

전기자동차용 충전기를 위한 단일단 고주파 절연형 소프트스위칭 AC-DC 컨버터

김병우, 최세완
서울과학기술대학교

A Single-stage High Frequency Isolation Soft-switching AC-DC Converter for EV charger

Byeongwoo Kim, Sewan Choi
Seoul National University of Science and Technology

ABSTRACT

본 논문에서는 전기자동차용 충전기를 위한 단일단 소프트 스위칭 AC-DC 컨버터를 제안한다. 제안하는 컨버터는 두 대의 인터리빙 컨버터에 저손실 스위칭기법을 적용하여 변압기의 저주파 성분을 제거하여 코어부피를 최적화할 수 있을 뿐만 아니라 스위치의 도통손실 및 스위칭 손실을 감소시킬 수 있다. 또한 배터리에 저주파 리플이 허용되는 경우에는 필름 커패시터만을 사용하여 정현파 충전을 함으로써 시스템의 높은 내구성 및 소형화를 달성 할 수 있다. 3.3kW급 시작품을 통해 본 논문의 타당성을 검증하였다.

1. 서론

일반적인 전기자동차용 충전기는 역률보상을 위한 부스트 컨버터와 후단의 절연형 DC-DC 컨버터의 2단 방식으로 구성된다. 이러한 2단 방식은 제어능력이 좋아 넓은 출력전압조정 및 높은 역률보상이 가능하지만 2단 전력변환 및 많은 소자수로 인해 효율이 제한적이며 DC link단에 수명이 짧고 부피가 큰 전해커패시터를 사용해야 하는 문제가 있다. 한편, 일반적인 단일단 방식은 DC link단의 전압 제어 없이 역률보상과 절연 및 출력전압 조정이 가능하며 소자수가 적고 효율이 높은 장점이 있지만 변압기에 저주파 리플 성분이 나타나기 때문에 자화전류가 증가하여 변압기 코어부피가 증가하는 단점이 있다.

본 논문에서는 두 대의 인터리빙 컨버터에 저손실 스위칭기법을 적용하여 변압기의 저주파 성분을 제거하여 고주파 절연이 가능한 단일단 전기자동차용 충전기를 제안한다. 제안하는 컨버터는 배터리의 전류 리플 허용여부에 따라 전해커패시터 대신에 필름커패시터를 사용하여 정현파 충전을 함으로써 더 높은 내구성과 소형화를 성취할 수 있다. 또한 입력단에 브리지리스 구조를 갖고 넓은 동작영역에서 스위치의 ZVS 턴 온 및 다이오드의 ZCS 턴 오프를 성취할 뿐만 아니라 저손실 스위칭 기법으로 도통손실과 스위칭손실이 감소하여 효율 측면에서 유리하다.

2. 제안하는 컨버터

그림 1은 제안하는 단일단 AC-DC 컨버터의 회로도이며 그림 2는 제안하는 컨버터의 스위칭에 따른 스위치 전압 및 전류

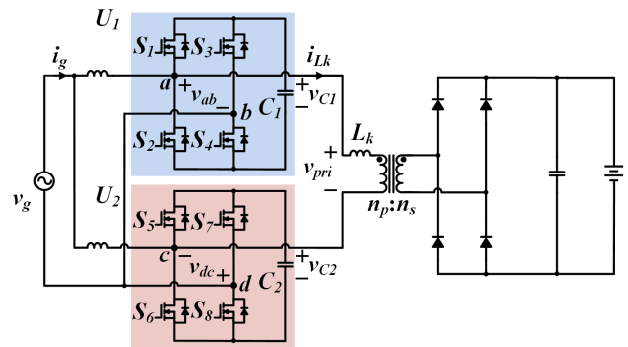


그림 1. 제안하는 고주파 절연형 소프트 스위칭 AC-DC 컨버터

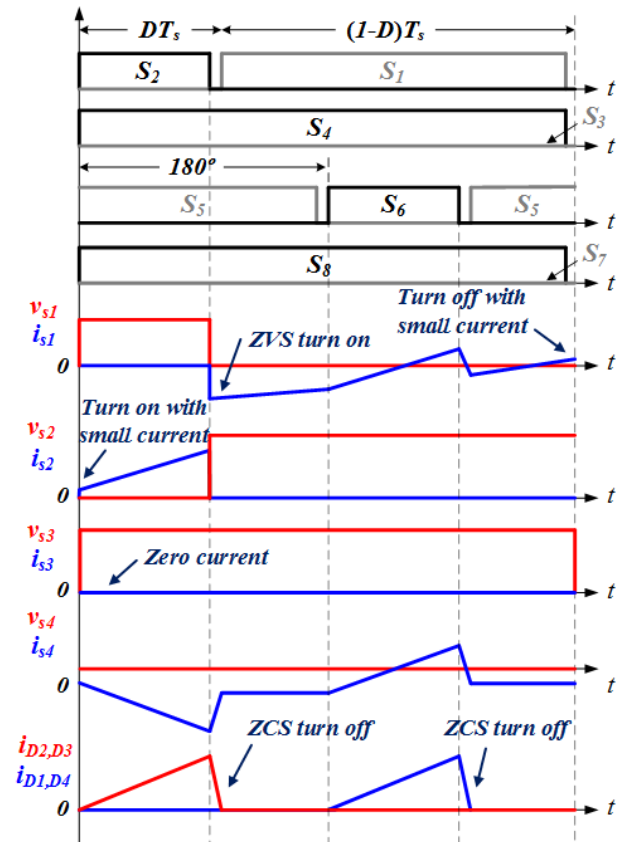


그림 2. 제안하는 컨버터의 스위칭에 따른 동작파형 ($v_g > 0$)

파형을 나타낸다. 스위치의 ZVS 턴 온 및 다이오드의 ZCS 턴 오프를 성취한다. 계통전압이 양(음)전압일 때 $S_1(S_2)$ 과 $S_2(S_1)$ 로만 비대칭 상보적 스위칭을 하고 $S_1(S_2)$ 과 $S_2(S_1)$ 는 턴 온, 턴 오프 상태를 유지하는 저손실 스위칭기법을 적용함으로써 기존의 스위칭 기법에 비해 스위치의 도통손실과 스위칭손실을 줄여 높은 효율을 성취할 수 있다. 그림 3은 저주파 상쇄원리를 나타내는 주요파형이다. 제안하는 두 대의 컨버터 U_1 과 U_2 는 인터리빙 효과를 위해 각각 180도 위상차를 갖게 하고 변압기의 양단전압에는 v_{ab} 와 v_{dc} 가 더해진 전압이 걸리므로 60Hz 기본파 성분은 제거된다.

$$V_{pri,1} = V_{ab,1} + V_{dc,1} = 0 \quad (1)$$

따라서 변압기에는 순수한 스위칭 주파수 성분만 나타나게 되어 기존의 단일단 방식에서의 변압기에 저주파 성분이 나타나는 단점을 해결함으로써 자화전류를 줄여 코어부피를 감소시킬 수 있다.

제안하는 컨버터의 C_1 과 C_2 는 필름커패시터를 사용하여 120Hz 성분이 나타나게 되지만 변압기에서는 이 성분이 제거되므로 필름커패시터의 전압에 발생하는 120Hz 성분은 변압기에 영향을 거의 없다.

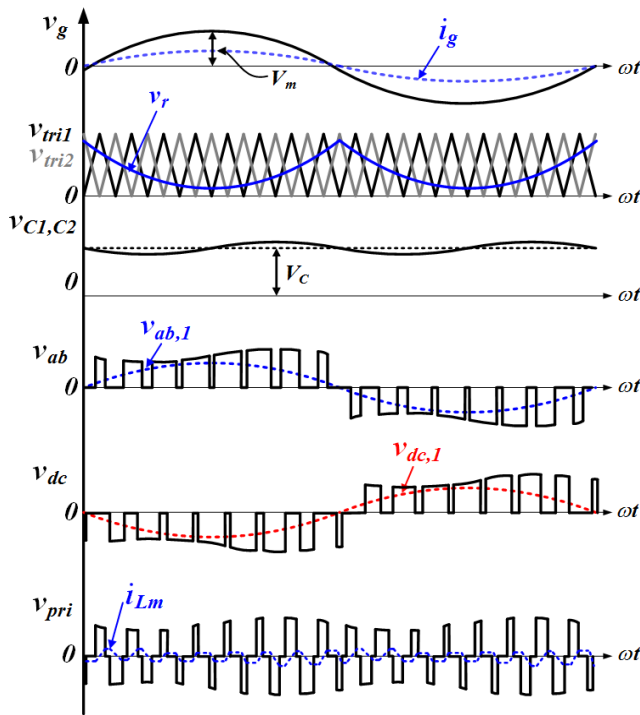


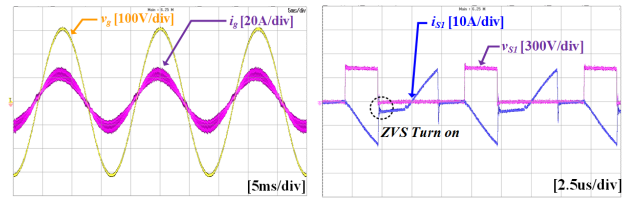
그림 3. 저주파 상쇄원리를 나타내는 주요파형

3. 실험 결과

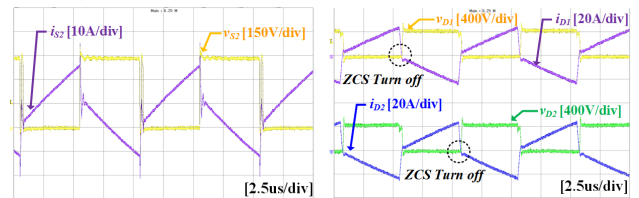
제안하는 컨버터의 타당성을 입증하기 위해 다음의 설계 사양에 따라 시작품을 제작하여 실험을 하였으며 커패시터 C_1 과 C_2 는 필름커패시터를 사용하였다.

- $P_o = 3.3\text{kW}$
- $V_g = 220\text{VAC}$
- $V_o = 400\text{V}$
- $V_{C1,C2} = 400\text{V}$
- $n_1:n_2 = 1:1$
- $L_{g1,g2} = 800\mu\text{H}$
- $C_{L,2} = 25\mu\text{F}$
- $f_s = 100\text{kHz}$

그림 4는 제안하는 컨버터의 실험 파형으로 (a)는 입력전압과 입력전류의 파형으로 역률은 99%이다. (b)는 스위치 S_1 의 파형으로 스위치의 전압과 ZVS 턴 온 성취와 낮은 턴 오프 전류를 보여주며 (c)는 스위치 S_2 의 파형으로 스위치의 전압과 낮은 턴 온 전류를 보여준다. (d)는 다이오드 D_1 과 D_2 의 파형으로 다이오드의 전압과 ZCS 턴 오프 성취를 보여준다.



(a) 입력전압 v_g 및 입력전류 i_g (b) 스위치 S_1



(c) 스위치 S_2 (d) 다이오드 D_1, D_2

그림 4. 실험파형

4. 결론

본 논문에서는 단일단 AC-DC 컨버터를 제안하였다. 제안하는 두 대의 컨버터 인터리빙 효과를 위해 각각 180도 위상차를 갖고 저손실 스위칭기법을 적용하여 변압기에 저주파 리플 성분을 제거하여 코어부피 감소를 달성할 수 있으며 스위치의 도통손실 및 스위칭손실을 줄여 높은 효율을 성취할 수 있다. 또한 필름커패시터를 사용하여 높은 내구성과 소형화를 달성할 수 있다.

참고 문헌

- [1] H. Ma, J. S. Lai, C. Zheng and P. Sun, "A High-Efficiency Quasi-Single-Stage Bridgeless Electrolytic Capacitor-Free High-Power AC-DC Driver for Supplying Multiple LED Strings in Parallel," in *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 31, no. 8, pp. 5825-5836, Aug. 2016.
- [2] B. Kim; M. Kim; S. Choi, "Single-stage Electrolytic Capacitor-less AC-DC Converter with High Frequency Isolation for EV charger," *IPEMC 2016*.