

전기자동차용 LDC 모듈의 병렬 운전

박현석¹, 강선두¹, 엄태호², 원충연²
 현대오트론¹, 성균관대학교²

The parallel operation of LDC module for electric vehicle

Hyun Seok Park¹, Sun Doo Kang¹, Tae Ho Eom², Chung Yuen Won²
 Hyundai Autron¹, Sungkyunkwan University²

ABSTRACT

본 논문은 전기자동차용 고전압 배터리에서 차량용 저전압 배터리를 충전하는 분산형 LDC 모듈의 병렬 운전에 대해 기술한다. 제안하는 LDC 모듈은 각각의 고전압 배터리 모듈마다 적용되며, 소용량의 PCB 타입으로 제작되었다. 이는 전기자동차에서 요구하는 배터리 용량에 따라 다병렬로 구성할 수 있는 용이함을 가진다. 실험을 통해 분산형 LDC 모듈의 병렬 운전을 확인하고, 부하량에 따른 효율을 검증하였다.

1. 서론

기존 전기자동차의 LDC(Low voltage dc dc converter)는 용량에 관계없이 일체형 시스템으로 구성되었다. 이와 같은 구조로 인하여 전기자동차의 원가 중 많은 부분을 차지하는 고전압 배터리(High voltage battery)의 모듈 간 불평형으로 인하여 수명저하의 문제가 발생할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 분산형 LDC의 병렬 구성을 통한 운전 방법을 제안하고 실험을 통해 병렬 동작과 효율을 검증하였다.

고전압 배터리는 다수의 모듈이 직렬로 구성되어 있는 형태로 LDC는 각 고전압 배터리의 모듈마다 연결되어 동작한다. 또한, 각 LDC의 출력은 12V의 저전압 배터리에 병렬로 연결되는 ISOP(Input serial output parallel) 방식으로 구성되었다. LDC 모듈은 고전압 배터리의 모듈 간 밸런싱 제어를 위하여 각각 제어된다. 또한 병렬 운전에서 부하 가변에 대해 빠른 응답성과 각각의 LDC 모듈 간 낮은 전류 편차를 갖는다.^[1]

2. LDC의 병렬 운전 시스템

2.1 LDC의 병렬 시스템 구성

그림 1은 병렬로 구성된 분산형 LDC의 시스템 구성을 나타낸다. LDC의 입력 측은 25V의 전압을 가지는 고전압 배터리이고 LDC 출력 측은 12V를 가지는 저전압 배터리이다. 실험 대상의 고전압 배터리는 200V로 25V의 배터리 모듈 8개의 직렬 결선 구성을 가진다. 또한, 각 LDC 모듈의 정격을 150W로 설계하였으며, 출력 사양은 12V, 12.5A를 갖는다. LDC 모듈을 8개 구성할 시 1.2kW의 사양을 갖는다. 이러한 LDC 모듈은 기존의 일체형과 달리 소용량으로 동작하여 운전 중 발생하는 손실을 최소화함으로써 효율 개선, 발열 감소 및 사이즈 최적화 등의 장점을 갖는다.

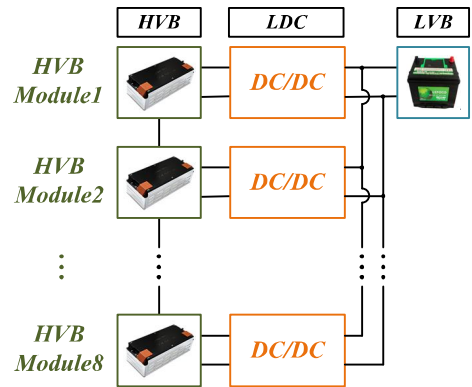


그림 1. LDC 모듈의 시스템 구성
 Fig. 1. The system configuration of LDC modules

2.2 분산형 LDC의 병렬 운전 제어

본 논문에서는 ACFC(Active clamp forward converter)를 LDC의 토폴로지로 구성하였다. 그림 2는 ACFC로 구성된 LDC 모듈의 3병렬 회로 구성을 나타낸다. 각 LDC 모듈의 입력 측은 고전압 배터리의 모듈과 결선되어 있으며, 출력 측은 저전압 배터리와 결선되어 있다. 변압기는 Pulse 社의 PA0801 소자가 사용되었으며, 1:1:1의 턴 비로 구성되었다.

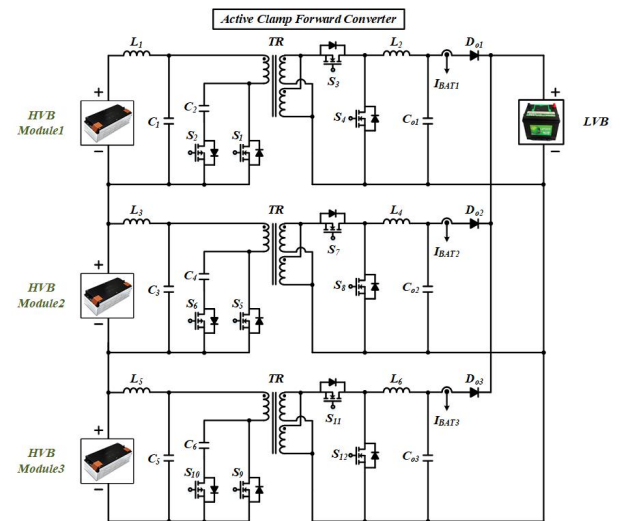


그림 2. LDC 모듈의 3-병렬 회로 구성
 Fig. 2. The 3-parallel circuit configuration of LDC modules

일반적인 포워드 컨버터는 변압기의 3권선을 이용하여 자화 인덕터의 에너지로 인한 포화를 방지한다. 그러나 전류의 누적을 방지하기 위해 스위칭 신호의 듀티 폭을 50% 이하로만 사용해야 되며, 추가로 구성되는 회로에 의하여 손실이 발생하는 문제가 있다. ACFC는 변압기의 포화를 방지하기 위한 방법으로 액티브 클램프 회로를 구성하여 자화 인덕터의 에너지를 입력 측 전원으로 되돌리도록 하였고 변압기 2차 측의 다이오드 정류기와 환류 다이오드를 동기식 스위치로 구성함으로써 LDC 시스템의 도통손실을 저감하였다. 그리고 스위칭 손실에 대한 대책 방안으로 모든 스위치가 ZVS 동작을 수행하도록 하였다. 그림 3은 ACFC의 제어 블록도를 나타낸다. 출력 측은 저전압 배터리로 구성되기 때문에 출력 전류를 검출하여 전류 제어를 수행한다.

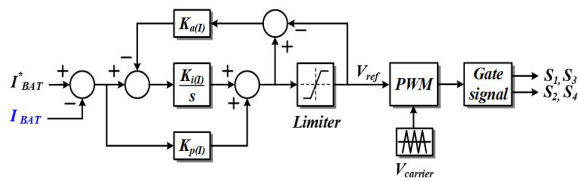


그림 3. ACFC의 제어 블록도
Fig. 3. Control block diagram of ACFC

3. 실험 결과

표 1은 실험에 적용한 시스템 파라미터를 나타낸다. 시스템 정격은 LDC 모듈 당 150W의 3병렬인 450W이다. 각 LDC 모듈의 입력 전압은 고전압 배터리의 모듈 전압으로 25V이며, 출력 전압은 저전압 배터리의 전압으로 12V이다. 또한 스위칭 주파수는 250kHz로 동작한다.

표 1. 분산형 LDC 시스템의 실험 파라미터
Table 1. Experiment parameters of distribution LDC system

항목	값	단위
시스템 정격	450	[W]
입력 전압	25	[V]
출력 전압	12	[V]
출력 전류	37.5	[A]
입력 측 인덕터	1.5	[μH]
입력 측 커패시터	0.7	[μF]
클램프 커패시터	1	[μF]
자화 인덕터	100	[μH]
출력 측 인덕터	8	[μH]
출력 측 커패시터	22	[μF]
스위칭 주파수	250	[kHz]

그림 4는 본 논문에서 제안하는 분산형 LDC 시스템의 하드웨어 구성을 나타낸다. 입력 측은 BMS(Battery management system)를 포함한 고전압 배터리의 모듈로 구성되었으며, 출력 측은 납 배터리의 저전압 배터리로 구성되었다. LDC는 PCB 타입으로 제작되어 3병렬로 구성되었다. MCU(Micro controller unit)의 프로세서로는 TI社의 TMS320F28335가 사용되었다.

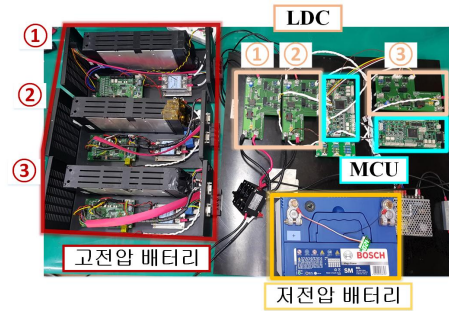


그림 4. 분산형 LDC 시스템의 하드웨어 구성
Fig. 4. Hardware configuration of distribution LDC system

그림 5는 분산형 LDC의 3병렬 운전에서 각 모듈의 출력 전류 파형을 나타낸다. 그림 6은 부하량에 따른 효율 곡선이며, 최대 효율은 약 70%의 부하에서 96.32%로 측정되었다.

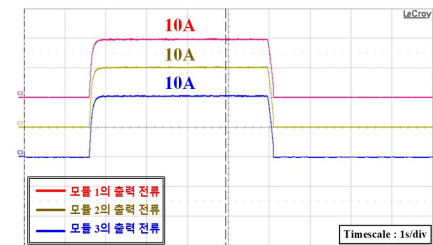


그림 5. 3-병렬 운전에서 부하량 변동에 따른 출력 전류 파형
Fig. 5. Output current waveforms according variable load in the 3-parallel operation

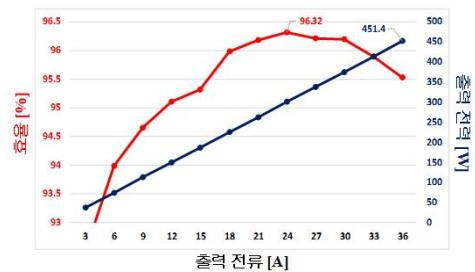


그림 6. 3-병렬 운전에 대한 효율 곡선
Fig. 6. Efficiency curve to the 3-parallel operation

4. 결론

본 논문에서는 기존의 일체형 LDC와 달리 분산형 LDC를 3병렬로 구성하였다. 전체 450W의 병렬 LDC 시스템을 구성하여 실험을 진행하였으며, 부하 가변에 따른 빠른 응답성과 낮은 전류 편차를 확인하였다. 또한 효율 측정 결과로 96.32%의 최대 효율을 검증하였다.

참고 문헌

[1] Bor Ren Lin, Kevin Huang and David Wang, "Analysis, design, and implementation of an active clamp forward converter with synchronous rectifier," IEEE Transactions on Circuit and Systems Part 1 : Regular Paper, vol. 53, pp. 1310 1319. June 2006.