

넓은 전압범위를 갖는 새로운 병렬 공진형 컨버터

김민재, 노신영, 김연우, 최세완
서울과학기술대학교

New Parallel Loaded Resonant Converter with Wide Voltage Range

Minjae Kim, Shinyoung Noh, Yeonwoo Kim, Sewan Choi
Seoul National University of Science and Technology

ABSTRACT

본 논문에서는 넓은 전압범위를 갖는 새로운 병렬 공진형 컨버터를 제안한다. 제안하는 컨버터는 스위치의 ZVS 턴온과 다이오드의 ZCS 턴오프를 성취한다. 또한 넓은 전압범위에서도 좁은 스위칭주파수 범위를 가지며, 스타트업 시 공진소자의 전류나 전압 스트레스가 없는 장점이 있고 3차 권선비를 이용하여 공진커패시터 전류를 최소화시킴으로서 소자선정이 용이해져 대용량에 적합하다. 제안하는 컨버터의 동작원리를 제시하고 3kW급 시작품의 실험을 통하여 타당성을 검증한다.

1. 서론

전기자동차용 배터리충전기는 역률제어를 하는 부스트 PFC와 배터리 전압 및 전류를 제어하는 절연형 DC DC 컨버터로 구성된다. 전기자동차의 배터리는 과방전될 경우 매우 낮은 전압까지 감소되어 넓은 전압범위를 갖게 된다. 이에 따라 절연형 DC DC 컨버터는 넓은 출력전압범위에서 동작 가능하여야 한다.

LLC 공진형 컨버터^[1]는 스위치의 ZVS 턴온 및 다이오드의 ZCS 턴오프가 가능하고 클램프회로가 없는 간단한 구조를 가져 주목을 받고 있다. 하지만 넓은 전압범위에 대응하기 위해 자화인덕턴스를 작게 하여 게인을 맞추는데 이는 순환전류를 증가시키고 또한 스위칭주파수 범위를 넓게 하는데 이는 스위칭손실을 증가시킨다. 또한 스타트업 시에는 소프트스위칭 조건을 유지하기 위해 게인이 0보다 큰 높은 스위칭주파수에서 동작을 시작하여 돌입전류로 인한 공진소자의 스트레스가 커진다. 그리고 공진커패시터가 부하와 직렬로 연결되어 부하가 증가하면 공진커패시터의 전류정격이 증가하기 때문에 특히 대용량용에서 공진커패시터의 부피가 매우 커져 적용이 어렵다.

본 논문에서는 넓은 전압범위를 갖는 새로운 병렬 공진형 컨버터를 제안한다. 제안하는 컨버터는 병렬공진탱크와 노치공진탱크를 사용하여 넓은 전압범위에서 좁은 스위칭 주파수범위에서 동작이 가능하고 스위치 및 다이오드의 소프트스위칭을 성취할 수 있다. 공진주파수에서 전압이득이 0이기 때문에 스타트업 동작 시 공진소자의 돌입전류에 의한 스트레스가 없다. 또한 변압기 3차 권선을 조절하여 공진커패시터의 전류정격이 조절 가능하여 공진커패시터 선정이 용이하고 대용량에도 적용하는데 무리가 없다.

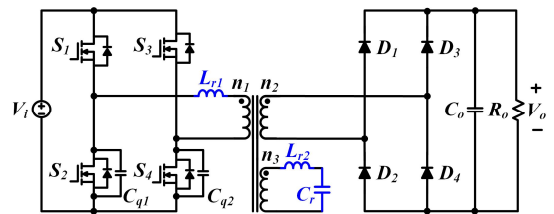


그림 1. 제안하는 공진형 컨버터

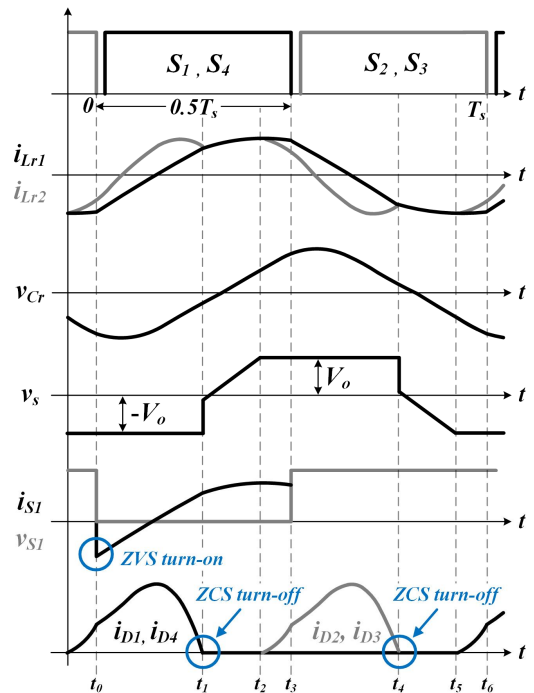


그림 2. 제안하는 컨버터의 동작파형

2. 제안하는 컨버터

제안하는 컨버터의 회로도도 그림 1과 같다. 그림 2는 제안하는 컨버터의 동작파형이다. 제안하는 컨버터는 고정 듀티를 사용하며 스위칭주파수를 조절하여 출력전압을 제어한다. 그림 3과 같이 제안하는 컨버터의 공진탱크는 병렬공진탱크와 노치공진탱크로 구성되어 스위치의 ZVS 턴온 및 다이오드의 ZCS 턴오프를 성취할 수 있다. 그림 4는 제안하는 컨버터의 전압이

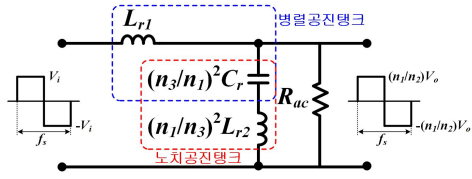


그림 3. 제안하는 컨버터의 공진등가회로

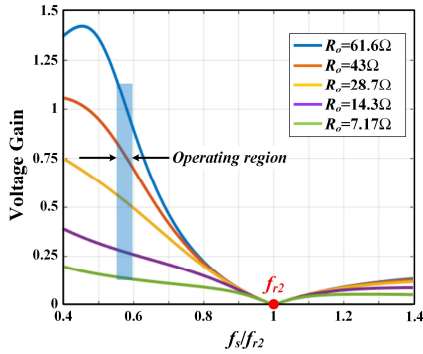


그림 4. 제안하는 컨버터의 전압이득 곡선

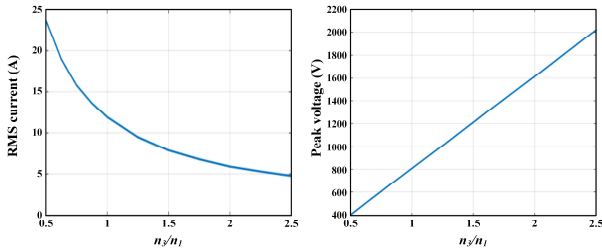


그림 5. 변압기 3차측 턴비에 따른 공진커패시터 전류 및 전압

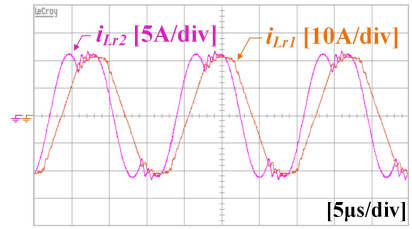
득 곡선으로 공진주파수(f_r)에서 0의 계인을 얻을 수 있어 스타트업 시 공진인덕터 전류 및 공진커패시터 전압 스트레스가 없다. 또한 넓은 출력전압 범위에서도 좁은 스위칭주파수 범위를 갖기 때문에 스위칭손실이 작다. 그림 5는 변압기 3차측 턴비에 따른 공진커패시터의 전류 및 전압정격이다. 3차측 턴비가 증가함에 따라 공진커패시터의 전류정격은 감소하고 전압정격은 증가한다. 일반적으로 공진커패시터의 전압정격은 높고 전류정격은 낮게 형성되어 있다. 따라서 제안하는 컨버터는 3차측 턴비를 조절하여 공진커패시터 선정이 용이하므로 대용량 응용에 적용 시 공진커패시터의 부피를 감소시킬 수 있다.

3. 실험 결과

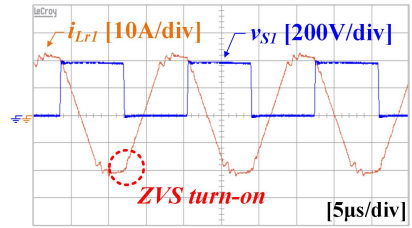
제안하는 컨버터의 타당성을 입증하기 위해 다음의 설계 사양에 따라 실험을 하였다.

- $P_o = 3\text{kW}$
- $V_i = 380\text{V}$
- $V_o = 50 \sim 430\text{V}$
- $n_1:n_2:n_3 = 1:1:2$
- $L_{r1} = 117\mu\text{H}$
- $L_{r2} = 156\mu\text{H}$
- $C_r = 20\text{nF}$
- $f_s = 55 \sim 60\text{kHz}$

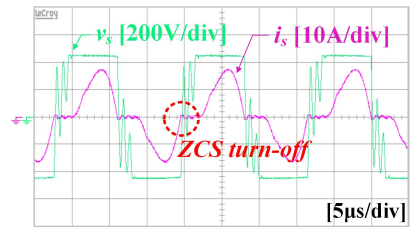
그림 6은 출력전압 430V, 출력전류 7A 일 때 실험파형으로 스위치의 ZVS 턴온과 다이오드의 ZCS 턴오프가 성취되고, 이론적 파형과 동일한 것을 확인할 수 있다. 그림 7은 출력전류가 7A 일 때 각 출력전압에 따른 실험효율로 출력전압 100V 이상에서 95%이상의 상대적으로 높은 효율을 유지하며 출력전압 300V에서 최고효율 97.0%가 측정되었다.



(a) 공진인덕터 전류 i_{Lr1} , i_{Lr2}



(b) 스위치 S_1



(c) 변압기 2차측 전압 및 전류

그림 6. 실험파형

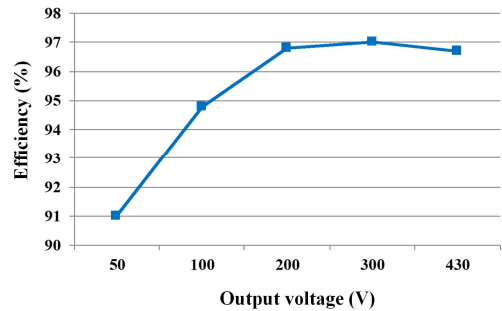


그림 7. 실험효율(측정:YOKOGAWA WT3000)

4. 결론

본 논문에서는 넓은 전압범위를 갖는 새로운 병렬 공진형 컨버터를 제안하였다. 제안하는 컨버터는 스위치의 ZVS 턴온 및 다이오드의 ZCS 턴오프를 성취한다. 변압기 3차측 권선을 조절하여 공진커패시터 전류를 감소시킬 수 있고, 스타트업 시 소자 스트레스가 없다. 3kW급 시제품을 제작하여 제안하는 컨버터의 타당성을 검증하였다.

참고 문헌

[1] G. Ivensky, S. Bronshtein, A. Abramovitz, "Approximate Analysis of Resonant LLC DC DC Converter," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 26, no. 11, pp. 3274-3284, Nov. 2011.