

# 새로운 역률보상회로를 적용한 플러그인 하이브리드 전기차 탑재용 완속 충전기

김성혜, 이주영, 강필순  
한밭 대학교

## On-board charger equipped with new power factor corrected circuit for plug-in hybrid electric vehicle

Seong hye Kim, Ju young Lee, Feel soon Kang  
Hanbat National University

### ABSTRACT

본 논문은 새로운 역률보상회로를 적용한 플러그인 하이브리드 전기 자동차 탑재형 완속 충전기(On Board Charger, OBC)를 제안한다. 제안하는 완속 충전기용 역률보상회로(Power Factor Correction, PFC)는 기존의 부스트 컨버터를 기본으로 하는 역률보상회로와 동일한 개수의 회로 부품과 입·출력전압 관계를 가진다. 회로 구조상 전파 정류된 DC 전압을 저장하는 입력 커패시터와 입력 인덕터의 에너지가 저장되는 출력 커패시터가 직렬 결합되어 DC link 전압을 형성하므로 출력 커패시터의 동작전압(Working voltage)을 낮출 수 있어 단가절감이 가능하다. 제안된 역률보상 회로를 적용한 플러그인 하이브리드 전기 자동차 탑재형 완속 충전기에 대한 동작 특성을 해석하고 시뮬레이션을 통해 타당성을 검증한다.

### 1. 서 론

친환경 자동차의 연구개발과 수요가 증가함에 따라, 상용전 원으로부터 배터리를 충전하는 플러그인 하이브리드 자동차(PHEV)용 탑재형 완속 충전기(OBC)는 소형경량화 및 고효율화 기술이 요구된다. 이러한 OBC는 EMI 필터부, 정류부, 역률보상회로부(PFC), DC DC 컨버터부로 구성이 된다. 이 중 OBC의 역률보상회로부는 보편적으로 저가 및 고신뢰성이 보장되는 부스트 컨버터가 기본 회로로 적용된다.<sup>[1]</sup> 하지만 자동차의 배터리 충전 시스템 특성상 부스트 역률보상회로의 출력 커패시터에는 배터리 용량에 따라 최대 720Vdc의 고전압이 인가되므로 내압이 큰 커패시터가 요구되는데, 이 때 적용되는 고압 전해 커패시터는 부피가 클 뿐 아니라 수명도 짧아 자동차 부품으로 적합하지 않다.<sup>[2]</sup>

따라서 본 논문에서는 출력 커패시터의 동작전압을 낮추기 위한 새로운 역률보상 회로를 적용한 플러그인 하이브리드 전기 자동차 탑재형 완속 충전기를 제안하고 시뮬레이션을 통해 타당성을 검증하고자 한다.

### 2. 제안하는 부스트 역률보상회로

기존 부스트 역률보상회로는 OBC의 역률보상회로부에 적용하기에 용량이 큰 출력 커패시터를 필요로 하는 단점을 가진다. 따라서 출력 커패시터의 부피절감 및 단가절감을 위하여 본 논문에서는 그림 1의 새로운 역률보상회로가 적용된 OBC

의 토폴로지를 제안한다. 제안하는 토폴로지의 PFC부는 기존의 부스트 역률보상회로와 같이 스위치, 다이오드, 인덕터, 커패시터로 구성된 회로부품을 갖고 동일한 입·출력 전압 관계를 갖는다.<sup>[4]</sup> OBC의 회로 구조상 전파 정류된 DC 전압을 저장하는 입력 커패시터  $C_1$ 은 입력 인덕터의 에너지가 저장되는 출력 커패시터  $C_2$ 와 직렬 결합된 구조를 가진다. 또한 제안하는 토폴로지에서는 입력전류를 전류 불연속 모드(DCM)로 동작시켜 입력 전류나 전압의 센싱없이 일정 시비율(Duty ratio)로 스위치  $Q$ 를 스위칭하여 입력전류의 파형이 정현파가 되도록 설계(Semi automatic current shaping)하였다.<sup>[3][4]</sup> 따라서 제안하는 토폴로지는 추가 제어가 필요 없는 장점을 가진다.

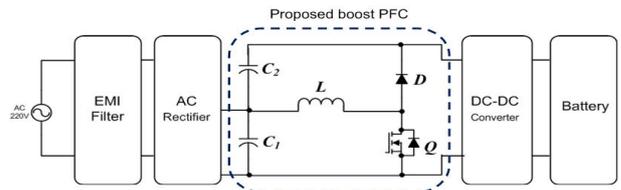


그림 1 제안하는 역률보상회로가 적용된 OBC 구조  
Fig. 1 OBC configuration applied proposed PFC

그림 2은 제안된 역률보상회로의 전류불연속모드(DCM)의 동작을 보여준다. 그림 2(a)의 모드 1에서 스위치  $Q$ 가 턴 온이 되면 입력전류는 인덕터  $L$ 을 거쳐 스위치  $Q$ 를 통해 상승한다. 또한 인덕터  $L$ 에는 스위칭 작용에 의해 에너지가 저장되고 커패시터  $C_2$ 는 방전된다. 이 구간에서 인덕터  $L$ 에 흐르는 전류는 식 (1)과 같이 정의된다.

$$I_L = \frac{V_{C1}}{L} \cdot t \quad (1)$$

그림 2(b)의 모드 2는 스위치  $Q$ 의 턴 오프 상태로 입력전류는 하강하며 인덕터  $L$ 에 흐르는 전류는 감소한다. 이전 모드에서 인덕터  $L$ 에 저장되었던 에너지가 환류 다이오드  $D$ 를 통해 출력 커패시터  $C_2$ 에 충전되며 동시에 출력 측으로 방출된다.

그림 2(c)의 모드 3은 모드 2에서 인덕터  $L$ 에 흐르던 전류가 0이 되는 상태로 입력전류 또한 0이 된다. 환류 다이오드  $D$ 는 차단되고 출력 커패시터  $C_2$ 로부터 전하가 출력으로 방전된다. 여기서 스위치 온·오프의 모든 구간 동안 출력전압은 항

상 입력 커패시터 양단전압  $V_{C1}$ 과 출력 커패시터 양단전압  $V_{C2}$ 의 합이 된다.<sup>[5]</sup>

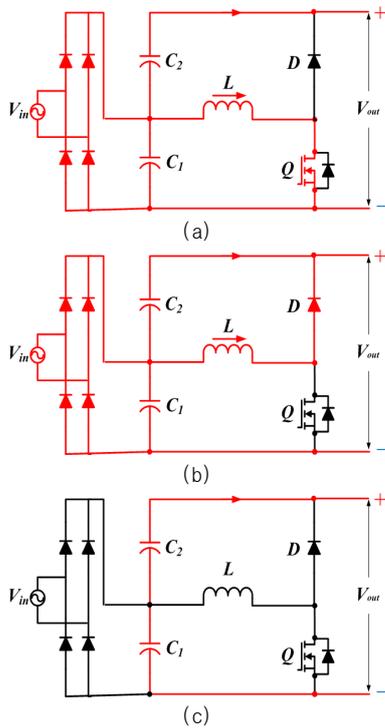


그림 2 동작모드, (a) 모드 1 (b) 모드 2 (c) 모드 3  
 Fig. 2 Operational mode, (a) Mode 1 (b) Mode 2 (3) Mode 3

### 3. 시뮬레이션 결과

제안하는 새로운 역률보상회로를 적용한 OBC의 타당성 검증을 위해 PSIM 기반의 시뮬레이션을 통해 입력전압 220V에 출력 720V의 데이터를 얻을 수 있었다. 그림 3은 입력전압과 입력전류의 파형이며, 입력전류를 DCM모드로 동작시켜 전류 제어기 없이 입력전류가 입력전압을 추종함을 확인할 수 있다.

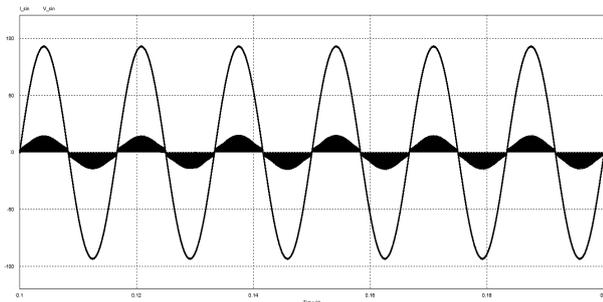


그림 3 시뮬레이션, 입력전압 · 입력전류 ( $V_{in}$ ,  $I_{in}$ )  
 Fig. 3 Simulation, input voltage · input current ( $V_{in}$ ,  $I_{in}$ )

그림 4는 입력 커패시터 양단전압( $V_{C1}$ ), 출력 커패시터 양단전압( $V_{C2}$ ), PFC의 출력 전압( $V_{out}$ )을 보여주고, 입력 커패시터  $C_1$ 와 출력 커패시터  $C_2$ 의 전압크기의 합은 PFC의 출력전압이 됨을 알 수 있다. 따라서 기존 부스트 역률보상회로에 비해 출력 커패시터의 동작전압을 낮출 수 있는 장점을 가진다.

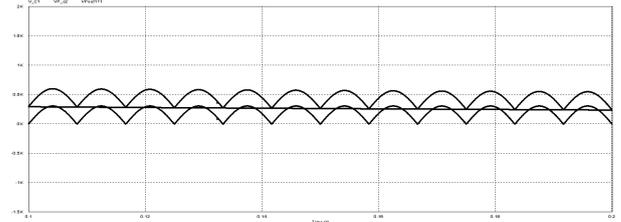


그림 4 커패시터의 양단전압 및 PFC단 출력 전압, ( $V_{C1}$ ,  $V_{C2}$ ,  $V_{out}$ )  
 Fig. 4 Capacitor voltage and PFC Output voltage, ( $V_{C1}$ ,  $V_{C2}$ ,  $V_{out}$ )

### 4. 결 론

본 논문은 새로운 역률보상회로를 적용한 플러그인 하이브리드 전기 자동차 탑재형 완속 충전기(On Board Charger, OBC)를 제안한다. 제안하는 부스트 역률보상회로는 입력 커패시터와 출력 커패시터가 직렬 결합한 구조로써 기존의 회로에서 출력 커패시터가 담당하던 동작전압을 낮출 수 있어 단가절감이 가능하다. 또한 입력전류를 전류 불연속모드(DCM)로 동작시킴으로써 추가 제어기의 필요성을 제거하였다. 이에 대한 시뮬레이션은 입력전류가 정현파의 위상을 추종함을 보여주고, 제안하는 PFC의 출력전압은 입 · 출력 커패시터의 크기의 합이 됨을 확인할 수 있다. 따라서 제안하는 새로운 역률보상회로를 OBC에 적용하면 부피 및 단가절감이 가능할 것으로 기대한다.

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임 (No.2012 006120)

### 참 고 문 헌

- [1] L. Rossetto, S. Buso, G. Spiazzi, "Conducted EMI Issues in a Boost PFC Design", Telecommunications Energy Conference, 1998. INTELEC. Twentieth International, pp.188 195, 1998
- [2] 윤수영, "전해 커패시터를 사용하지 않는 PHEV용 탑재형 배터리 충전기", 학위논문(석사) 명지대학교 대학원 전기공학과의전공, 2011
- [3] 강필순 외, "전류 불연속 모드로 동작하는 1단방식의 역률 보상 AC/DC 파워 컨버터", 전력전자학회 학술대회 논문집, pp. 319 322, 1999
- [4] 강필순, 김광태, 홍순일, 김철우, "도통손실 저감을 위한 새로운 역률 보상 AC/DC 컨버터", 전력전자 학술대회 논문집, pp.273 278. 1999
- [5] 김선필, 강필순, "낮은 배터리 전압의 승압을 위한 전자 자동차용 DC to DC 컨버터", 전력전자학회 학술대회 논문집, pp.451 152, 2011