

EVs/PHEVs용 Bidirectional-LDC 일체형 Onboard Battery 충전시스템 제어알고리즘

김운성, 오창열, 성원용, 이병국*
성균관대학교 정보통신대학

Control Algorithm of Bidirectional-LDC Integral Onboard Battery Charging System for EVs/PHEVs

Yun Sung Kim, Chang Yeol Oh, Won Yong Sung, Byoung Kuk Lee*
College of Information & Communication Engineering Sungkyunkwan University

ABSTRACT

본 논문은 EVs/PHEVs에 사용되는 Bidirectional LDC 일체형 OBC의 회로구조 및 동작특성 분석결과를 보고한다. 설계된 OBC는 한 개의 트랜스포머와 히트싱크를 LDC 회로와 공유하며, OBC의 출력 측 브릿지 방식의 정류회로는 LDC 동작 시 양방향 운용이 가능하다. 논문에서는 배터리 충전 조건에 따른 적합한 동작모드 제어 알고리즘을 분석하고 검증에 위한 프로토타입의 시험결과를 보고한다.

기존 OBC는 가정용 충전인프라 전력을 고려하여 3.3~6.6kW로 설계되며 이 경우 효율 및 실장성능 등을 만족할 수 있는 평균전류모드 제어 방식의 Boost PFC나 Interleaved Boost PFC를 일반적으로 적용한다. 한편 DC DC Converter부는 고효율 성능을 만족하기 위해 스위칭 손실을 개선 할 수 있는 공진 및 준공진 토폴로지가 주로 적용되며 높은 효율성과 안정적인 동작특성을 기대 할 수 있는 PSFB(Phase Shift Full Bridge)의 적용이 가장 적합하다.^[1] 본 논문에서는 설계한 일체형 OBC의 DC DC Converter부의 특성을 분석한다.

1. 서론

최근 EVs(Electric Vehicle), PHEVs(Plug In Hybrid Electric Vehicle)에 사용되는 OBC(Onboard Battery Charger)와 LDC(Low Voltage DC DC Converter)에 대한 많은 연구 및 개발사례가 보고되고 있다. 이러한 개발사례의 경우 독립형 고성능 토폴로지의 적용은 상당부분 일반화 되었고, 최근엔 각 장치간의 전달손실, 방열효율, 내구성능 최적화를 위해 일체형 설계에 많은 관심이 모아지고 있다. 반면 일체형 구조는 Inverter와 LDC, HDC(High Voltage DC DC Converter) 등의 방열 기구물을 공유하여 발열 및 배선 최적화에 한정되어 있었다. 따라서 본 논문에서는 EVs용 OBC와 LDC의 물리적인 일체형 구조의 개선연구를 위하여 각 장치의 회로부품을 공유하는 회로 및 기구 일체형으로 구성하고 특히 LDC의 경우 OBC의 출력회로와 LDC의 입력회로를 공유하는 양방향 운용이 가능한 구조로 설계하였다. 또한 이러한 회로공유방식 일체형구조의 장점을 향상시키기 위해 고전압배터리 충전모드, 저전압배터리 충전모드, 동시충전모드 등 배터리 상태에 따른 효율적인 알고리즘을 연구하였으며, 각 모드에 따른 트랜스포머 특성 분석을 연구하였다.

2. Bidirectional-LDC Integral OBC

2.1 Circuit Structure

그림 1은 Bidirectional LDC 일체형 OBC(이하 일체형 OBC)의 기본 회로도이다. OBC는 Part 1과 같이 계통전원을 공급받아 역률개선 및 DC승압을 목적으로 하는 Boost PFC회로부와 DC Link 전압을 배터리에서 요구하는 가변 가능한 충전전압으로 변환하는 DC DC Converter부로 구성된다. 이때

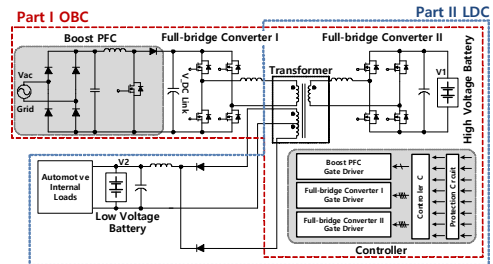


그림 1 Bidirectional-LDC 일체형 OBC 회로
Fig. 1 Bidirectional-LDC Integral OBC Circuit

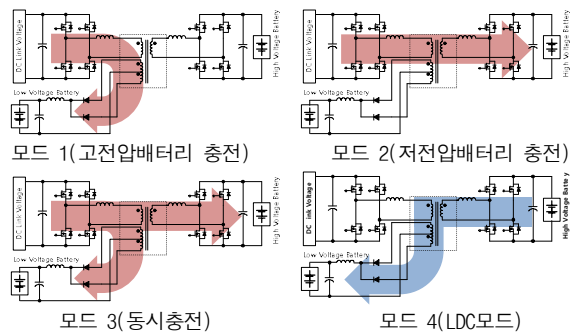


그림 2 충전모드별 전력 Flow
Fig. 2 Power Flow at each Charge Mode

2.2 Operation Mode

그림 2는 각 충전모드에 따른 전력흐름이다. 모드 1, 2, 3은 계통전력을 공급받는 OBC모드이며 이때 모드 1은 고전압 배터리충전, 모드 2는 저전압 배터리충전, 모드 3은 교번제어를 통한 동시충전모드이다. 모드 4는 고전압 배터리전력을 사용하여 저전압 배터리를 충전하는 LDC모드이다. 그림 3은 각 모드의 제어알고리즘을 나타내며 기존 독립형 OBC, LDC의 전압제

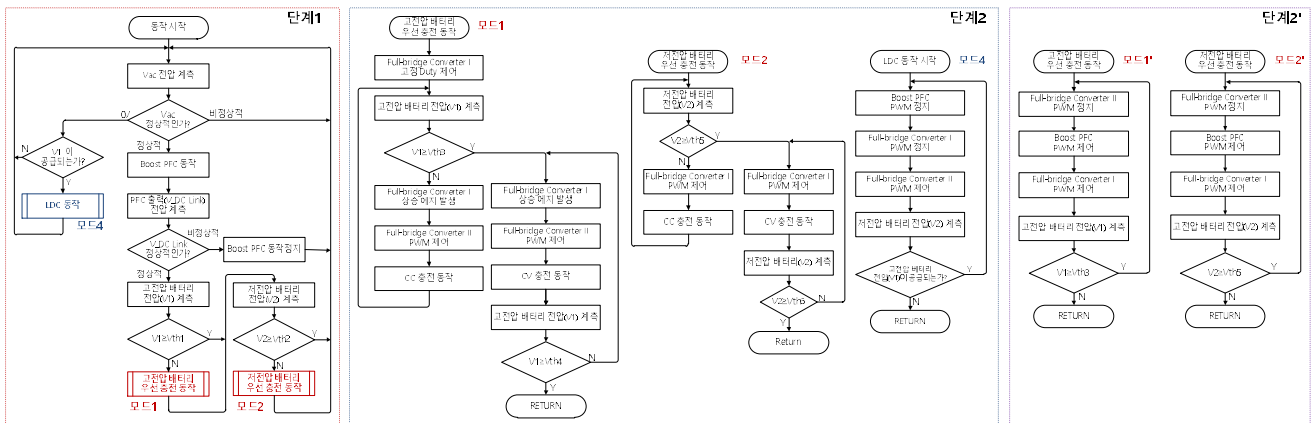


그림 3 충전 모드별 제어 알고리즘
Fig. 3 Control Algorithm at each Charge Mode

이 알고리즘 및 CC/CV 교번제어 알고리즘에 기초한다. 제어 알고리즘은 가장먼저 상태 1에서 계통전원의 유무, 차량운행 상태에 따라 Boost PFC 회로부의 동작을 결정한다. PFC회로의 동작 중에는 각 배터리의 전압상태에 따라 고전압배터리 충전과 저전압배터리 충전모드를 결정하며 각 충전모드는 상태 2와 같이 세부적으로 CC/CV모드로 선택된다. 고정충전 및 고속충전을 위해서 상태 2'의 1', 2'과 같이 고정전압 제어도 가능하다. 반면 계통전원공급이 없는 차량운행 상태에는 OBC 회로부는 정지되고, LDC 회로부의 가변 전압제어가 동작된다.

2.3 Simulation and Prototype

일체형 OBC의 트랜스포머는 포워드 멀티와이어 구조이기 때문에 직접제어가 되지 않은 권선 측 유기전압 전위의 허용범위를 제한해야 한다. 특히 모드 3의 동시충전 상태를 제외한 대부분의 동작구간에서 비 제어 권선 측 유기전압은 시스템의 내구성능을 저하시킬 수 있다. 따라서 입출력 이득에 근거한 권선비 범위 내에서 추가 분석이 필요하다.

증을 위한 PSIM시뮬레이션 회로도와 시뮬레이션을 통해 샘플링된 권선비의 유기전압 범위를 확인한 결과이다. 각 모드 동작 시 비 제어 권선 측 유기전압 전위의 크기가 반비례하는 것을 확인할 수 있다. 그림 5는 특성검증을 위한 프로토타입의 외관 및 유기전압 측정 시험결과이다. 동일 턴 비의 시뮬레이션 결과와 유기전압크기는 차이가 있으나, 양상은 동일한 것을 확인 하였다.

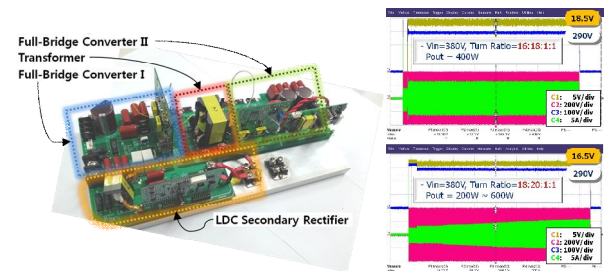


그림 5 OBC 프로토타입 및 트랜스포머의 턴 비별 유기전압
Fig. 5 OBC Prototype and Abandoned Voltage at each Turns Ratio of Transformer

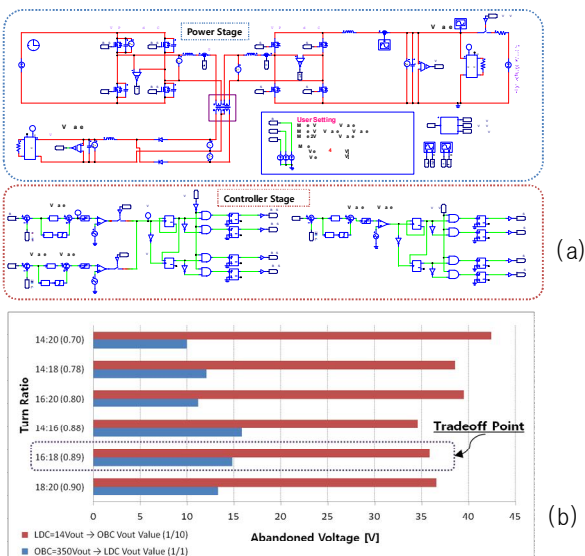


그림 4 PSIM 시뮬레이션 회로도(a) 및 유기전압 결과(b)
Fig. 4 PSIM Simulation Circuit(a) and Abandoned Voltage Result(b)

그림 4는 이러한 권선비 및 파워부 기생성분, 동작주파수 등 동작 파라미터를 고려한 상호유기전압 및 제어 알고리즘의 검

3 결론

본 논문에서의 HVs/PHEVs에 적용되는 OBC와 LDC를 일체형 구조로 설계하였다. 특히 한 개의 트랜스포머로 구성되어 계통전력의 유무와 배터리 충전상태에 따라 고전압배터리 충전 모드, 저전압배터리 충전모드, 동시충전모드, LDC충전모드, 그리고 CC/CV충전모드로 동작하는 제어 알고리즘을 소개하였다. 또한 제어 알고리즘 시퀀스분석 및 동작특성 분석을 위해 프로토타입과 동기화된 PSIM 시뮬레이션 플랫폼을 작성하였다. 현재 본 연구는 제어 알고리즘 시퀀스 최적화 및 일체형 자성소자구조에 대한 분석이 진행되고 있다.

Acknowledgment

본 연구는 지식경제부 지원 하에 수행된 산업원천기술 개발사업 (No. 10039318)의 연구결과입니다.

참고 문헌

[1] O.D. Patterson and D.M Divan, "Pseudo resonant full bridge DC/DC converter" in proc. IEEE PESC'87 Rec., pp. 424 430, 1987.