

직렬 공진 컨버터를 이용한 Single-stage 배터리 충전기 설계

권순만*, 유광민*, 이병권*, 김승주*, 최승원**, 배정환***, 이준영*
 명지대학교 전기공학과* (주)우리산업** (주)큐아이티***

Single-stage Battery charger design using A Series resonant converter

Sun Man Gwon*, Kwang Min Yoo*, Byung Kwon Lee*, Seung Joo Kim*,
 Seung Won Choi**, Jung Hwan Bae***, Jun Young Lee*
 Department of Electrical Engineering, Myongji University*, Woory Industrial**, Q.I.T***

ABSTRACT

이 논문은 Single stage로 구현한 전기 오토바이용 배터리 완속 충전기를 제안한다. 전기 오토바이용 배터리 완속 충전기는 상용전원을 입력으로 사용하므로 110V_{ac} 및 220V_{ac}에서 사용이 가능하며 역률 보정이 고려되어야 한다. 일반적으로 역률 개선(Power Factor Correction : PFC)를 담당하는 AC/DC 컨버터와 DC/DC단의 2단 구성의 충전기 구조가 일반적이나, 이를 기존 이단구조의 복잡한 시스템을 단일 전력단으로 설계하였다. 본 논문에서는 전기 오토바이용 2KW급 SRC single stage 공진형 컨버터를 설계하고 실험 검증하였다.

1. 서론

일반적인 2단 구성의 충전기는 AC입력을 정류하여 입력측의 전류가 정류된 전압을 추종하도록 역률개선단에서 전류제어를 실시한다. 이 경우 Fluctuating power가 발생하므로 이를 필터링하기 위해 고압의 DC 링크 캐패시터를 사용한다. AC/DC단에서 형성된 DC전압을 이용하여 절연을 위해 변압기를 사용하는 DC/DC컨버터는 전류제어를 통해 배터리를 충전하게 된다. 이러한 기존의 충전기는 이단구조로 되어있어 시스템이 복잡하다. 또한 DC 링크 캐패시터는 수천 uF이상의 고용량을 사용해야 하므로 기존의 충전기는 전력밀도가 높은 전해 캐패시터를 사용하고 있다. 하지만 전해 캐패시터는 그 수명이 온도에 매우 민감하여 온도가 높아지면 수명이 급감하는 단점이 존재한다. 본 논문에서는 수명에 영향을 미치는 고용량 전해 캐패시터를 사용하지 않고 구조를 단순화한 1단의 구조로 컨버터를 구성하였다. 또한 스위칭 손실을 줄이기 위해 직렬 공진 컨버터를 사용하며, 입력전류 dead zone을 해결하기 위해 2차측에 전류 부스팅 회로를 추가하였다.

2. 제안한 Single-stage 배터리 충전기

제안한 회로는 그림1과 같이 소자의 스트레스를 최소화하고자 1, 2차측 모두 풀브릿지를 사용하였으며, 공진전류를 발생시키기 위해 공진회로가 구성되어 있으며 2차측에는 입력전류의 dead zone을 제거하기 위한 전류 부스팅 회로와 정류기로 구성되어 있다. 그림2는 입력이 정류된 AC이고 출력이 DC인 경우 M₅와 M₆으로 구성된 전류부스팅회로가 없을 경우의 공진

인덕터 L_r의 전류와 입력전류를 도시한 그림이다. 그림에서 보듯이 스위치 도통시 변압기 1차측에는 n*V_{batt}만큼의 전압이 인가되고 2개의 변압기가 직렬로 연결되어 있으므로 2n*V_{batt}의 전압이 생성된다. 그런데 입력전압이 2n*V_{batt}보다 낮은 경우 브릿지 다이오드가 턴온되지 않아 공진전류가 발생하지 않게 되며 이로 인해 입력전류는 dead zone이 발생하게 된다. 입력전류의 dead zone은 역률을 저하시키며 배터리 전압이 높고 낮은 입력전압이 인가되었을 경우에는 dead zone으로 인해 충전동작이 불가능할 수도 있다. 이를 해결하기 위해 dead zone 동안 2차측에 변압기를 단락시켜 입력전압과 관계없이 공진전류를 발생시키도록 하는 back to back 스위치가 연결되어 있다. 제어기의 구성은 충전전류제어를 위한 펄스주파수 변조(Pulse Frequency Modulation : PFM)을 사용하며 입력전압의 dead zone을 판단하여 보조스위치를 동작시키는 구조이다.

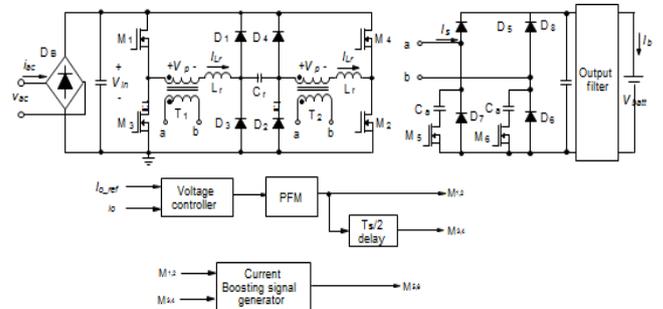


그림 1 제안한 Single-stage 회로구성도
 Fig. 1 Proposed Single-stage Circuit

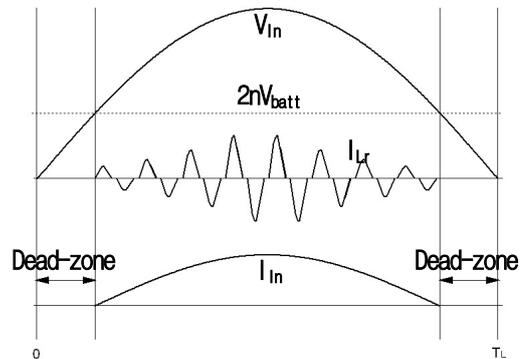


그림 2 전류부스팅회로가 없을 경우 주요파형
 Fig. 2 Main waveform when there is no Current amplification Circuit

V_{in} 이 $2n \cdot V_{batt}$ 보다 작은 구간에서의 동작에서는 1차측 스위치가 켜져 공진전류가 발생하는 동안 보조스위치를 도통시켜 변압기 양단을 단락시키게 된다. 동작은 아래의 그림3과 같다.

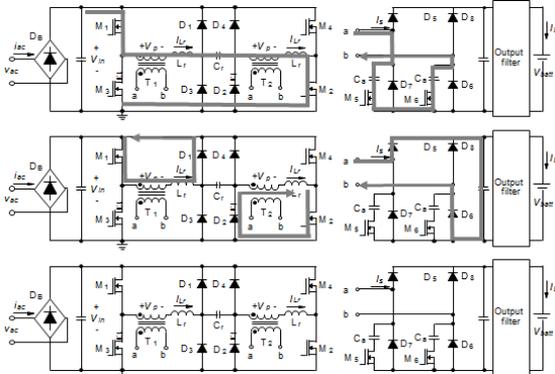


그림 3 $V_{in} < 2n \cdot V_{batt}$ 구간에서의 동작
Fig. 3 The Operation at $V_{in} < 2n \cdot V_{batt}$ area

Mode1에서 스위치 M_1 과 M_5 , M_6 을 도통시키면 1차측의 전류 경로는 $M_1 \rightarrow T_1 \rightarrow L_r \rightarrow C_r \rightarrow L_r \rightarrow T_2 \rightarrow M_2$ 로 형성되어 공진전류가 발생하고 이 전류는 변압기 T_1 과 T_2 의 2차측과 M_5 , M_6 을 통해 흐르며 변압기가 단락이 되어 있어 2차측 다이오드는 off상태를 유지하며 출력측에 전달되는 전력은 존재하지 않게 된다. M_5, M_6 스위치를 off시키면 공진인덕터 전류가 D_1 과 D_2 를 통해 선형적으로 감소하고 이 전류는 변압기와 다이오드 D_5 , D_6 을 통해 출력측으로 전달된다. 공진전류가 0으로 되면 모든 스위치의 전류가 0이 되고 회로의 동작이 정지한다.

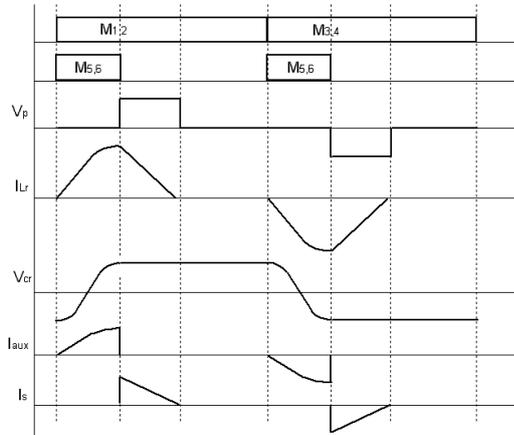


그림 4 $V_{in} < 2n \cdot V_{batt}$ 구간에서의 동작파형
Fig. 4 Waveform at $V_{in} < 2n \cdot V_{batt}$ area

3. 실험 결과

표 1 SRC 실험조건 및 결과

Table 1 The experimental conditions & Result of SRC

Battery Voltage Range	60 ~ 83V
Battery Nominal Voltage	73V
V_{in}	220V _{ac}
V_{ref} / I_{ref}	83V / 20A
Efficiency	92%

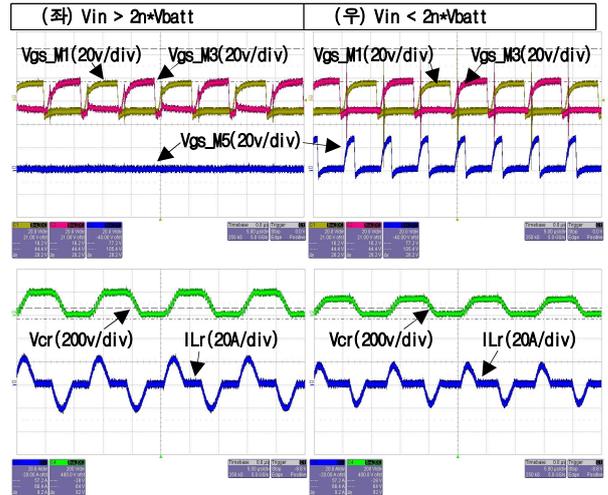


그림 5 전압조건에 따른 주요파형
Fig. 5 Waveform in accordance with the Voltage Conditions

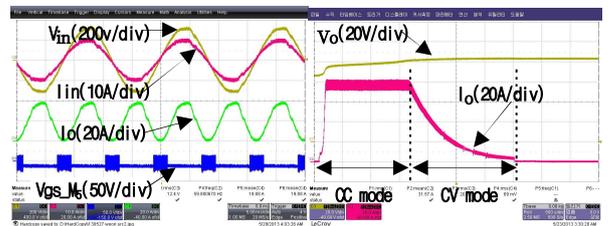


그림 6 배터리 충전 실험 파형
Fig. 6 Waveform of Charging the battery test

그림 6은 제작한 SRC로 배터리 충전실험을 한 파형이다. 그림6의 좌측은 충전실험 중 CC모드에서의 확대파형으로, 2차측의 M_5 가 $V_{in} < 2n \cdot V_{batt}$ 에서 전류부스팅 동작을 하여 dead zone을 없애 입력전류가 입력전압과 동상인 역률개선효과를 이뤘음을 확인 할 수 있다.

4. 결론

본 논문은 전해캐패시터를 사용하지 않는 간단한 1단 구조를 갖는다. 또한 전류부스팅 회로를 고안하여 입력전류의 dead zone을 제거하여 역률을 개선하고 공진구조를 사용하여 1차측스위치의 영전압/영전류스위칭이 가능하다. 따라서 장수명 고전력밀도의 전기 오토바이용 충전기로 적합하다.

이 논문은 (주)우리산업의 연구비 지원에 의하여 수행된 연구임

이 논문은 2013년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. No.20114010203030

참고 문헌

- [1] 전기자동차용 고효율 3.3kW On Board 배터리 충전기 설계 및 제작(전력전자학회 2010년도 전력전자 학술대회 논문집2010,7.)_김중수_P190~191
- [2] 전기자동차용 역률개선 배터리충전기(전력전자학회 2010년도 전력전자 학술대회 논문집2010,7.)_채형준_P341~342