

# 전기자동차용 2.8kW 양방향 LDC 설계에 관한 연구

황윤경, 남광희  
포항공과대학교

## Study of 2.8kW Bidirectional LDC Development for EV

Yunkyung. Hwang, Kwanghee Nam  
Pohang University of Science and Technology (POSTECH)

### ABSTRACT

본 논문은 전기자동차용 2.8kW 양방향 LDC (Low-voltage DC-DC Converter) 개발에 대한 내용을 다루고 있다. 양방향 토폴로지는 충전소까지 갈 수 있는 전력이 부족할 때 저전압 단에서의 전력을 공유함으로써 위급한 상황을 탈피할 수 있다는 장점이 있다. 양방향 LDC는 변압기에 의한 절연이 가능하고 에너지변환 효율이 높은 Full-bridge DC-DC Converter 방식을 선정하였다. PWM 스위칭 방식은 위상천이방식(Phase Shift PWM)을 사용하였고 기존의 2차측 다이오드를 MOSFET 스위치로 구성하여 양방향 전력전달이 가능하게 하였다.

### 1. 서론

최근 환경규제, 고유가로 인해 전기자동차가 확산됨에 따라 전력변환 장치의 필요성이 연구가 활발하다. 전기자동차에는 모터구동을 위한 고전압 배터리와 차량 내 전자장치를 위한 저전압 배터리가 사용된다. 본 논문의 LDC (Low-voltage DC-DC Converter)는 300V~400V의 고전압 배터리와 12V~15V 저전압 배터리간의 전력전달 장치이다. 일반적인 LDC는 1차측에 Full-bridge 2차측에는 conduction loss를 줄이기 위해 Synchronous rectifier<sup>[1]</sup>가 사용된다. 본 논문은 Full-bridge /Push-pull bidirectional DC-DC Converter<sup>[2]</sup>를 사용하였다 ..

### 2. LDC 설계

#### 2.1 LDC 토폴로지

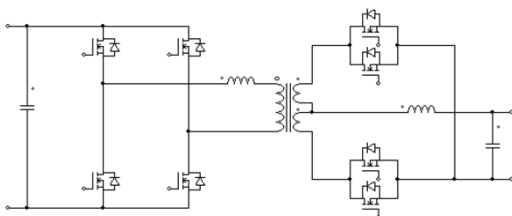


그림 1. 제안된 LDC 토폴로지

그림1은 본 논문에서 사용한 Bidirectional Full-bridge Phase shift 토폴로지를 나타낸다. 2차측을 MOSFET으로 구성하여 양방향 전력전달을 가능하게 하였고 2.8kW 출력을 위해 2차측 MOSFET을 병렬로 구성하였다.

#### 2.2 제어보드 설계

본 논문의 LDC의 제어보드는 전력변환부의 MOSFET을 구동시키고 각종 센서를 통해 전압과 전류를 검출한다. LDC의 제어보드 구성부품은 표1과 같다.

본 논문의 LDC는 전력밀도를 높이기 위해 출력단의 DC-Link로 Film capacitor를 사용하였고 출력단자와 함께 제어보드 안에 구성하였다. 보드 중앙에는 변압기의 공간을 두고 점퍼케이블로 파워보드와 연결을 하여 전력밀도를 높였다. 그림2에 제어보드의 단면도가 제시되어있다.

항목	용도	사양
Power Generator	15V Voltage Booster	15V/ 1W
	5V,3.3V Voltage Regulator	5V/5W 3.3V/5W
MOSFET Driving Circuit	MOSFET Driver	PWM Signal input 15V
	Pulse Transformer	15V PWM Pulse Transducer
Analog Input Circuit	Input Voltage Sensing with Voltage Divider	Active Low Pass Filter by OP-Amp
	Input Current Sensing with CT (100:1)	Active Low Pass Filter by OP-Amp
	Output Voltage Sensing	Active Low Pass Filter by OP-Amp
	Output Current Sensing	Active Low Pass Filter by OP-Amp
Fault Detect Circuit	Temperature Sensing with NTC	Active Low Pass Filter by OP-Amp
	Input Over Voltage Protection	Comparator with Hysteresis by OP-Amp
	Input Over Current Protection	Comparator with Hysteresis by OP-Amp
	Output Over Voltage Protection	Comparator with Hysteresis by OP-Amp
CPU	Output Over Current Protection	Comparator with Hysteresis by OP-Amp
	Digital Controller	16bit with PWM Micro Controller

표 1. LDC 제어회로 구성부품

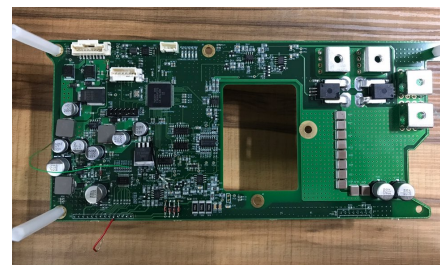


그림 2. LDC 제어보드

### 2.3 변압기 및 인덕터 설계

변압기는 턴비는 15:1로 구성하였고 2차측은 Busbar로 구성하여 고전류를 흐르게 하였다. 인덕터는 1차측 공진 인덕터와 2차측 출력인덕터로 구성되어 있다.

변압기 설계시 자속에 의한 포화가 되지 않기 위해 코어의 재질 및 크기 선정을 해야한다. 변압기의 창면적( $W_a$ )은 코일의 전류밀도( $J$ )를  $3\sim 6A/mm^2$ 으로 선정한 뒤 필요한 면적을 식(1)과 같이 계산하였다.

$$W_a = \frac{N \cdot I}{J} \quad (1)$$

코어의 자속밀도는 단위 단면적( $A_c$ )에 통과하는 자속으로 정하며 주어진 턴수( $N$ )와 전압( $V$ ) 그리고 전압이 가해진 시간 최대자속밀도( $B_{MAX}$ )을 식(2),(3),(4)를 통해 계산하였다. 이를 토대로 변압기 포화 Simulation 결과를 그림3에 제시하였다.

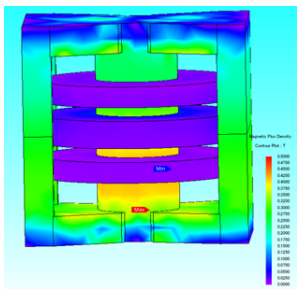


그림 3. LDC 변압기 JMAG Simulation

$$\Delta\Phi = \int \frac{V}{N} dt \quad (2)$$

$$\Delta B \cdot A_c = \frac{V}{N} dt \quad (3)$$

$$A_c = \frac{V}{N} \frac{D}{2B_{MAX}} \frac{T_s}{2} \quad (4)$$

인덕터는 코어의 포화를 피하기 위해 턴수와 단면적을 증가시킬 수 있지만 턴수를 증가시킬 경우 원하는 인덕턴스를 얻을 수 없으므로 air-gap을 주어 원하는 인덕턴스를 확보하였다.

### 2.4 파워보드 설계

파워보드는 1차측 2차측을 나누어 두 개의 보드를 설계하였으며 각 보드는 MOSFET과 MOSFET 구동회로로 구성되어있다. 그림5에 파워보드의 단면도가 제시되어있다.

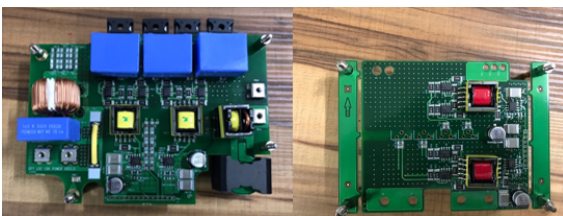


그림 5. LDC 파워보드 1차측 및 2차측

파워보드 구동회로는 그림6와 같이 구성되어있다.

구동회로에는 Pulse Transformer를 사용하여 스위칭 신호를 발생시켰고 Pulse Transformer에 흐르는 전류는 펄스의 방향이 반전되면서,

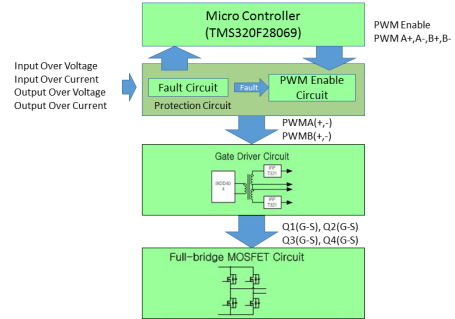


그림 6. MOSFET 구동회로 구성

초기 과도상태에 이를 때마다 많은 전류가 소모되므로 전류용량이 큰 저항소자를 사용하였다. 그리고 저항값 선정에 있어 저항크기에 따라 전압강하로 인해 Pulse Transformer의 1차측 에너지가 2차측으로 전달이 잘 이루어지지 않으므로 값 선정에 유의하였다. 또한 게이트 저항값에 따라 스위칭 턴온시간과 전류제한에 영향을 미치므로 값 선정에 유의하였다. 그림7은 제어보드의 PWM 제어신호 파형과, MOSFET 구동회로의 게이트 전압파형이다.

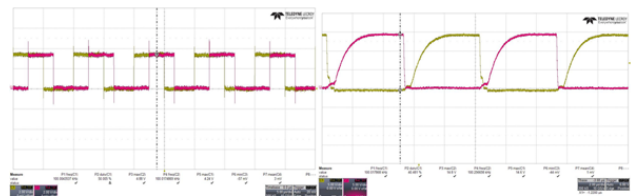


그림 7.1 PWM 제어신호 및 게이트 전압 파형

## 3. 결론

본 논문에서는 전기자동차용 배터리 관련 전력변환 장치의 핵심 기술인 LDC 설계 및 개발에 대해 다루었다.

제안된 LDC는 Bidirectional Full-bridge Phase shift 토폴로지를 사용하여 에너지 변환 효율성과 절연성을 가진다. 또한 2차측을 다이오드에서 MOSFET으로 대체하여 양방향 전력전달을 가능하게 하였다. 본 논문은 LDC 설계과정에 따라 제어보드, 주요부품, 파워보드 설계내용을 제시하였으며 설계 시의 유의사항에 관한 가이드를 제시한다.

이 논문은 한국산업기술평가관리원의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

### 참고 문헌

[1] M.Jovanovic, M. Zhang and F. C. Lee, "Evaluation of Synchronous Rectification Efficiency Improvement Limits in Forward Converters", IEEE Trans. On Industrial Electronis. Vol.42.No.4, pp.387-395, Aug. 1995.

[2] Koji Yamamoto, Eiji Hiraki, Tomokazu Mishima, "Bidirectional DC-DC Converter with Full-bridge/Push-pull circuit for Automobile Electric Power Systems", 2006 37th IEEE Power Electronics Specialists Conference, pp1-5, June, 2006.