

비상감시 부하용 500W급 양방향 LDC에 관한 연구

한원태, 이상혁, 신덕식
한국전자기술연구원

A Study on the 500W Bi-Directional LDC for emergency monitoring load

Won-Tae Han, Sang-Hyeok Lee, Duck-Shick Shin
Korea Electronics Technology Institute(KETI)

ABSTRACT

48V급 마일드 하이브리드 자동차(MHEV, Mild Hybrid Electrical Vehicle)는 12V급 전원체계를 갖는 기존 내연기관차 대비 부하 소비전력 증가 대응 및 BSG(Belt-Driven Starter and Generator)를 적용한 연비 개선 등이 가능하여 유럽 시장을 중심으로 지속적인 성장세에 있으나, 48V급 고출력 부하증가 및 전동화 전장품의 빈번한 동작에 따라 연계된 12V전원체계 불안정성은 점진적으로 증가되고 있는 상황이다.

본 논문에서는 48V 전원체계의 영향으로부터 안정적인 전력공급이 가능한 비상감시 부하용 500W급 48V/12V 양방향 LDC에 대해 제안하고자 한다. 제안한 LDC에 대해 시뮬레이션을 통해 구동특성을 분석하고, 제작을 통해 성능 검증 및 출력 특성을 입증하였다.

1. 서 론

48V급 MHEV는 최근 자동차 산업에서 주목받고 있는 기술이다. 기존의 내연기관차와 비교하였을 때 MHEV는 부하 소비전력의 증가 대응 및 연비 개선이 가능하나 그림 1에서 보여주는 것처럼 최근 자율주행 기술, 연비향상을 위한 파워트레인의 전장화, 차량용 에어컨 등의 도입으로 48V급 고출력 부하증가와 전장화 확대에 의해 48V/12V 전원체계간의 전력 사용량 증가 및 안정성 문제가 증가하고 있는 상황이다.^[1] 이에 따라 전장품의 빈번한 사용에 대한 불안정성을 대비하기 위해 유럽 자동차 업체를 중심으로 48V급 MHEV 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.^[2]

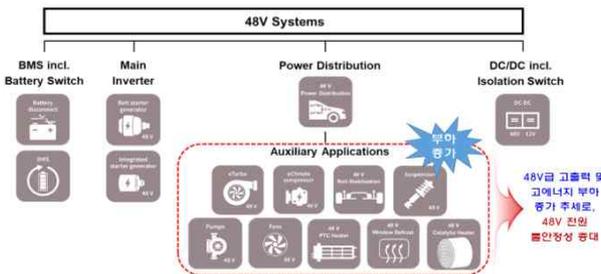


그림 1. 48V 부하 증가에 따른 전원불안정성 야기
Fig. 1 Power instability caused by 48V load increase

본 논문에서는 이러한 문제점에 대한 대응책으로서 차량 내 비상감시 전장품에 대한 안정적인 전력공급이 가능한 별도의 500W급 48V/12V 양방향 LDC를 제안한다.

본 논문에서는 48V/12V 양방향 LDC의 아날로그 제어로 500W급 출력에 대해 시뮬레이션을 진행하고 구동특성을 분석하였다. 이를 통해 시작품을 제작하였고 실험을 통해 성능 검증 및 출력 특성을 입증하였다.

2. 본 론

2.1 500W급 LDC 회로 설계 및 시뮬레이션

양방향 Buck-Boost 드라이브 소자인 LM5170을 사용하여 아날로그 제어를 통해 양방향 인터리브드 방식의 500W급 LDC를 설계 하였으며, 회로설계 검증을 위해 TI사의 TINA S/W 툴을 활용하여 그림 2와 같이 LM5170 주변회로 설계 및 아날로그 제어 회로를 설계, 인터리브드 방식의 병렬 구조를 적용하여 시뮬레이션을 진행하였다.

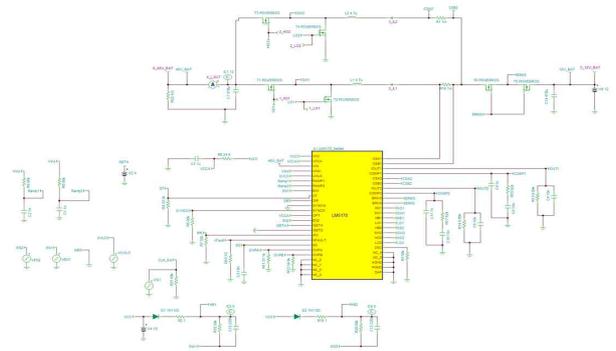


그림 2 500W 인터리브드 LDC 시뮬레이션 회로
Fig. 2 500W Interleaved LDC circuit for simulation

그림 3은 Buck 모드 그림 4는 Boost 모드에 대해서 각각 시뮬레이션한 결과이며, 인터리브드 방식의 병렬 구조로 인해 각 모드에 두 쌍의 High Side PWM, Low Side PWM 신호와 두개의 인덕터 전류, 출력전압, 입력전압의 신호를 보여 주고 있다. 500W 부하조건에서 Buck 모드 시 12V 충전 전압을 고려하여 14.36V 출력하였으며 Boost 모드는 50V 기준 출력 제어를 통해 49.84V 로 출력이 안정되게 나타남을 확인 할 수 있다.

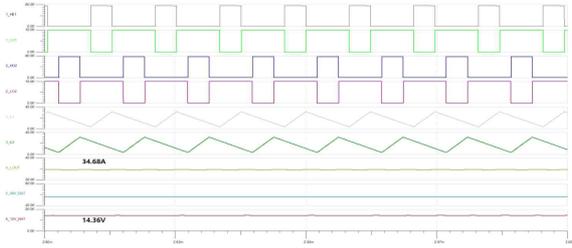


그림 3 Buck 모드 동작특성 파형
Fig. 3 Buck Mode Drive Characteristic waveform

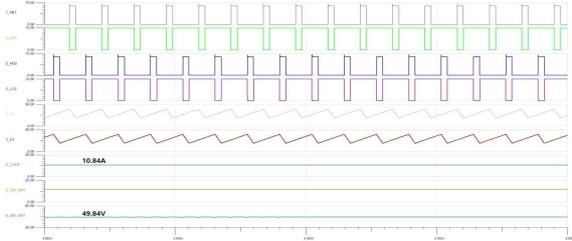


그림 4 Boost 모드 동작특성 파형
Fig. 4 Boost Mode Drive Characteristic waveform

2.2 시작품 성능 검증 및 출력 결과

2.1의 시뮬레이션 결과에 따라 그림2의 회로 구성을 기반으로 시작품을 제작하였으며, 아래와 같이 실험 구성을 통해 시작품의 성능 검증 및 출력 특성을 확인하였다.



그림 5 500W급 LDC 실험 구성
Fig. 5 500W LDC Test configuration

LDC 설계 시 동작 특성을 구분하기 위하여 스위칭 주파수의 값은 100kHz, High Side, Low Side MOSFET의 Dead Time(t_{DT}) 계산식은 식 (1)과 같이 설정하였으며, 그림 6과 같이 설계한 스위칭 주파수 값인 100kHz, t_{DT} 는 56ns로 출력되어 동작 특성이 설계한 것과 동일함을 확인할 수 있었다.

$$t_{DT} = 7.5k\Omega(R_{DT}) \times 4 \frac{ns}{k\Omega} + 16ns \quad (1)$$

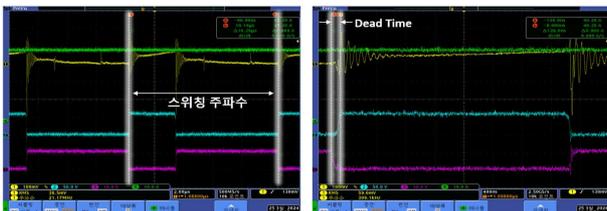


그림 6 오실로스코프를 통한 500W급 LDC 동작 파형 확인
Fig. 6 Check 500W LDC Operating waveform through oscilloscope

LDC가 정상적으로 동작하는 것을 확인하기 위해 Buck 모드 및 Boost 모드에 대해 500W 출력이 발생하는지 실험을 통해 검증하였다. Buck 모드와 Boost 모드 각각 파워미터 측정을 통해 아래 그림 7처럼 500W 까지 출력되는 것을 확인할 수 있다. 각 모드에서 아날로그 제어를 통해 50W씩 부하를 증가시켜 최소 50W 출력에서 최대 500W 출력을 확인할 수 있었으며 출력이 증가함에 따라 효율을 측정한 결과를 그림 8과 같이 제시하였다. 출력이 증가함에 따라 효율 또한 지속적으로 증가하였으며, 최대 500W에서 Buck 모드 효율은 97.4%, Boost 모드 효율은 95.3%로 확인하였다. 이때 LDC는 동작 파형 및 출력 특성에 대해 정상적이며 안정적으로 작동하는 것을 확인할 수 있었다.

Buck Mode				Boost Mode			
Udc2	Udc1	Udc2	Udc1	Udc1	Udc2	Udc1	Udc2
Vin	48.455 V	Vout	14.683 V	Vin	12.769 V	Vout	47.960 V
Ide2	10.229 A	Ide1	32.888 A	Ide1	40.789 A	Ide2	10.352 A
P2	0.496 kW	P1	0.483 kW	P1	0.521 kW	P2	0.496 kW
		출력	97.429 %			출력	95.323 %

그림 7 Buck/Boost Mode 500W 성능 검증
Fig. 7 Buck/Boost Mode 500W Performance

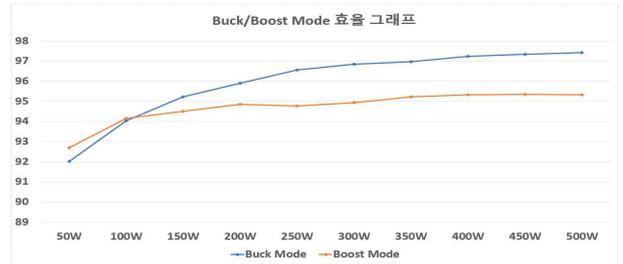


그림 8 Buck/Boost 모드 효율 그래프
Fig. 8 Buck/Boost Mode Efficiency Graph

3. 결론

본 논문에서는 48V 전원체계의 영향으로부터 별도의 컨버터를 통해 비상부하 감시장치에 안정적인 전력공급이 가능하게끔 양방향 LDC에 대하여 TINA S/W를 통해 설계 및 시뮬레이션을 진행하였다. 이후 해당 회로를 기반으로 시작품을 제작하여 LM5170 드라이브 소자의 아날로그 제어를 통해 Buck 모드 및 Boost 모드에서 500W 출력 시, Buck 모드 효율은 97.4%, Boost 모드 효율은 95.3%를 확인할 수 있었다. 위 설계 및 실험을 통해 LM5170 소자의 아날로그 제어방식으로 양방향 LDC의 안정적인 500W 출력이 되는 것을 입증하였다.

이 연구는 2022년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(20018665)

참고 문헌

- [1] 박규식, "차량용 48V 시스템 기술 개발 동향", 전력전자학회지, pp. 43-48, 2014.
- [2] 황수빈, 전수민, 이아라, 방효진, 최덕관, 김종철, "48V Mild HEV용 양방향 DC-DC 컨버터 설계", 한국자동차공학회 추계학술대회 및 전시회, pp. 1,084-1,089, 2018, November.