

3kW급 전기자동차용 직류변환장치 개발

이동렬, 박준우, 강찬호*, 홍성수
국민대학교 전력전자 연구소, (주)이지트로닉스*

Development of 3kW Low Voltage DC-DC Converter for Electric Vehicle

Dong Ryul Lee, Jun Woo Park, Kang Chan Ho*, Sung Soo Hong
Kookmin University Power Electronics Center, EGTRONICS Co.,Ltd.*

ABSTRACT

본 논문은 전기자동차에 사용되는 배터리 충전기로서 3kW 급 고효율 저전압 직류변환장치(LDC : Low Voltage DC DC Converter) 개발에 관하여 기술한다. 토폴로지(Topology)는 LDC에 적합한 강압형 컨버터로서 전류를 분산시켜 효율증대가 가능한 다중 위상 벅 컨버터(Multi phase Buck Converter) 구조를 채택하였다. 제안된 방식은 결합 인덕터(Coupled Inductor)를 사용하여 부피를 저감시킬 수 있으며, 디지털 제어를 이용하여 상위 제어기와의 통신을 할 수 있는 장점이 있다. 본 논문에서는 제안된 방식의 타당성을 검증하기 위하여 이론적으로 분석하며, 3kW급 시제품을 제작하여 제안방식의 타당성을 검증하였다.

1. 서 론

전국적으로 자동차 보급량이 늘어나고, 이로 인하여 지구 온난화의 원인 중 하나인 이산화탄소 배출량이 늘고 있어 기존의 내연기관 자동차를 대체하기 위한 노력이 필요하다. 이를 해결하기 위하여 친환경 자동차 개발이 활발하게 이루어지고 있으며, 자동차의 스마트화에 따라 요구되는 전장이 증가하여 전력변환장치의 용량도 증가되었다. 따라서 차량 내 전장시스템에 에너지를 공급하기 위해 고전압으로부터 저전압 배터리를 충전시키는 대용량 저전압 직류 변환 장치(LDC)의 개발이 요구된다. LDC는 차량에 탑재되기 때문에 차체 중량 감소 및 연비향상을 위한 소형·경량화 기술이 중요하며, DC DC 컨버터의 고효율이 요구된다. 따라서 본 논문에서는 3kW급 고효율 저전압 직류변환장치 개발에 관하여 기술한다. 제안된 방식은 능동 소자의 전류 스트레스를 줄이기 위하여 다중 위상 벅 컨버터^[1]를 사용하며, 부피 및 무게를 저감시키기 위해 결합 인덕터를 사용한다. 위상 수를 증가시키면 전류가 분산되기 때문에, 도통손실 감소로 인하여 고효율 달성에 유리하고 스위칭 소자에 전류 스트레스 및 출력 캐패시터의 RMS 전류 크기를 감소시킬 수 있다. 또한, 열을 분산시킬 수 있는 구조이므로 원활한 방열효과를 얻을 수 있는 장점이 있다. 그리고 결합 인덕터^[2]를 사용하여 컨버터의 부피를 줄이고 하나의 제어기로 커풀링 된 두 상의 전류를 제어하여 제어기의 수를 저감할 수 있다.

2. 본 론

2.1 다중 위상 벅 컨버터

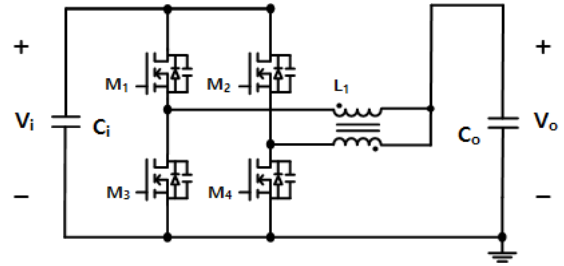


그림 1 커플드 인덕터를 적용한 인터리브드 벅-컨버터
Fig. 1 Interleaved Buck-Converter with Coupled Inductor

그림 1은 결합 인덕터를 사용한 다중위상 인터리브드 벅 컨버터(Multi Phase Interleaved Buck Converter)이며, 도통손실을 줄이기 위하여 동기 정류 스위치를 사용한다. M1과 M2는 180도 위상차를 유지하고, M1과 M3, M2와 M4는 상보적으로 ‘온’, ‘오프’ 동작을 한다. 그림 2는 그림 1의 다중위상 인터리브드 벅 컨버터 3개를 병렬로 연결하여 독립적인 3개의 결합 인덕터를 사용한 6상 벅 컨버터이다. 각 스위치의 동작은 인터리브드 벅 컨버터와 동일하고 스위치 M1, M5, M9는 서로 60도의 위상차를 유지하며 동작하도록 제어한다.

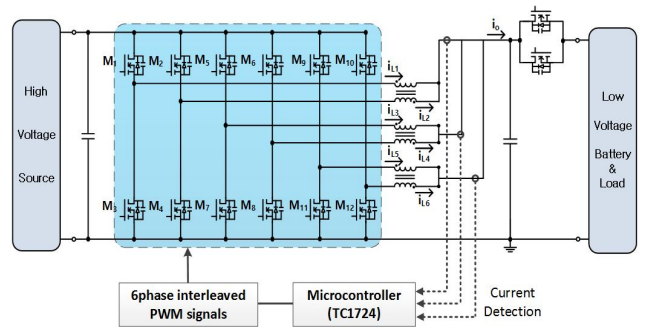


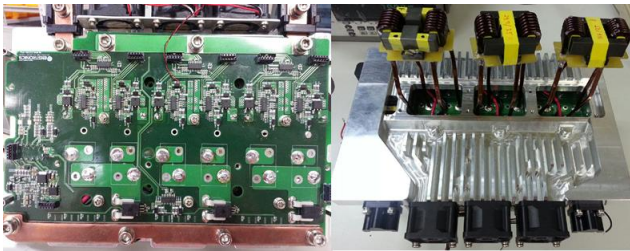
그림 2 6상 벅 컨버터와 제어 블록도
Fig. 2 6-Phase Buck-Converter and Control Block Diagram

2.2 제어 방법

그림 2와 같이 결합 인덕터를 사용하는 다중위상 인터리브드 벡 컨버터는 시비율의 절반이 되는 지점에서 인덕터 전류를 검출하여 각 상의 평균 전류를 제어한다. 각 상마다 시 비율이 차이가 날 경우, 커플링 된 두 상의 전류 균형이 맞지 않게 되어 전류 불 평형 및 자화소자 포화 등의 문제를 유발할 수 있다. 따라서 정확한 제어를 위해 MCU(Micro Controller Unit)를 사용하여 각 스위치의 시비율을 계산하고 각각의 커플링 된 두 상에 동일한 시비율로 스위치를 턴 온/턴 오프 하여 전류 불균형 문제를 해결할 수 있다. 또한 MCU를 사용하면 차량의 상위제어기인 VCU(Vehicle Control Unit)와 CAN(Controller Area Network)통신을 연동하여 과전류 및 과전압과 같은 이상 상태 발생 시 보호 동작, 입-출력 전압 및 전류, 온도 등의 ADC(Analog Digital Convert) 정보를 모니터링 할 수 있는 장점이 있다.

3. 실험 결과

본 논문에서는 결합 인덕터를 사용한 인터리브드 방식의 3kW급 다중위상 벡 컨버터를 그림 3과 같이 제작하였다. 동작 원리 및 특성을 확인하기 위해 시작품을 제작하여 실험을 수행하였으며 실험사양은 표 1과 같다.



(a) 시제품 사진1 (a) Prototype Picture 1
(b) 시제품 사진2 (b) Prototype Picture 2

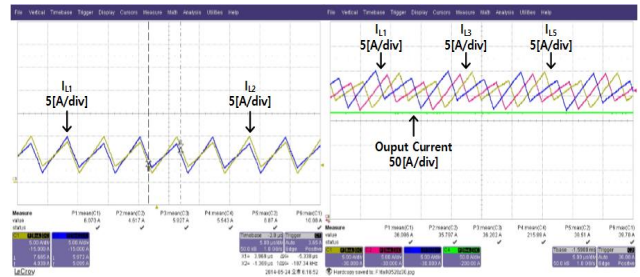
그림 3 제작한 LDC 시제품 사진
Fig. 3 LDC Prototype Picture

표 1 LDC 주요 사양
Table 1 Specification of LDC

Input Voltage (V_{in})	24~58VDC
Output Voltage (V_o)	10~16VDC
Output Power (P_o)	3kW
Switching Frequency (f_s)	83kHz
Output Capacitance (C_o)	330uF(25V)
Inductance (L_k)	3.5uH
Coupling Factor	0.9

그림 4(a)는 입력 전압 40V, 출력 전력 0.5kW시 인덕터 전류 파형이며, 그림 4(b)는 입력 전압 40V, 출력 전력 3kW시 인덕터 전류 파형이다. 그림 4를 통하여 각 결합 인덕터의 출력 전류만을 검출해서 제어하여도 전류평형이 이루어지는 것을 확인할 수 있다. 그림 5는 입력전압 40V에서 효율 곡선이다. 낮은 출력 전력에서는 스위칭에 의한 전력 손실이 우세하고 출력 전력이 증가함에 따라 도통손실의 영향이 커지는 것을 확인할 수 있다.

할 수 있다.



(a) 0.5kW 시 IL1, IL2 파형 (b) 3kW 시 IL1, IL3, IL5 파형

그림 4 결합 인덕터의 주요 전류 파형
Fig. 4 Coupled Inductor Current Waveform

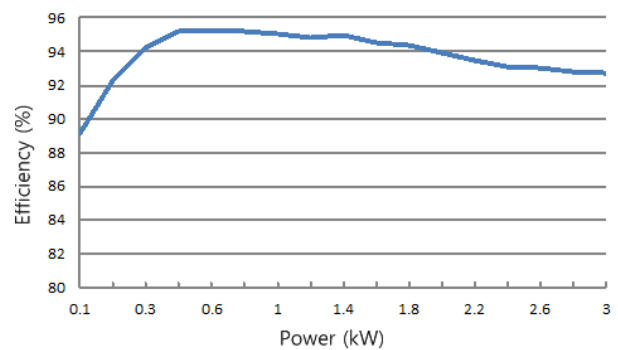


그림 5 LDC 효율 곡선
Fig. 5 Efficiency Curve of LDC

4. 결론

본 논문에서는 결합 인덕터를 사용한 다중위상 벡 컨버터로 전기자동차에 사용되는 3kW급 저전압 직류 변환 장치의 구동 방식을 제안하였다. 인덕터에 흐르는 전류 첨두치와 출력 커패시터의 전류 실효치 크기를 감소시켜 고효율 및 부피를 저감시킬 수 있으며, 결합 인덕터를 공유한 상의 출력 전류만을 검출하여 제어함으로써 소자 수를 저감 시키고 제어루프의 수를 줄일 수 있다. 최종적으로 실험을 통해 제안된 방식의 타당성을 검증하였다.

본 연구는 이지트로닉스 및 교육부와 한국연구재단의 BK21플러스 SSEV 특화 전문 인력 양성 지원사업의 연구 결과로 수행되었음. (31Z20130012993)

참고 문헌

- [1] M.Omameswari, Y. Thiagarajan, and C. T.S.Sivakumaran "Interleaving Technique in Multiphase Buck & Boost Converter", ACEEE Int. J. on Control System and Instrumentation, Vol. 03, No. 02, March 2012
- [2] J.P. Lee, H.N. Cha, D.S. Shin, K.J. Lee, D.W. Yoo, J.Y. Yoo "Analysis and Design of Coupled Inductors for Two Phase Interleaved DC DC Converters", Journal of Power Electronics, Vol. 13, No. 3, May 2013