

전기자동차용 역률개선 배터리 충전기

채형준*, 김원용*, 윤수영*, 문형태**, 정유석*, 이준영*
명지대학교 전기공학과*, (주)만도 중앙연구소**

PHEV Battery Charger with Power Factor Corrector

Hyungjun Chae*, Wonyong Kim*, Suyoung Yun*, Hyungtae Moon**, Yuseok Jeong*, Junyoung Lee*
Department of Electrical Engineering, Myongji University*, Central R&D Center of MANDO Corporation**

ABSTRACT

최근 들어 친환경 자동차 분야는 바야흐로 전기자동차 시대를 맞이하게 되었다. 이러한 전기자동차는 전지(battery)로부터 전력을 공급받아 전동기로 차량을 구동하는 구조로 되어 있어 전지를 충전하기 위한 충전기가 필수적이다. 이러한 충전기는 탑재형 충전기(on board charger)와 별치형 충전기(off board charger)로 분류된다. 보통 별치형 충전기는 급속충전용으로 3상 교류전원을 직류로 변환하여 최대 400A의 용량까지 사용할 수 있다. 본 논문에서는 자동차에 직접 장착되는 탑재형 충전기를 제안한다. 제안된 충전기는 상용전원을 입력으로 넓은 범위의 출력을 갖으며 고효율, 고역률, 고전력밀도의 충전기로 시작품을 제작하여 그 기능을 검증하였다.

1. 서론

전기자동차의 전동기는 배터리로부터 전력을 공급받아 차량을 구동하는 방식으로 되어 있어 배터리를 충전하기 위한 충전기가 필수적이다. 전기자동차의 충전장치는 장착 위치에 따라서 차량에 탑재되는 탑재형 충전기(on-board charger)와 외부에 설치하는 별치형 충전기(off-board charger)로 구분되며, 전지에 전력을 공급하는 방식에 따라 유도형 충전기(inductive charger)와 전도형 충전기(conductive charger)로 구분할 수 있다. 별치형 충전기는 3상 교류전원을 직류로 변환하여 최대 400A 용량까지 사용할 수 있어 단 시간 내에 충전하는 고속충전용으로 사용되며, 탑재형 충전기는 기본적으로 가정용 단상전원을 이용하여 개별 차량에 탑재된 충전기를 통해 차량 구동용 배터리를 충전하는 장치로 일반적으로 30A 용량까지 사용되며 전기요금에 저렴한 시간대에 장시간 동안 충전하는 완속충전용으로 사용된다.

상용전원을 사용하는 탑재형 충전기는 고조파 전류 규제인 IEC61000 및 IEEE519에 따른 역률 개선을 위한 회로가 포함되어야 한다. 또한 배터리 충전 사양에 따른 넓은 범위의 출력전압을 갖아야 한다. 탑재형 충전기는 상시 자동차 탑재되어 있으므로 크기가 고려되어야 한다. 본 논문에서는 고전력밀도, 고효율 및 고역률의 전기자동차용 고성능 충전기를 제안한다.

2. 본론

2. 1 제안한 탑재형 배터리 충전기

본 논문에서 제안한 전기자동차용 배터리 충전기는 풀브릿지 LLC 공진 컨버터와 부스트 컨버터의 2단으로 구성하였으며 DSP(TMS320F28335)를 사용하여 제어를 구성하였다.

고정 주파수와 고정 시비율로 동작하는 풀브릿지 LLC 공진 컨버터는 변압기의 권선비에 따라 상용전원 입력을 80Vrms로 강압하는 역할을 담당한다. 이 과정에서 변압기 크기의 간소화를 위해 스위칭 주파수는 100kHz로 설정하였으며 고주파수에 따른 스위칭 손실을 줄이기 위하여 LLC 공진을 이용하여 ZVS 동작을 하게 된다. 또한 상용전원의 전압에 따라 변압기 2차측의 동기 정류기는 풀브릿지 모드 또는 하프브릿지 모드(voltage doubler) 정류기로 모드를 변경하여 동작되어 LLC 공진 컨버터의 출력은 80Vrms를 유지하도록 하였다.

LLC 공진 컨버터의 스위칭 주파수는 LLC 공진 주파수와 동기화된 고정 주파수 및 고정 시비율로 동작하여 제어를 하지 않으며 변압기의 권선비에 의해 에너지를 전달하며 변압기는 전기적 절연의 기능을 담당한다. LLC 공진 컨버터의 출력은 부스트 컨버터의 입력으로 사용되며 부스트 컨버터는 평균전류 모드 제어^[1]를 통해 출력전압제어, 출력전류제어 및 역률 개선 제어를 담당한다.

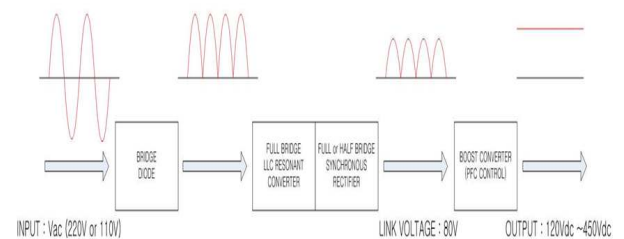


그림 1 충전기의 블록도 및 각 부분별 전압 파형
Fig. 1 Block diagram and Voltage wave of proposed Battery charger

2. 2 제안한 충전기의 동작 설명

상용전원 입력시 입력전압은 브릿지 다이오드를 통해 전파정류되며 이 전압은 LLC 공진 컨버터를 통해 80Vrms의 링크전압으로 유지하게 된다. 이 전압은 후단의 부스트 컨버터의 입력전압으로 부스트 컨버터를 통해 최종 출력 150V~450V가 된다. 이 과정에서 부스트 컨버터는 제어 동작(Average Current Mode Control)을 수행하여 출력전압제어 또는 출력전류제어 및 역률을 보정 기능을 수행하게 된다. 즉 상용전원 220V 입력시 입력필터를 통과한 교류 전압은 브릿지 다이오드를 통해 전파 정류 된다. 전파 정류 된 전압은 고정주파수

및 고정 시비율로 동작하는 풀브릿지 LLC 공진 컨버터를 통해 전압은 강압된다. 이 과정에서 스위칭 주파수를 100kHz로 설정하여 변압기 사이즈를 최소화 할 수 있다. 또한 LLC 공진주파수를 식 1을 통해 구할 수 있으며 스위칭 주파수를 공진주파수와 동기시키면(식 2) LLC 공진컨버터의 Gain은 1이 되어 변압기 2차측 전압은 변압기 권선비에 의해서만 강압하게 된다. 이 LLC 공진을 통해 스위치의 스위칭 동작시 ZVS 동작을 하게 되어 스위칭 손실을 저감하게 된다^[2]. 80Vrms로 유지된 전압은 후단의 부스트 컨버터 입력이 되며 부스트 컨버터의 제어를 통해 역률 보정 및 출력전류제어기능 또는 출력전압제어 기능을 수행하게 된다. 상용전원 110V 입력시 변압기 1차측까지의 동작은 상기 내용과 동일하며 변압기 2차측의 풀브릿지 동기 정류기는 스위칭동작을 수행하는 스위치 2개(SR1, SR3)와 상시 ON(SR4) 및 상시 OFF(SR2) 동작을 수행하는 스위치 2개로 동작되며 voltage doubler의 기능을 한다. 이에 따라 전압은 80Vrms를 유지하게 되어 후단의 부스트 컨버터의 입력이 된다.

$$f_s = f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{CrLr}} \quad (1)$$

$$G_{DC} = \frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{n\sqrt{[1 + \frac{1}{K}[1 - (\frac{f_r}{f_s})^2]^2 + (\frac{f_s}{f_r} - \frac{f_r}{f_s})^2]Q^2}} \quad (2)$$

$$(f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LrCr}}, R_{ac} = \frac{8n^2}{\pi}R_0, Q = \frac{1}{R_{ac}}\sqrt{\frac{Lr}{Cr}}, K = \frac{Lm}{Lr})$$

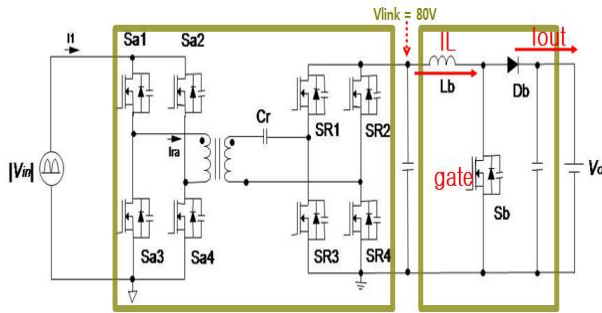


그림 2 제안된 충전기의 회로도
Fig. 2 Proposed battery charger circuit

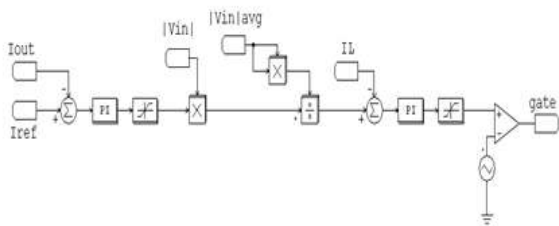


그림 3 평균 전류 모드 제어 블록도
Fig. 3 Block diagram of average current mode control

2. 3 실험 결과

본 논문에서 제안된 회로를 실제 구성하여 실험을 진행하였다. 그림 4는 3kW입력에서 충전기의 입력전압 및 입력전류의 측정파형이며 PF는 99.5%임을 확인하였다. 또한 그림 4에서 3kW 입력에서 평균전류모드제어 동작으로 제어를 수행 할 때의 인덕터 전류 파형이다. 그림 5와 그림 6은 220Vac 입력과 110Vac 입력에 따른 링크전압의 파형으로 110Vac 입력시에는 voltage doubler로 동작하여 링크전압이 동일함을 알 수 있다.

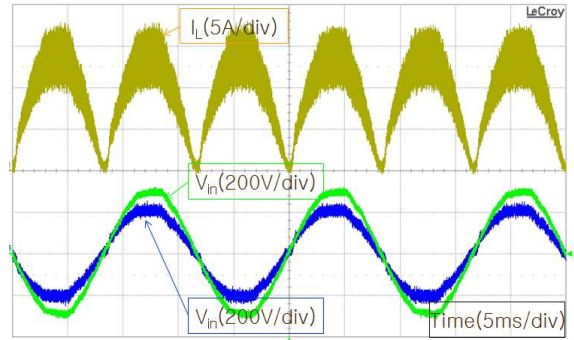


그림 4 인덕터 전류 및 입력 전압 전류
Fig. 4 Inductor current, input voltage and input current

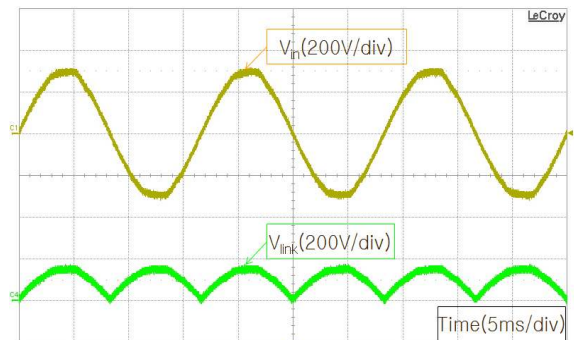


그림 5 입력 전압(220Vac) 및 링크 전압
Fig. 5 Input voltage at 220Vac and link voltage

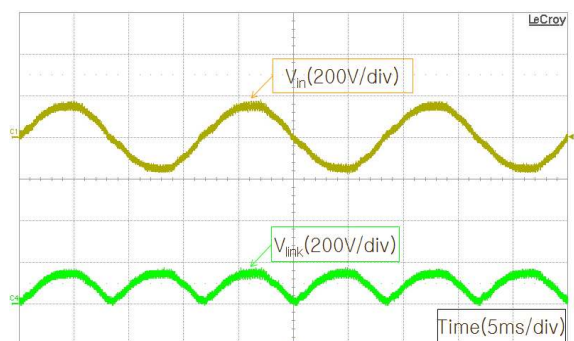


그림 6 입력 전압(110Vac) 및 링크 전압
Fig. 6 Input voltage at 110Vac and link voltage

3. 결론

본 논문에서 전기자동차용 탑재형 충전기를 제안하였다. 실제 충전기 세트를 제작하여 실험하였으며, 상용전원을 입력으로 150V~450V까지의 넓은 출력 범위와 3kW에서 93%이상의 효율 및 역률 99% 이상임을 측정을 통해 확인하였다.

참고 문헌

[1] V. Rao, A. Jain, K.Reddy, A. Behal "Experimental Comparison of Digital Implementations of Single-Phase PFC Controllers", IEEE Trans. Ind. Electron., VOL. 55, NO. 1, pp. 67-78, Jan. 2008.
[2] Bo Yang, Fred C. Lee, Alpha J. Zhang, Guisong Huang "LLC resonant converter for front end DC/DC conversion", APEC2002, Vol. 2, pp. 1108-1112, 2002.