

차량용 3[kW] 양방향 DC/DC 컨버터 개발

이상혁, 공상호
대성전기, 전남대학교*

Automotive 3[kW] Bidirectional DC/DC Converter Development

Sang Hyeok Lee, Sang Ho Gohng
DAESUNG Electric Co

ABSTRACT

자동차 업계는 전장화 가속화와 강화된 환경규제에 대응하기 위해 자동차의 12[V] 전기시스템과 더불어 48[V] 전기 시스템에 대한 도입을 추진하고 있다. 듀얼 전기시스템을 사용할 경우 소모 전력이 적은 부품에 대해서는 기존의 12[V] 시스템을 유지하고 전력 소모가 큰 전동식 조향장치, 브레이크, 공조 시스템은 48[V] 시스템을 사용함으로써 비용을 최소화하고 연비를 최대 15[%]까지 개선시킬 수 있는 특징을 갖고 있다. 이를 구현하기 위해서는 양방향 DC/DC 컨버터가 필수적이며 대성전기에서는 48V 마일드 하이브리드 시스템을 위한 4-phase 구조의 양방향 DC/DC 컨버터를 개발하였다.

1. 서론

전세계적으로 환경규제 강화에 대응하기 위해 연비개선의 신기술로 48[V] 전원을 사용하는 듀얼(12[V]+ 48[V]) 전기 시스템을 주목하고 있다. 이에 따라 독일에서는 2011년 자동차 5사가 48[V] 전원에 대한 규격 LV148을 수립하고 듀얼 전기 시스템에 대한 연구를 진행하고 있다. 48[V] 전기 시스템을 도입하면 기존 12[V] 전기시스템에서 전력 소모가 적은 기존 부품을 구동하고 48[V] 전기시스템을 통해 전력 소모가 큰 시스템을 구동함으로써 에너지 용량 및 출력을 증가시켜 고효율 전장부품의 사용이 가능하고 효율성도 높아져 연비 개선 효과가 크다는 장점을 갖고 있다.^[1]

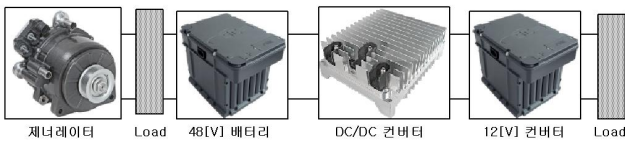


그림1. Dual(48[V], 12[V]) Power System

듀얼 전기 시스템은 그림 1과 같이 제너레이터, 48V 배터리, 양방향 DC/DC 컨버터, 12V 배터리로 구분할 수 있다. 여기서 제너레이터는 48V 전기 에너지를 발생시켜 배터리를 충전하는 역할을 하며 48V 배터리는 리튬이온전지 또는 UCM(Ultra Capacitor Module)이 사용되고 12V 배터리는 기존 납축전기가 사용된다. 배터리 사이에 위치한 양방향 DC/DC 컨버터는 고속의 고신뢰성을 갖는 안정적인 전력변환이 이루어져야 한다.

2. 양방향 DC/DC 컨버터

2.1 회로 구성

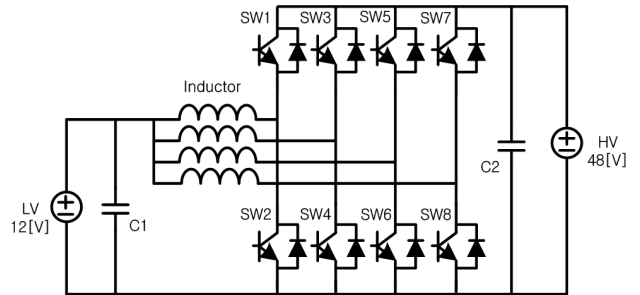


그림2. Interleaving Bidirectional DC/DC Converter

인터리브드 구조를 갖는 양방향 DC/DC 컨버터는 입/출력 전압비에 따라 그림 2와 같이 4-phase Synchronous Buck Converter 구조를 갖는다. 저전압, 고전류 조건의 전력변환 시스템에서 인터리브드 구조는 필수적이며 효율 개선 및 리플을 저감할 수 있는 특징을 갖고 있다. 양방향 DC/DC 컨버터는 CAN 통신을 통해 상위 제어기와 연결되고 그림 3과 같이 LabVIEW로 제작 되었으며, 전류 제어기는 양방향 DC/DC 컨버터의 각 페이즈마다 존재하여 페이즈별 독립적인 제어가 가능하다. 동작 모드는 Buck 또는 Boost의 출력 전압에 따라 CC(Constant Current), CP(Constant Power), DT(Derating) 모드로 동작한다.

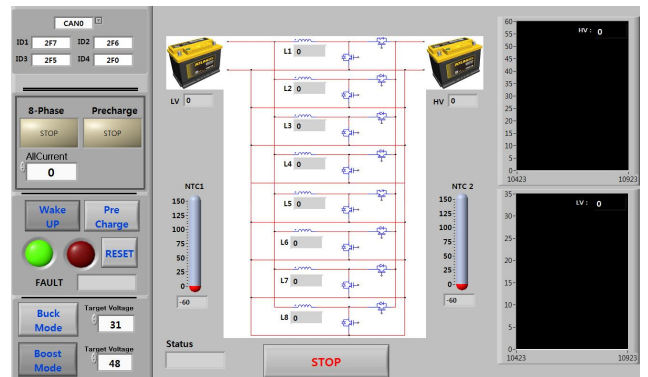
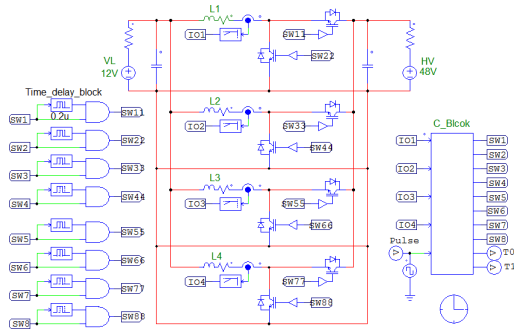
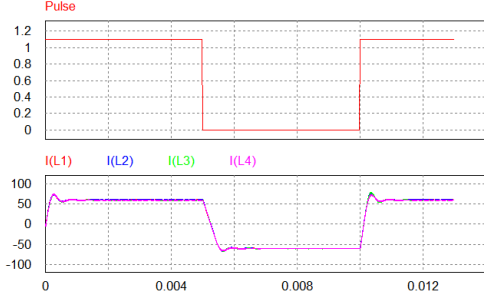


그림3. Tester Controller

2.2 시뮬레이션



(a) Simulation Circuit



(b) Output Waveform

그림4. Bidirectional DC/DC Converter Simulation

시뮬레이션은 그림 4(a)와 같이 PSIM을 이용하여 구현하였고 Time delay block 함수를 이용하여 스위칭 Dead Time과 C-Block을 이용하여 제어를 구현하였다. 여기서 C Block은 각 페이즈에 흐르는 인덕터 전류와 Pulse를 입력 받으며 그림 4(b)와 같이 Pulse 입력에 따라 지령치 60[A]로 Buck 또는 Boost 모드로 동작하게 된다.

2.3 시스템 사양 및 실험 결과

Items	Unit	Buck	Boost	Remarks
Input Voltage	V	24 ~ 60	11 ~ 16	Derating Buck:24V~36V, 52V~60V
Output Voltage	V	5 ~ 16.5	20 ~ 54	Derating Buck:5V~6V, 16V~16.5V Boost:20V~36V, 52V~54V
Rate Power	W	3,045	2,175	Buck : 14.5V * 210A Boost : 14.5V * 150A
Efficiency	%	> 96	> 93	@ 30~140A / 20~120A
Power Density	W/l	> 971		< 2.5kg, 220x190x75mm
Cooling	-	Natural Air Cooling		-40~60, 60~75(20min), ~90
Protection	--	OCP,OVP,OTP,UVP		H/W & S/W Check
Communication	-	CAN (2 channels)		Option : AUTOSAR
Requirements	-	IP6K5, EMC		CISPR 25

표 1. System Spec Summary

제작된 양방향 DC/DC 컨버터는 표1과 같은 사양을 갖고 있으며 그림 5와 같이 출력 전압에 따라 다양한 동작 모드로 동작한다. 그림 5는 HV는 48[V] 배터리, LV는 UC(Ultra Cap) 조건하에 Buck 모드로 운전시 동작 파형으로 초기에는 Soft Start로 최대 전류 지령치로 상승하고 LV 전압이 5[V]~14[V] 범위에서는 CC 모드, 14[V]~16[V] 범위에서는 CP 모드,

16[V]~16.5[V]에서는 Derating 모드로 동작하며 16.5[V]에서는 동작을 종료한다.

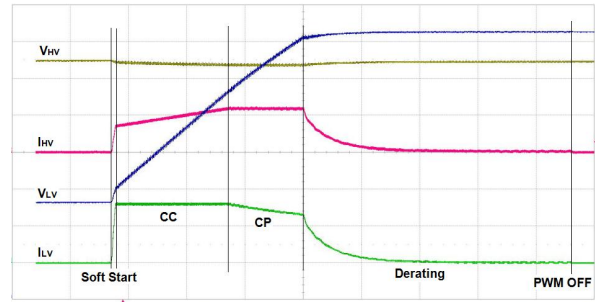


그림5. CC-CP-DT Operation Mode

Buck 모드시 효율 곡선은 그림 6과 같으며 최대 효율은 96.2[%]를 갖는다. 실제 실험에 사용된 양방향 컨버터는 그림 7과 같이 2가지 타입이 존재한다.

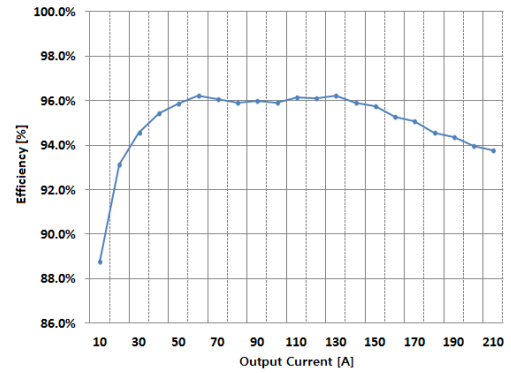


그림6. Efficiency Waveform



(a) Terminal Type

(b) Connector Type

그림7. Efficiency Waveform

3. 결론

대성전기에서 제작한 차량용 3[kW] DC/DC 컨버터는 최적화된 설계로 가격 경쟁력과 우수한 성능을 갖고 있다. 또한 ASIL C 등급에 따라 Safety Concept을 갖고 있으며 Autosar 기반 설계도 가능하다. 더불어 양방향 컨버터에 대한 다수의 특허를 보유하고 있으며 현재 Automotive EMC 규격인 CISPR 25의 Level 5를 맞추기 위한 EMC 설계 진행 중이다.

참고 문헌

[1] Ali Emadi, Young Joo Lee, Kaushik Rajashekara, "Power Electronics and Motor Drives in Electric, Hybrid Electric, and Plug-In Hybrid Electric Vehicles", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 55, No. 6, pp. 2237~45, 2008, June