연구는 2013년도 에너지기술평가원의 재원으로 (주)상신브레이크의 지원을 받아 수행한 연구 과제이며(No. 2013T100200023), 단국대학교 전자전기공학부의 연구비 지원에 의하여 수행된 연구임.

References

- [1] S. Jung, C. Yoo, H. Jo, and J. Ko, "Voltage Control for Electromagnetic Retarder's Power Recovery Device," *The Transactions of the Korean Institute of Power Electronics*, July 2015, pp. 87-88.
- [2] Y. Panov, J. Rajagopalan, F. Lee, and C. Lee, "Analysis and Design of N Paralleled DC-DC Converters with Master-Slave Current-Sharing Control," *Proceedings of Applied Power Electronics Conference '97*, Vol. 1, 1997, pp. 436-442.
- [3] K. Yoo, S. Kim, S. Park, Y. Byeon, S. Lim, and J. Lee, "LLC Resonant Converter design for Uninterruptible Power Supply Battery Discharger," *The Transactions of the Korean Institute of Power Electronics*, vol. 18, no. 3, June 2013, pp. 240-256.
- [4] Y. Lee, S. Kim, B. Kim, H. Kim, and B. Kwon, "Switching losses analysis and thermal design of FB-PS-ZVS DC/DC converter," *The Transactions of the Korean Institute of Power Electronics*, July 2009, pp. 18-20.
- [5] M. Morcos, N. Dillman, and C. Mersman "Battery chargers for electric vehicles," *IEEE*, vol. 20, 2000, pp. 8-11.
- [6] Y. Chai and W. Do, "Development of 2KW Power Bidirectional LDC for Electrical Vehicle," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 11, no. 1, Jan. 2016, pp. 65-72.
- [7] Y. Chai, "Efficiency Improvement Method of 2KW Power Bidirectional LDC," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 12, no. 5, Oct. 2017, pp. 845-850.
- [8] Y. Chai, "Design of Modular DC / DC Converter Design with Programmable output voltage," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 14, no. 2, Apr. 2019, pp. 345-350.
- [9] B. Lee, S. Kim, J. Kim, and J. Lee, "Development of grid-tied 6.6kW bidirectional V2G OBC for EV/PHEV," *The Transactions of the Korean Institute of Power Electronics*, July 2016. pp. 387-388.
- [10] Y. Kim, C. Yoo, S. Kwon, and J. Lee, "Research for Recharging Braking Power Circuit of Electric Regenerative Auxiliary Brake for Hybrid Commercial Vehicles," *The Transactions of the Korean Institute of Power Electronics*, July 2016. pp. 191-192.

저자 소개

곽태균(Tae-Kyun Kwak)



1981년, 2013년 및 2015년 명지대학교 전기공학과(공학사), 대학원 전기공학과(공학석사), 2018년~현재 목포대학교 공과대학 전기공학과 박사과정

2014년~현재 한국전기산업진흥회 대리

※ 관심분야 : 전력변환시스템, ESS, SG, MG

문채주(Chae-Joo Moon)



1981년, 1983년 및 1994년 전남대학교 계측공학과(공학사), 대학원 전기공학과(공학석사, 공학박사), 1997년~현재 목포대학교 공과대학 전기및제어공학과 교수

1986~1997 한국전력기술 책임연구원

2011 광주일보 테마칼럼니스트

2011~2012 전력전자학회 부회장

2010~2016 이투스뉴스, 한국전기신문 칼럼니스트

2015~2016 기초전력연구원 에너지밸리분원장

2017년~현재 에너지밸리산학융합원장

※ 관심분야 : 풍력발전시스템, 풍력성능평가, 전력 변환시스템, 스마트그리드, 마이크로그리드



이준영(Jun-Young Lee)

1993년 고려대학교 전기공학과(공학사),
1996년 및 2001년 KAIST 전기 및
전자공학과(공학석사, 공학박사),
2008년~현재 명지대학교 공과대
학 전기공학과 교수

2001~2005 삼성SDI PDP 사업부 과장
2005~2008 단국대학교 전자공학과 조교수
※ 관심분야 : 전력변환장치, 전력전자, 전기자동차,
MG, SG



고종선(Jong-Sun Ko)

1984년 서울대 전기공학과(공학사), 1989년
및 1994년 KAIST 전기 및 전자공학과
(공학석사, 공학박사), 2003년 8월~현재
단국대 전자전기공학과 교수.

1983~1995 삼성전자 생산기술센터 선임연구원
1995~1996 삼성그룹 삼성경영기술대 사내 교수(부장)
1999~2000 미국 Tennessee 주립대(UT) Post-Doc.
1996~2003 원광대 전기전자 및 정보공학부 조교수
※ 관심분야 : PMSM, Induction 모터, 모터제어,
AI제어기, 풍력발전



유창희(Chang-Hee Yoo)

1995년, 2014년, 2014년~현재 영남
대학교 기계공학과(공학사), 대학원
기계공학과(공학석사, 박사과정)
2014년~현재 상신브레이크 기술
연구소 상용개발부 수석연구원

※ 관심분야 : 전력변환시스템, 전력회수회로,
전기식/기계식 브레이크