

전기자동차용 DC-DC 컨버터 최적설계

권용효, 김승모, 김표수, 김말수, *남광희

포스코 아이씨티, *포스텍

Optimization Design and Implementation of DC-DC Converter(LDC) for Electric Vehicle

Yong-Hyo Kwon, Seung-Mo Kim, Pyo-Soo Kim, *Kwang-Hee Nam

POSCO ICT, *POSTECH

Abstract

This paper presents design and implementation of the LDC(1.8 kW DC-DC Converter for Electric Vehicles). For Implementation of the LDC, the adapted topology is ZVS(Zero Voltage Switching) PSFB(Phase Shift Full Bridge) with Digital Control is adopted. Also, for the purpose of stable operation of the LDC in vehicle with variable electrical load condition, Continuous Voltage and Current Limit Control scheme based on PI controller are developed. According to real-car test mode, the prototype of proposed the LDC is verified with performance and stability. Thus, optimizing design and implement of the LDC are discussed, and experimental results are presented.

1. Introduction

본 논문은 전기자동차에 적용되는 DC-DC 컨버터(LDC: Low-voltage DC power)의 최적설계 방법과 구현을 제시하였다. LDC는 12V 배터리와 헤드램프, 조향장치 등과 같은 전장부하에 전력을 공급하는 역할을 한다. 이에 따라, LDC는 차량의 설치 제약조건을 만족시키기 위해 기기의 소형화와 높은 전력밀도를 요구하며, 차량 전장품의 부하변동과 입력전압 변동에도 안정적인 DC 전압을 출력하여야 한다. 또한, 고온 및 진동환경과 전장부하에 의한 전자파 간섭에 안정적으로 동작하도록 설계하여야 한다. 본 제안된 LDC는 전장부하의 총 용량과 사용빈도에 따른 전기적 용량을 최적으로 설계하고, 이를 바탕으로 구현하였다. 특징으로는 Full Bridge ZVS 토폴로지를 채택하였고, 출력전압의 정전압제어, 과전류 제한을 위한 전류제한 제어를 구현하였다. 또한, 부하시험 및 실차적용시험, 환경시험을 통해 제품의 성능과 신뢰성을 검증하였다.

2. Design

2.1 Electrical and Mechanical

LDC 전원용량은 자동차의 12[V] 전장품 기동에 따른 출력전류의 연속 지속 최대 소모량과 최대 순시(10초간) 지속 최대 소모량에 의해 결정하였다. 연속 지속 최대 전력소모량은 차량의 전조 및 상향등, 전면 및 후면 Wiper, 실내조명등, 실내 최대송풍, 에어컨 가동, 오디오 최대볼륨, 최대주행속도(150[km/h])의 연속동작을 가정하여 조합한 전력량을 의미한다. 최대 순시 지속 가능 전력소모량은 10초 이내 시간에서 조향장치(Steering) 동작, 4개의 Power Window Up/Down 동시동작, 그리고 제동장치(Braking) 동작과 연속 지속 최대전력소모량을 합한 값으로 규정하였다. 이에 의해 제안된 LDC의 전원용량은 1.8[kW]로 선정하였다. 제안된 LDC의 토폴로지는 Full-

Bridge DC-DC Converter방식을 채택하였고, FET소자의 소프트스위칭을 위해 Resonant Inductor를 이용하여 ZVS(Zero Voltage Switching)를 구현하였다. 또한, PWM 스위칭 방식은 위상천이방식(Phase Shift PWM)을 적용하였다. Fig 1은 차량에 장착된 제안된 LDC의 전체 구성을 나타내고 있고, Table 1은 전기적 사양을 나타내었다. 또한 LDC의 주회로를 구성하는 주요 소자사양은 Table 2에 정리하였다.

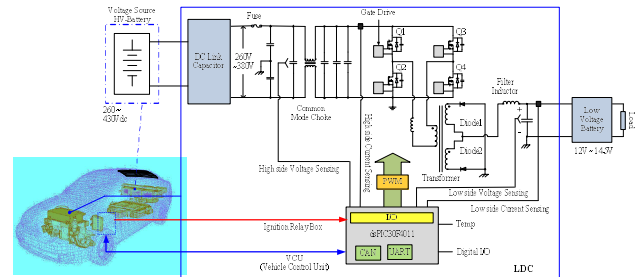


Fig. 1 The proposed LDC in electric vehicle.

Parameters	Value	Unit	Remark
Rated Power	1.8	[kW]	
Input Voltage	260 ~ 450	[V]	Nominal Voltage: 360V
Output Voltage	12 ~ 14.5	[V]	
Max Output Current	130	[A]	@13.9[V]
Switching Frequency	100	[kHz]	
Efficiency	92	[%]	@600W
Coolant	Water		

Table. 1 Specification of the proposed LDC.

Component	Parameters	Value	Unit
Transformer	Turn Ratio	14:1	
	Mutual Inductance	1.3	[mH]
	Leakage Inductance	5	[µH]
Resonant Inductor	Inductance	2	[µH]
	Turn Ratio	2	[turn]
Output Inductor	Inductance	3.5	[µH]
	Turn Ratio	5	[turn]
Output Capacitor	Capacitance	110	[µF]
Output Impedance	Equivalent Impedance	0.1	[ohm]

Table. 2 Main Component Parameter of the proposed LDC.

2.2 Digital Controller with 16bit MPU

자동차에 적용되는 LDC는 차량의 상위제어기인

VCU(Vehicle Control Unit)와의 CAN 통신과 연동하여 동작된다. 이를 통해 LDC의 기동/정지수행, 과전류 및 과전압과 같은 이상상태 발생시 보호/차단, 그리고 입출력 전압 및 전류와 온도 등의 AD센싱 정보를 VCU에 전달하여 모니터링한다. 제안된 LDC의 제어 성능은 Table 3에 나타내었다.

Parameter	Function
전압/전류 센서	Tolerance $\pm 1\%$ Err (@정격 전압/전류)
온도 센서	Temperature 측정 $\pm 5\%$ 오차 (@100도)
PWM 신호	PWM freq: 100kHz, Dead time: 600ns
CAN 통신	CAN V2.0B, 500kbps
보호동작	Fault 신호시 PWM 신호 차단 시간 : 3 μ s
제어방식	정전압 PI제어/ 전류제한제어
MPU	dsPIC30F4011(16bit Micro Processor)

Table 3 Main Component Parameter of the proposed LDC.

3. Results

3.1 Implementation

본 제안된 LDC는 전기자동차의 구동을 위한 인버터가 포함된 PCU(Power Conversion Unit) 외함와 함께 내부에 배치된다. 차량 적용에 있어 진동, 온도, 그리고 전자파 간섭에 영향을 최소화한 받도록 구현하였으며, 효율은 정격전압인 360V와 600W 부하조건에서 최대 92%를 만족한다. Fig 2는 실제 제작된 LDC와 효율곡선을 나타낸다.

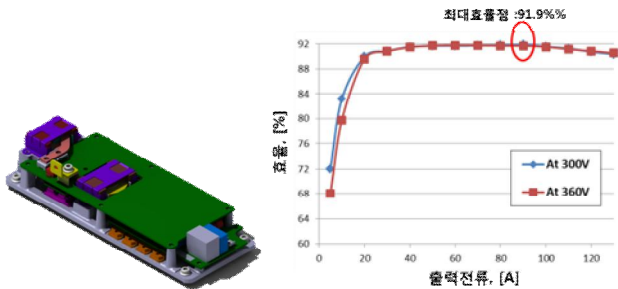


Fig. 2 Overall feature and Efficiency graph of the LDC.

3.2 Verification

3.2.1 Performance Test in Lab

제작된 LDC의 주요동작파형 및 ZVS 성능은 FET단의 게이트와 소스단의 전압, 드레인과 소스단의 전압, 1차측 트랜스포머 전류를 이용하여 측정하였다. Fig 3을 통해 나타내었다.

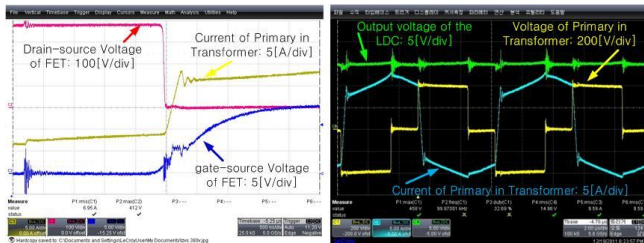


Fig. 3 Waveforms of the LDC.

3.2.2 Application of Retrofit Car

본 LDC의 차량 장착시험은 실제 차량 구동조건에 따라 진행되었다. 차량의 12[V] 저전압 배터리와 전장부하 기동에 따라 부하량이 가변 되었으며, 이때 LDC 출력전압이 제어 됨을 확인하였다. 차량의 기동에서부터 정지시 까지 부하가변에 의한 LDC 출력전압 제어결과는 Fig 4에 나타난 것과 같이 디지털 제어에 의해 출력전압이

일정하게 제어됨을 보여주고 있다.

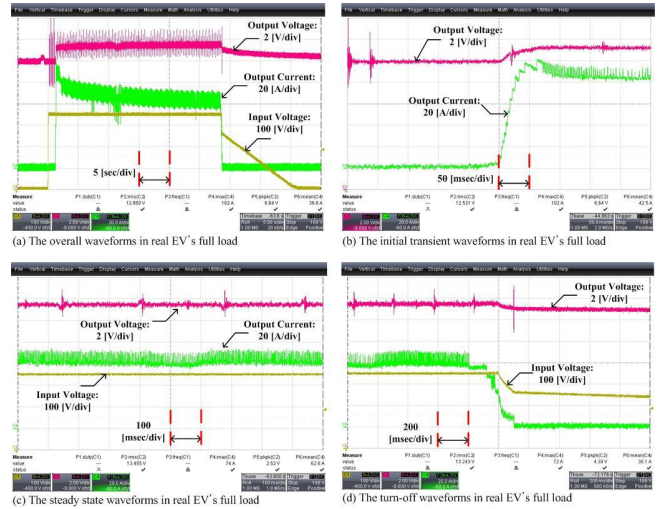


Fig. 4 LDC performance results in retrofit car.

4. Conclusion

본 논문에서는 전기자동차에 적용되는 1.8kW급 DC-DC 컨버터인 LDC의 설계와 구현, 그리고 시험결과를 서술하였다. 차량에 적용되는 제품 특성에 맞추어 설계용량을 산정하였고, 높은 전력밀도를 갖는 소형 고출력 성능을 구현하기 위해, 최적의 코어선정과 부품배치가 이루어졌다. 또한 차량 진동, 급격한 온도변화, 차량전장품과의 전자파 간섭과 같은 외부환경에 안정적 동작이 이루어 질 수 있도록 기구물 설계 및 제작이 이루어졌다. 제품의 신뢰성을 위해 고온/저온 방치시험, 열충격시험, 전자파시험, 부하가변시험 등을 수행하였으며, 최종적으로 차량장착을 통해 제작된 LDC의 성능을 확인하였다.

Reference

- [1] David R. Lopez-Flores, Jose L. Duran-Gomez, Roberto Herrera-Salcedo and Jose A. Pineda-Gomez, "Analysis and Design of a Simple Digital Control Algorithm for a Phase-Shift Full-Bridge DC-DC Power Converter", CIEP 2010
- [2] Jung-Goo Cho, sabate. J. A, Guichao Hua, "Zero-voltage and zero -current switching full bridge PWM converter for high-power applications'. IEEE Transactions on Power Electronics, 1996, 11(4): 622-628
- [3] Keith Billings, "Switch Mode Power Supply Handbook", Mc Grew Hill