필름 커패시터로 구성된 넓은 입력 범위를 갖는 탑재형 EV용 배터리 충전기

윤수영, 김경동, 이준영
명지대학교 전기공학과

EV On-board Battery Charger with Wide input range & Film capacitor

Suyoung Yun, Kyoungdong Kim, Junyoung Lee
Department of Electrical Engineering Myongji University

ABSTRACT

이 논문은 새로운 형태의 EV, PHEV용 탑재형 충전기를 제안한다. 입출력단의 절연을 위한 공진 컨버터와 역률 개선과 충전 전력을 제어하기 위한 벅부스트 컨버터의 2단 구조로 구성하였다. 벅부스트는 전압 스트레스 감소를 위한 2단 병렬 구조와 제어기의 단순화를 위한 DCM 제어로 구현하였다. 또한 파워부에서는 필름 커패시터만으로 구성하였다. 제안한 컨버터의 성능은 실험을 통하여 검증한다.

1.서론

내연 기관의 가격 상승과 내공기 오염 문제로 인하여 EV, PHEV와 같은 새로운 교통 수단이 각광 받고 있다. 탑재형 충전기는 기본적으로 절연형 AC DC 컨버터 이지만 자동차 부품은 작은 사이즈와 긴 수명이 특히 강조된다. 그림 1(좌측)은 탑재형 충전기의 전형적인 블록 다이어그램이다. 그것은 입력 전류의 고조파 게선을 위한 부분과 출력제어와 전기적 절연 기능을 가진 DC/DC컨버터 2단으로 구성 되어 있다. 이 구조는 높은 역률, 넓은 범위의 전압제어, 깨끗한 출력전류의 장점을 가지고 있다. 최근의 많은 논문들은 이런 구조를 기반으로 효율향상과 배터리 충전 최적화에 초점이 맞춰 있다. 기존의 2단 구조는 단상 전원의 전원 변동을 필터링 할 중간의 링크단에 큰 용량의 커패시터가 요구되어 되어 진다. 불행히 고압 전해 커패시터는 짧은 수명으로 인하여 자동차용 전력 시스템의 부품으로 선호 하지 않기 때문에 낮은 전력밀도를 갖는 필름커패시터로 교체 되어야 된다. 같은 용량일 경우 필름 커패시터의 부피가 전해 커패시터보다 5~6배 정도 큰 것을 보여주고, 이 결과로 사이즈의 증가와 가격상승을 야기 한다. 이런한 문제는 flyback converter 와 current-fed converter등과 같은 1단 스테이지로 해결할수 있다. Flyback converter는 구조는 간단 하지만 높은 전기적 스트레스와 낮은 효율 때문에 소용량에서만 사용한다. Current-fed converter 토폴로지는 flyback 토폴로지보다 큰 파워에 사용이 가능하지만 높은 전압 스트레스로 인하여 높은 파워와 넓은 배터리 전압에는 애로점이 있다. 이 논문에서는, 고압 전해 커패시터 없는 탑재형 충전기 설계를 위한 대체법이 제안 한다. 이 방법은 배터리가 전력의 리플에 대해 예민하지 않기 때문에 정류된 교류를 링크 전압으로 사용한다. 이것은 그림 1(우)에 블록 다이어그램으로 나타낸다. 정류된 일정 크기를 가진 교류 전압을 만들기 위해 고정 주파수를 이용하는 절연형 공진 컨버터와 역률과 출력 제어를 위한 불연속 모드 벅-부스트 컨버터로 구성 되어 있으며 기존의 컨버터와는 반대의 구조를 가지고 있다. 설계지침을 제안하고,손실과 링크커패시터의 리플 분석을 수행한다. 설계된 3 3KW 탑재형 충전기와 제안된 이론을 기초로 성능을 확인한다.

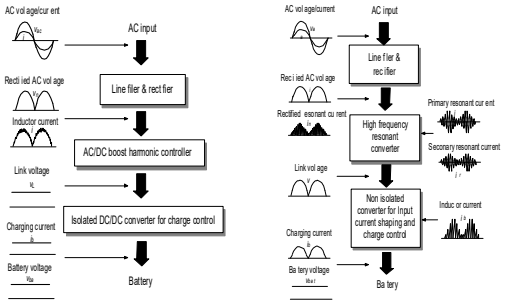


그림 1 기존 컨버터(좌),제안한컨버터(우)블럭다이어그램

2.본론

2.1 AC-DC 컨버터

상용전원 설계에 대응하기 위하여, 출력 전력의 상한은 입력 전류의 최대값과 충전기의 효율에 의해 결정된다. 그림3(a)는 90%의 효율을 가지며 입력 전압에 따라 변화 하는 출력 전력의 제한을 나타낸 그래프이다. 그림3(b)는 시제품의 설계된 충전 프로 파일을 나타낸다. 충전 모드는 정 전류(CC) 제어에서 정 전력(CP) 제어로 특정 경계 포인트에서 모드 변환한다.

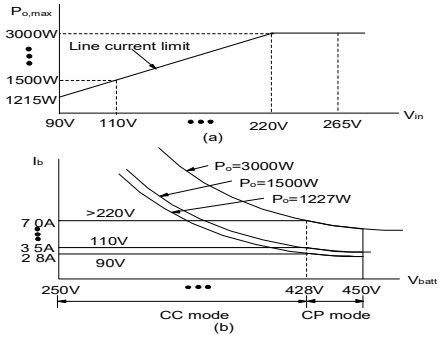


그림 2 충전프로파일

이 변환 시점은 최대의 출력 전력 그림3(a)와 충전효율을

기초로 하여 결정된다. 두 컨버터의 스위칭 주파수는 공진 컨버터는 90KHz 벅부스트 컨버터는 45KHz로 샘플링시 노이즈를 감소 시키기 위하여 동기화 시킨다. 첫 번째로 트랜스 포머의 턴비 n_T를 정한다. 작은 턴비는 인덕터 사이즈와 2차측 전류 스트레스는 감소 시키지만 전압 스트레스는 증가 한다. 그래서 n_T는 2차측 소자들의 전압 스트레스 특히 벅부스트 스위치를 토대로 선정된다. 이번 설계의 턴비는 구하기 쉬운 600V MOSFET을 사용하기 위하여 0.625로 선정 하였다. 최대 입력 전류가 15A로 제한 되므로 1차측의 최대 전압 전류 스트레스는 다음과 같이 얻을수 있다.

$$V_{Qr,\max} = \sqrt{2}\, V_{ac,rms,\max} \qquad (01)$$

$$I_{Qr,\max} = \frac{\pi}{\sqrt{2}} I_{ac,rms,\max} \qquad (02)$$

수식 1과 2로부터 $V_{Qr,max}$와 $I_{Qr,max}$는 374.7V와 33.3A로 구해진다. 이것으로 부터 2차측 전압 전류 스트레스는 599.5V과 20.8A로 계산된다. 선정된 스위치 소자는 M_1~M_4 = IXKK85N60C×1과 D_1~D_4=DSI45-08A×1이다. 최소한의 손실은 220V 경우에는 V_{in}^* =140V에 L_m=91.9μH 일 때 이며 110V일 경우는 V_{in}^* =80V 에 L_m=69.4μH 일 때 이다. 우리는 110V일 경우 손실 변동이 크지 않기 때문에 220V일 때 효율 향상을 위하여 Lm을 90μH로 선정하였다. 입력전압 110V일 경우의 대부분의 사이클에서 하드스위칭 동작을 한다. DCM 동작 상태에서의 최대값은 35.6μH이지만 마진을 고려 하여 30 μH를 선정하였다. 벅부스트 스위치의 전기적 스트레스는 다음과 같다.

$$V_{Qb,\max} = \frac{V_{\in,\mathrm{pk},\max}/n_T + V_{b,\max}}{2} \qquad (03)$$

$$I_{Qb,\max} = \frac{V_{\in,\mathrm{pk}}/2n_T}{L_b} \times D = \frac{\pi}{L_b}\sqrt{\frac{L_b V_b I_{b,avg}}{T_{sb}}} = \frac{\pi}{L_b}\sqrt{\frac{L_b P_{o,\max}}{T_{sb}}} \qquad (04)$$

$V_{Qb,max}$ 와 $I_{Qb,max}$이 532V와 74A이기 때문에 M_5,M_6은 IXKK85N60C로 선정하였다. 스위치 하나를 사용하였을 경우 스위칭 손실은 26.2W 컨덕션 손실을 15.1W 이며 N_{opt}는 1.3으로 계산된다. 그래서 스위치는 하나로 사용되었다. 출력 다이오드 D_5,D_6는 DSI45-08A×1이다. 커패시터의 사이즈를 고려하여 최악의 상태의 링크 전압 피크에서의 10% 마진을 준다. 이 상태는 최소한의 R_b와 피크의 인덕터 전류에서 일어 난다. 커패시터 값은 10uF으로 선정하였다. 변압기는 EE6565코어로 구현 되었고 2차측의 누설 인덕턴스는 24.5μH이다. 공진 주파수와 스위칭 주파수를 갖게 하기 위하여 Cr은 51nF으로 선정하였다. 제어기는 DSP(TMS28335)로 구현 하였다.

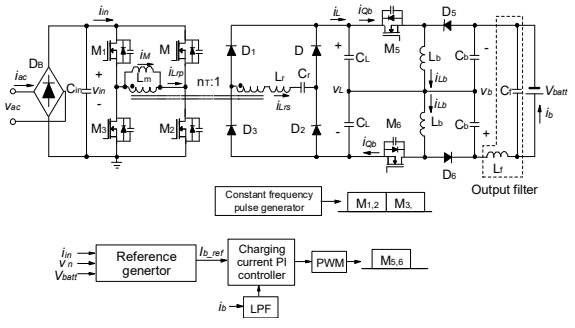
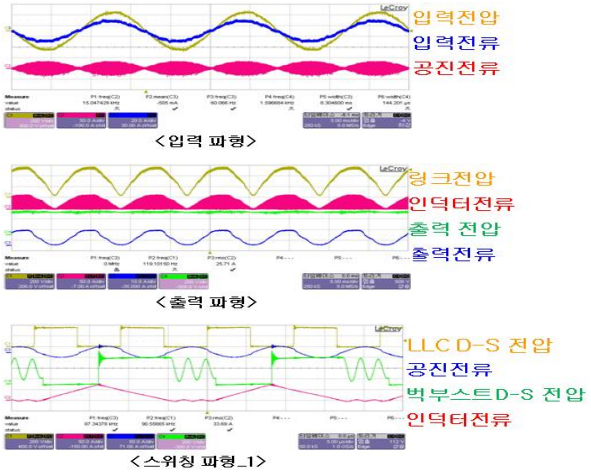


그림 3 제안한 AC-DC 컨버터

2.2 하드웨어 실험 결과

그림 4의 회로를 토대로 하드웨어를 구성 하여 실험을 진행 하였다. 입력은 220V 출력은 400V로 진행 하였다. 3KW의 풀 로드에서 제시한 그림1(우)에서와 같은 파형을 얻을수 있다. 실험 결과 얻은 파형은 그림5와 같다. 입력 전류가 입력 전압을 잘 따라 가고 있고 링크 전압은 전파된 사인 파형 이며 LLC 컨버터의 소프트 스위칭과 벅부스트의 DCM 동작이 잘되고 있음을 확인 하였다.



<그림 5> 하드웨어 실험파형

3.결론

본 논문에서는 DCM 전류 제어를 통해 얻은 인덕터 전류의 피크를 연결한 외형선이 입력 전원의 전압 파형을 따라 가고 공진전류의 피크를 연결한 외형선 또한 같은 결과를 얻었다 결과적으로 입력 전류파형도 입력 전압 파형을 따라 간다 PFC가 잘 되고 있음을 확인 하였다 충전 전류는 저주파 리플을 가지고 있고 그래서 전류제어는 평균값으로 제어되었다 제안된 충전기는 넓은 입력 전압 변화에서도 잘 동작 되어 진다 입력전압 220시 고정 저항 모드에서 약 94%의 효율을 보여 준다 입력(90~260)전범위에서 CC/CP 모드와 같은 보통의 충전 모드일 경우 93%의 효율과 0 98이상의 역률을 유지한다 110V입력 시 공진 컨버터 단에서 하드 스위칭으로 인해 약 3%의 효율 감소를 가져 온다

참 고 문 헌

[1] O Jossefsson, A Lindskog, S Lundmark, and T Thiringer, "Assessment of a Multilevel Converter for a PHEV Charge and Traction Application," ICEM'10, pp 1 6, 2010

[2] Y Lee, Y S Jeong, and B M Han, "An Isolated DC/DC Converter using High Frequency Unregulated LLC Resonant Converter for Fuel Cell Applications," *IEEE Trans Ind Electron* ,