

전기자동차용 충전기를 위한 전해커패시터가 없는 단일단 인터리브드 토렘폴 소프트스위칭 AC-DC 컨버터

김병우, 정범교, 최세완
서울과학기술대학교

A Single-stage Electrolytic Capacitor-less Interleaved Totem-pole Soft-switching AC-DC Converter with EV Charger

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

ABSTRACT

본 논문에서는 전기자동차용 충전기를 위한 전해커패시터가 없는 단일단 인터리브드 토렘폴 소프트스위칭 AC DC 컨버터를 제안한다. 제안하는 단일단 충전기는 토렘폴 구조에 인터리빙 회로를 적용하여 소자의 수를 최소화하였으며 넓은 전압 및 부하영역에서 스위치의 ZVS 턴 온 및 다이오드의 ZCS 턴 오프를 성취하여 고효율을 달성할 수 있다. 또한 CCM 동작으로 인해 입력필터가 작고 스위치의 도통손실을 감소시킬 수 있으며 전해커패시터를 제거하고 필름커패시터를 사용하여 높은 전력밀도와 내구성을 만족한다. 제안하는 전기자동차용 충전기의 동작원리를 제시하고 시작품을 통해 본 논문의 타당성을 검증하였다.

1. 서론

일반적인 전기자동차용 충전기는 PFC와 절연형 DC DC 컨버터로 구성된 2단 구조가 사용된다. 이러한 2단 구조는 좋은 제어성과 넓은 출력전압 조정과 역률보상이 가능한 장점이 있다. 하지만 고전력밀도, 높은 효율 및 저가격을 만족하기 위해 PFC와 절연형 DC DC 컨버터의 스위치단을 결합한 단일단 방식이 제안되었다. 기존의 단일단 방식은 주로 DCM 방식으로 소자수가 적고 효율이 높은 플라이백과 포워드 컨버터가 사용되지만 변압기의 저주파 성분으로 용량이 증가하면 코어부피 및 손실이 증가하여 대용량 응용에서는 적합하지 않다. 또한 고주파 변압기를 사용하는 단일단 방식은 전해커패시터 대신에 필름커패시터를 사용하여 정현파충진을 함으로써 높은 전력밀도를 달성하였으나 DCM 동작으로 높은 피크전류에 따른 도통손실이 크며 소자수가 많아 효율에 제한적이다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 전해커패시터가 없는 단일단 인터리브드 토렘폴 소프트스위칭 AC DC 컨버터를 제안한다. 제안하는 단일단 충전기는 토렘폴 구조에 인터리빙 회로를 적용하여 소자의 수를 최소화하여 대용량 응용에 적합하며 넓은 전압 및 부하영역에서 스위치의 ZVS 턴 온 및 다이오드의 ZCS 턴 오프를 성취하여 고효율을 달성할 수 있다. 또한 고주파 변압기와 필름커패시터를 사용하여 높은 전력밀도를 만족할 수 있다.

2. 제안하는 컨버터

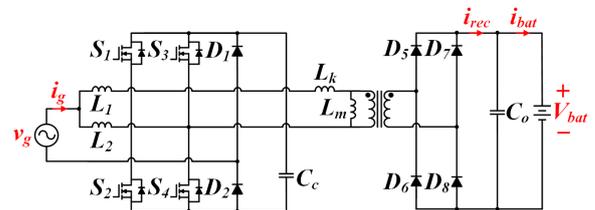


그림 1. 제안하는 단일단 차량탑재형 충전기

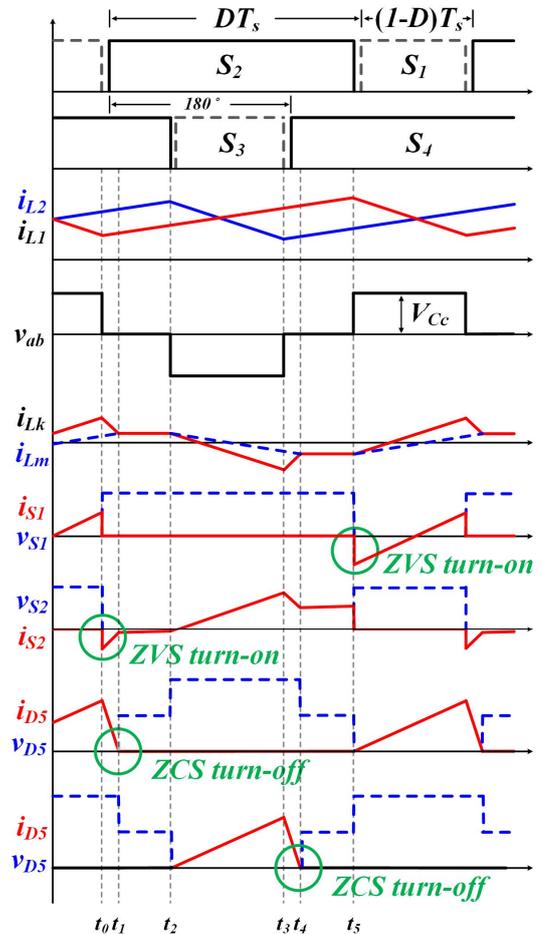


그림 2. 제안하는 충전기의 동작원리 ($v_g > 0$)

제안하는 단일단 인터리브드 토탈폴 AC DC 컨버터는 그림 1과 같다. 제안하는 컨버터는 변압기 1차측에 토탈폴 PFC와 절연형 DC DC 컨버터의 스위치단이 결합된 단일단 구조로 스위치 $S_1 \sim S_4$ 로 듀티를 조절하여 입력전류와 출력을 조정한다. 스위치 S_1 과 S_2 , S_3 과 S_4 는 상보적으로 동작하고 180도 위상차를 두고 스위칭하여 인터리빙 효과를 갖기 때문에 입력 측 필터 인덕터와 클램프 커패시터의 부피를 감소시킬 수 있다. 인터리빙 회로에 스위치의 수를 최소화하였고 고주파로 동작하는 변압기와 전해커패시터를 제거하고 필름커패시터를 사용하여 높은 전력밀도를 달성할 수 있다.

그림 2는 제안하는 단일단 토탈폴 AC DC 컨버터의 동작과 형으로 2상 인터리빙 효과를 갖는다. 제안하는 컨버터는 변압기가 고주파 동작하는 것을 확인할 수 있으며 스위치의 ZVS 턴 온 및 다이오드의 ZCS 턴 오프 동작을 확인할 수 있다. 스위치 S_1 과 S_2 ZVS 전류조건은 각각 식 (1), (2)와 같고, L_k 와 L_m 을 적절히 설계하여 넓은 전압 및 부하영역에서 스위치의 ZVS 턴 온을 성취하여 고효율을 달성할 수 있다.

$$\frac{V_{Lm}}{2L_m}(t_1 - t_5) > \frac{1}{2}I_{L1} + \frac{\Delta i_{L1}}{2} \quad (1)$$

$$\frac{V_{Lk}}{L_k}(t_0 - t_5) - \frac{V_{Lm}}{2L_m}(t_1 - t_5) > \frac{1}{2}I_{L1} - \frac{\Delta i_{L1}}{2} \quad (2)$$

그림 3은 제안하는 차량탑재형 충전기의 제어블록도이다. 제안하는 충전기는 부스트 PFC와 동일한 제어를 사용하는 간단한 구조이다.

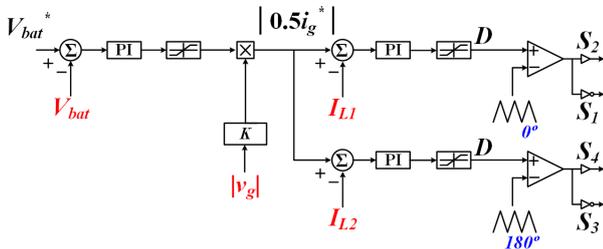


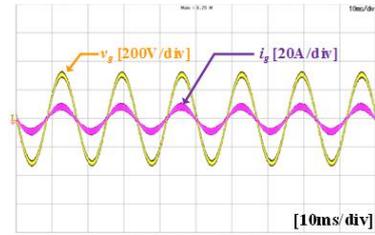
그림 3. 제어블록도

3. 실험 결과

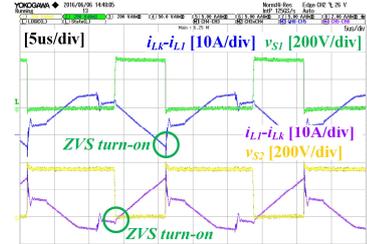
제안하는 컨버터의 타당성을 입증하기 위해 다음의 설계사양에 따라 실험을 하였다

- $P_o = 3.3\text{kW}$ • $V_g = 220\text{VAC}$ • $V_o = 350\text{V}$ • $n_1:n_2 = 1:1$
- $L_k = 15\mu\text{H}$ • $L_m = 500\mu\text{H}$ • $C_c = 5\mu\text{F}$ • $f_s = 50\text{kHz}$

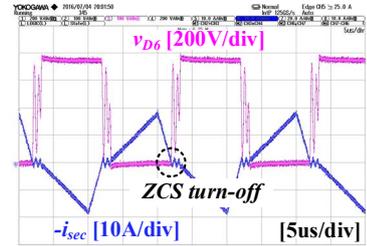
그림 4는 제안하는 단일단 인터리브드 토탈폴 AC DC 컨버터의 실험파형이다. 그림 4(a)는 입력전압 및 입력전류 파형으로 제안하는 컨버터의 역률보상을 통해 역률이 0.99 이상임을 확인할 수 있다. 그림 4(b)는 스위치의 전압 및 전류 파형으로 ZVS 턴 온을 성취하는 것을 확인할 수 있다. 그림 (c)는 다이오드의 전압 및 전류 파형으로 ZCS 턴 오프 하는 것을 확인할 수 있다. 그림 5(d)는 변압기의 전압 및 전류 파형으로 고주파 동작하는 것을 확인할 수 있다.



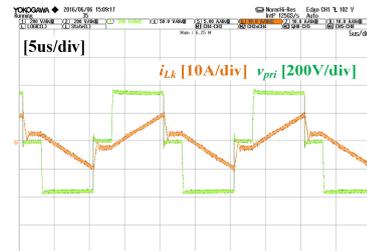
(a) 입력전압 및 입력전류



(b) 스위치



(c) 다이오드



(d) 변압기 1차측

그림 4. 실험파형

4. 결론

본 논문에서는 전기자동차를 위한 전해커패시터가 없는 단일단 인터리브드 토탈폴 소프트스위칭 AC DC 컨버터를 제안하였다. 제안하는 인터리빙 회로에 스위치의 수를 최소화하였고 고주파로 동작하는 변압기와 필름커패시터를 사용하여 높은 전력밀도를 달성할 수 있다. 또한 넓은 전압 및 부하영역에서 스위치의 ZVS 턴 온을 성취하였다. 최종발표 시 3kW급 시제품을 통한 실험결과를 제시할 예정이다.

참고 문헌

[1] Byeongwoo Kim, Minjae Kim and S. Choi, "Single stage electrolytic capacitor less AC DC converter with high frequency isolation for EV charger," 2016 IEEE 8th International Power Electronics and Motion Control Conference (IPEMC ECCE Asia), Hefei, 2016, pp. 234-238.