

# 120Hz 맥동 전류를 제거한 단일단 인터리브드 차량탑재형 충전기

정범교, 김병우, 함자벨카멜, 최세완  
서울과학기술대학교

## A Single-Stage Interleaved On-board charger without 120Hz Pulsating Current

Bumkyo Jung, Byeongwoo Kim, Hamza Belkamel, Sewan Choi  
Seoul National University of Science and Technology

### ABSTRACT

본 논문에서는 120Hz 맥동 전류를 제거한 단일단 인터리브드 차량탑재형 충전기를 제안한다. 기존 단일단의 문제점인 출력의 저주파 성분을 제거하기 위해서 DCM 동작과 추가적인 APF(Active Power Filter) 회로로 구성되었다. 추가된 APF로 인해 클램프 커패시터는 전해커패시터가 아닌 필름커패시터로 대체 하면서도 출력의 저주파 성분을 제거할 수 있고 부피 역시 감소시킬 수 있다. 또한 인터리빙효과와 DCM 동작으로 인하여 입력필터의 부피를 감소시키고 전류 불균형 상황을 방지할 수 있다.

### 1. 서론

차량탑재형 충전기는 일반적으로 역률 제어를 하는 PFC와 배터리 전압 및 전류를 제어하는 절연형 DC DC 컨버터로 구성된다. 하지만 고전력밀도, 높은 효율 및 저가격화를 만족하기 위해 PFC와 DC DC를 통합한 단일단 방식을 고려할 수 있다. 기존의 단일단 방식에서는 DCM 방식과 CCM 방식으로 나뉜다. 소용량에서는 DCM 방식의 플라이백과 포워드 컨버터가 주로 사용되며 소자수가 적고 소프트스위칭으로 인해 높은 효율을 성취할 수 있다. 대용량의 경우 주로 CCM 방식의 풀브리지 컨버터가 사용되며 소프트스위칭으로 인한 높은 효율을

성취할 수 있다. 하지만 두 가지 방법 모두 배터리에 120Hz 저주파 성분이 전달된다는 단점을 가지고 있다<sup>[1]</sup>.

본 논문에서는 120Hz 맥동 전류를 제거한 단일단 인터리브드 차량탑재형 충전기를 제안한다. 제안하는 충전기는 변압기의 저주파 성분을 완전히 제거하여 변압기의 코어부피 및 손실을 최소화 하였고, 인터리빙효과로 인해 필터의 부피를 감소시켰으며  $L_k$ 와  $L_m$ 값의 설계를 통해 넓은 동작영역에서 스위치의 ZVS 턴온 및 다이오드의 ZCS 턴오프를 성취하여 고효율을 달성하였다. 또한 DCM 동작과 추가적인 APF회로를 통하여 출력의 120Hz 저주파 성분을 제거하고, 클램프 커패시터를 전해커패시터에서 필름커패시터로 교체하여 부피를 크게 감소시켰으며 기본적인 DCM 동작의 효과로 인해 각상의 전류 불균형 문제를 해소하였다.<sup>[2]</sup>

### 2. 제안하는 컨버터

제안하는 차량탑재형 충전기의 회로도에는 그림 1과 같다. 기존에는  $C_c$ 를 필름커패시터로 사용하게 되면 출력에 저주파 성분이 넘어갔었지만 제안하는 컨버터는 APF 회로로 인해  $C_c$ 를 필름커패시터로 사용하면서도 출력의 저주파성분을 방지한다.

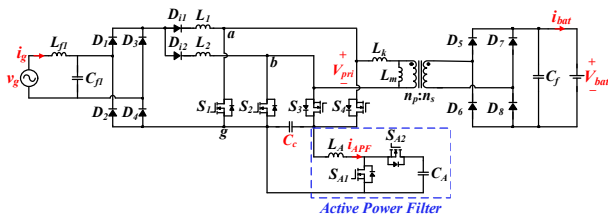


그림 1. 제안하는 단일단 차량탑재형 충전기

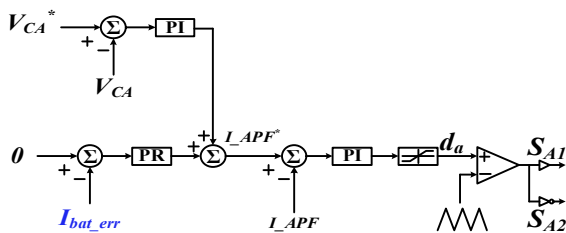


그림 2. APF 제어블록도

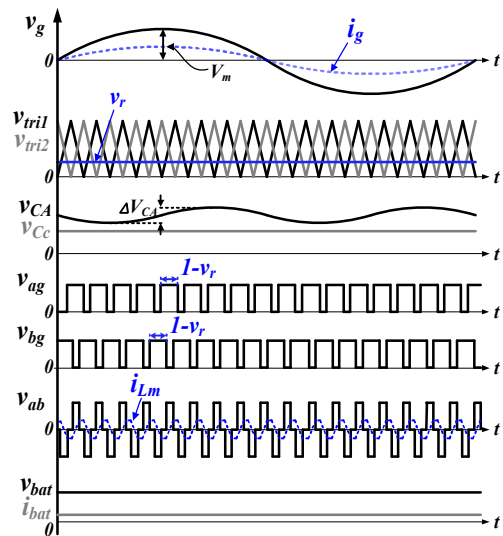


그림 3. 120Hz 맥동 전류 제거원리

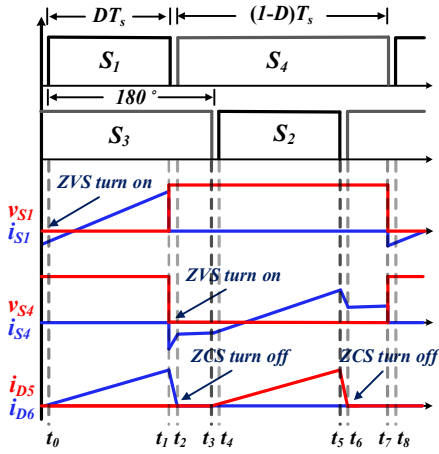


그림 4. 스위칭 동작파형

그림 2는 제안하는 차량탑재형 충전기의 APF 제어블록도이다. 제안하는 컨버터는 DCM 동작으로 인해 출력전류 제어기에 별도의 PF 제어가 요구되지 않아 간단한 제어구조를 갖는다. 때문에 출력전류 제어블록도는 생략되었다. APF 제어의 경우 출력전류의 120Hz 저주파 성분을 흡수하는 역할을 하는데 결과적으로  $C_c$  전압을 DC전압으로 만들어 출력의 저주파 성분을 제거할 수 있으며, 승압형 APF이기 때문에  $C_c$  전압보다 큰 범위 내에서  $C_A$  전압을 제어하게 된다. 그림 3은 제안하는 컨버터의 120Hz 맥동 전류 제거원리를 설명하기 위한 그림으로 출력에 저주파가 전달되지 않기 위해선 변압기 전압의 폭과 포락선이 일정해야 한다. 제안하는 컨버터는 DCM 동작으로 인해  $v_r$  과 같이 일정 듀티로 제어 가능하며 스위칭 동작을 통해 형성되는  $v_{ag}$ ,  $v_{bg}$  역시 일정 1  $v_r$ 의 폭을 갖는 DC 성분과 스위칭 성분으로 구성된다. 변압기 1차측 전압은  $v_{ag}$ 와  $v_{bg}$ 의 차로 이루어지며 식 (1)과 같다.

$$v_{ab}(t) = v_{ag}(t) - v_{bg}(t) \quad (1)$$

$v_{ab}$ 의 파형은  $v_{ag}$ 와  $v_{bg}$ 의 차로 이루어지기 때문에는 같은 크기를 갖는 DC 성분은 상쇄된다. 또한 APF로 인해  $v_{ab}$ 에는 크기가 일정한 전압이 걸리기 때문에 일정한 포락선을 가지게 된다. 그림 4는 제안하는 컨버터의 동작파형으로 각 스위치 전류는 식 (2), (3)과 같고  $L_k$ 와  $L_m$ 의 설계를 통해 넓은 동작영역에서 스위치는 ZVS 턴온, 다이오드는 ZCS 턴오프를 성취할 수 있다.

$$I_{SI,ZVS} = I_{L1} - |i_{Lk+pk}| \quad (2)$$

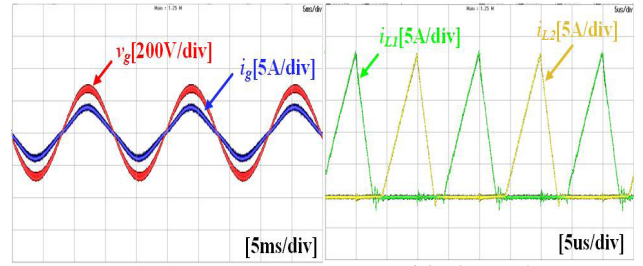
$$I_{SI,ZVS} = |i_{Lm,-pk}| - I_{L1} \quad (3)$$

### 3. 실험 결과

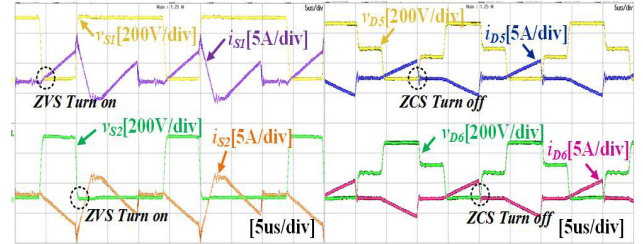
제안하는 컨버터의 타당성을 입증하기 위해 다음의 설계사양에 따라 실험을 진행하였다.

그림 5은 제안하는 차량탑재형 충전기의 실험 파형이다. 그

- $P_o = 1\text{kW}$     •  $V_i = 220\text{Vac}$     •  $v_{bat} = 350\text{V}$     •  $n_1:n_2 = 1:1$
- $L_k = 9\mu\text{H}$     •  $L_m = 500\mu\text{H}$     •  $C_c = 10\mu\text{F}$     •  $C_A = 54\mu\text{F}$
- $f_s = 50\text{kHz}$     •  $f_{s\_APF} = 100\text{kHz}$



(a) 계통전압 및 계통전류      (b) 인덕터 전류



(c) 스위치 전압 및 전류      (d) 다이오드 전압 및 전류

그림 5. 실험 파형

림 5(a)는 계통전압 및 계통전류 파형으로 역률이 0.99 이상임을 확인하였고 그림 5(b)는 인덕터 전류파형으로 인터리빙에 의해 180도 위상차가 나는 것을 확인했다. 그림 5(c),(d)는 스위치, 다이오드의 전압 및 전류 파형으로 각각 ZVS 턴 온과 ZCS 턴 오프를 성취하는 것을 볼 수 있다.

## 4. 결론

본 논문에서는 120Hz 맥동 전류를 제거한 단일단 인터리브드 차량탑재형 충전기를 제안하였다. 제안하는 인터리빙 회로와 스위칭 기법으로 변압기의 저주파성분을 제거하였고 DCM 동작과 추가된 APF 회로로 인해 배터리의 120Hz 맥동 전류를 제거하였다. 또한  $L_k$ 와  $L_m$ 의 설계를 통해 넓은 범위에서 스위치의 ZVS 턴온과 다이오드의 ZCS 턴오프를 성취하였다. 최종 발표 시 3.3kW급 시작품을 통한 실험결과를 제시할 예정이다.

## 참고 문헌

- [1] P. Das, M. Pahlevaninezhad, and G. Moschopoulos, "Analysis and design of a new AC DC single stage full bridge PWM converter with two controllers," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 60, no. 11, pp. 4930-4946, Nov. 2013.
- [2] Z. Qin, Y. Tang, P. C. Loh, and F. Blaabjerg, "Benchmark of AC and DC Active Power Decoupling Circuits for Second Order Harmonic Mitigation in Kilowatt Scale Single Phase Inverters," *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, Vol. 4, no. 1, pp. 15-25, Mar. 2016.