

전기자동차용 LDC를 위한 대전류측 필터를 제거한 인터리빙 공진형컨버터

이상혁, 문동욱, 박준성, 최세완
서울과학기술대학교

High Current Side Filterless Interleaved Resonant Converter for EV LDC

Sanghyuk Lee, Dongok Moon, Junsung Park, Sewan Choi
Seoul National University of Science and Technology

ABSTRACT

본 논문에서는 전기자동차용 저전압 직류 변환장치에 적합한 인터리빙 전류원 공진형 컨버터를 제안한다. 제안한 전류원 공진형 컨버터를 인터리빙하여 출력전류 리플을 완전히 제거함으로써 부피 및 효율에 큰 영향을 미치는 출력필터를 이론적으로 제거할 수 있다. 또한 $f_s=1/2*f_r$ 로 동작시키면 스위치와 다이오드 전 부하영역에서 ZCS 턴온 및 턴오프가 가능하며, 스위칭 주파수가 변동해도 전류의 di/dt 가 낮아 스위칭손실이 작은 장점이 있다. 입/출력 전압변동이 큰 응용에서는 스위치와 다이오드를 추가하여 2단 방식 컨버터로도 응용이 가능하다. 2kW급 시작품을 제작하여 제안하는 컨버터의 타당성을 검증하였다.

1. 서론

친환경자동차에서 사용되는 저전압 직류변환장치(Low voltage DC DC Converter, LDC)는 고전압으로부터 차량 내 전장시스템에 전력을 공급하는 저전압 보조배터리를 충전하는 중요 부품이다. LDC에 가장 일반적인 토폴로지는 위상천이 풀브리지 컨버터인데 출력필터 인덕터의 부피와 그에 따른 손실이 크고 스위치 턴오프 전류가 커 많은 손실을 발생시킨다. 또한 기존의 SRC나 LLC 등 전압원 공진형 컨버터는 출력커패시터의 큰 전류 리플로 인하여 매우 큰 용량의 커패시터가 필요하다. 또한 그림 1(a)와 같이 기존의 전압원 공진형 컨버터에 인터리빙을 적용하여 출력전류 리플을 줄이는 방법을 생각해볼 수 있으나 LDC응용과 같은 대전류 응용에서는 여전히 출력전류 리플이 크다.

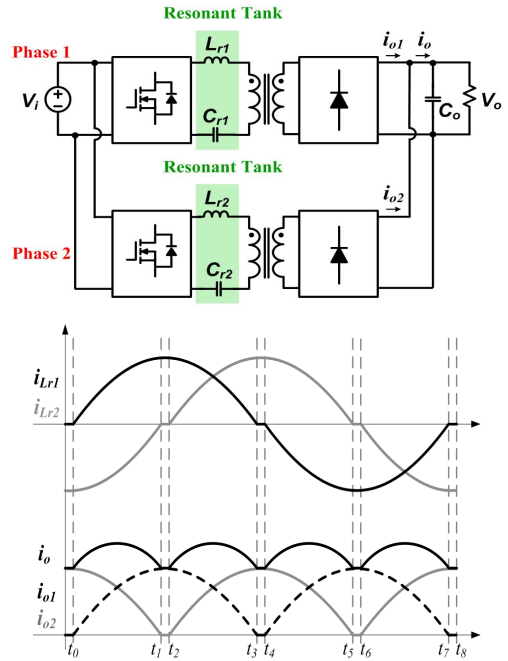
본 논문에서는 전류원 공진형 컨버터를 $f_s=1/2*f_r$ 지점에서 인터리빙 동작시키면 출력전류 리플을 완전히 제거할 수 있는 저전압 직류 변환장치를 제안한다. 이때 스위치, 다이오드 모두 전 부하영역에서 ZCS 턴온 및 턴오프가 가능하다. 스위치와 다이오드를 추가하여 2단 방식으로 2kW급 시작품을 제작하여 제안하는 컨버터의 타당성을 검증하였다.

2. 제안하는 저전압 직류 변환장치

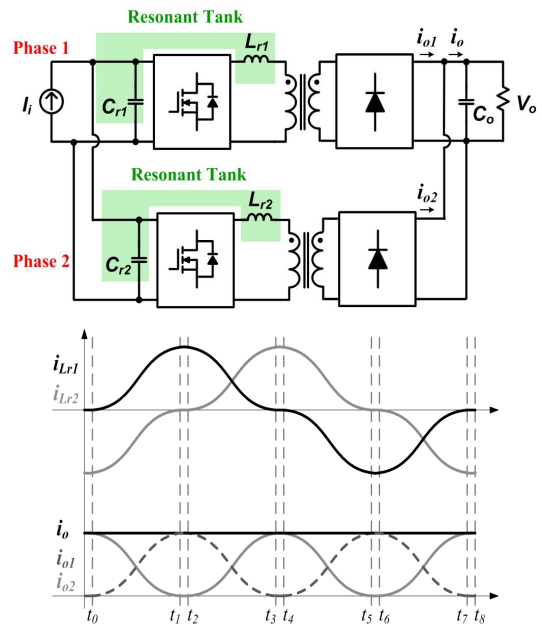
그림 1(b)는 제안하는 인터리빙 전류원 공진형 컨버터의 개념도와 주요파형이다.^[1] 공진회로에 의해 생성된 전류가 1,2차측 스위치, 다이오드에 흐르며 $f_s=1/2*f_r$ 지점에서 동작시키면 ZCS 턴온 및 턴오프를 하여 스위칭손실이 작다. 인터리빙 전류원 공진형 컨버터의 최종 출력전류 i_o 는 각 상 출력전류의 합이므로 최종 출력전류는 DC 성분만 남아있고 AC 성분은 상쇄되어 없어지는 것을 다음 식으로 확인할 수 있다.

$$i_o = i_{o1} + i_{o2}$$

$$= \frac{1}{2} I_o (1 - \cos(\omega t)) + \frac{1}{2} I_o (1 + \cos(\omega t)) = I_o \quad (1)$$



(a) 기존의 인터리빙 전압원 공진형 컨버터 ($f_s=f_r$)



(b) 제안하는 인터리빙 전류원 공진형 컨버터 ($f_s=1/2*f_r$)

그림1 인터리빙 공진형 컨버터 비교

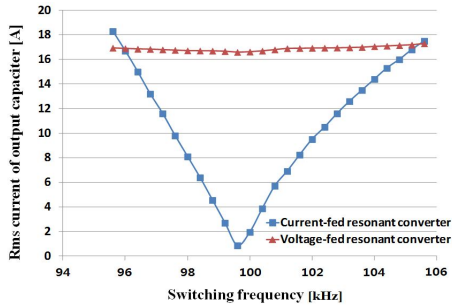
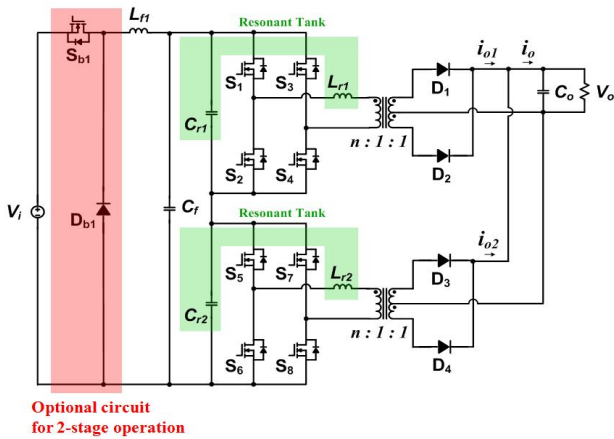


그림 2 주파수 변동에 따른 출력커패시터 리플전류 비교



Optional circuit for 2-stage operation

그림 3 실제 인터리빙 전류원 공진형 컨버터 구현회로

그러므로 이론적으로는 그림 1(b)의 출력 커패시터 C_o 가 필요치 않다. 한편 전압조정을 위해 주파수 제어를 하는 경우 리플전류가 발생하며 그림 2에 주파수 변동에 따른 출력커패시터 리플전류를 비교하였다. 주파수변동이 $\pm 5\%$ 이내에서는 기존 인터리빙 전압원 공진형 컨버터보다 출력전류 리플이 작은 것을 볼 수 있다. 또한 입/출력전압 변동이 큰 경우에는 그림 3과 같이 옵션회로를 추가하여 2단 방식으로 동작시킬 수 있다.^[2] 제안한 2단 방식은 절연부를 병렬 병렬로 구성하는 방식(그림 4)과 직렬 병렬로 구성하는 방식(그림 5)이 있다. 그림 4,5를 보면 병렬 병렬 구조는 공진소자 오차에 의한 각 상 전류불균형이 심하지만 직렬 병렬 구조는 병렬 병렬 구조에 비해 각 상 전류불균형이 작은 것을 확인할 수 있다. 그러므로 제안한 인터리빙 전류원 공진형 컨버터는 절연부를 직렬 병렬 구조로 구성

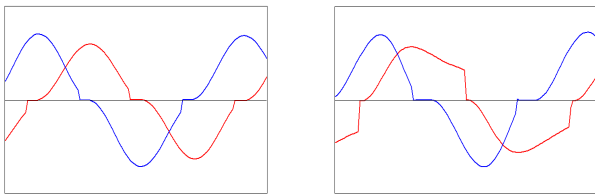


그림 4 병렬-병렬 구조시 공진소자 오차에 따른 공진전류 파형

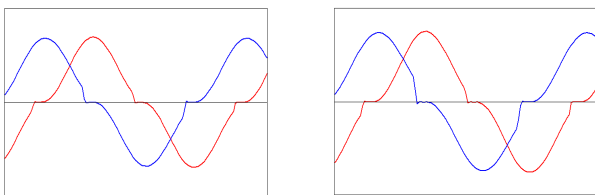


그림 5 직렬-병렬 구조시 공진소자 오차에 따른 공진전류 파형

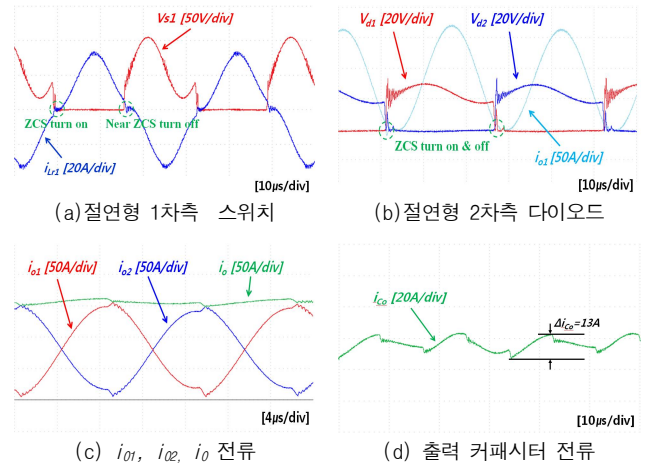


그림 6 제안한 컨버터의 실험파형

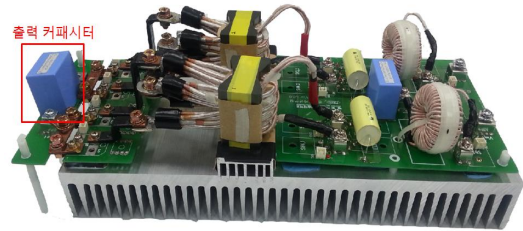


그림 7 스택 사진

하여 시작품을 제작하였다.

3. 실험 결과

제안한 컨버터의 타당성을 입증하기 위해 다음의 설계사양으로 제작한 후 실험파형을 그림 6에 나타낸다.

$$P = 2kW \cdot V_i = 200 \cdot 400V \cdot V_o = 12V \cdot f_s = 60kHz$$

$$\cdot n = 5 \cdot L_{r1,2} = 3.74\mu H \cdot C_{r1,2} = 470nF \cdot C_o = 100\mu F$$

그림 6는 제안한 컨버터의 실험파형이다. 그림 6(a),(b)는 제안한 컨버터의 절연부 1차측 스위치와 2차측 다이오드 파형으로 ZCS 턴온 및 턴오프 하는 것을 보여준다. 그림 6(c)는 각 상 출력전류 파형과 최종 출력전류 파형으로 출력전류 리플이 매우 작은 것을 확인할 수 있다. 그림 6(d)는 출력 커패시터 전류 파형이며 peak to peak 전류값은 13A, rms값은 3A로 매우 작은 리플전류를 가지는 것을 볼 수 있다. 그림 7은 제안한 컨버터의 스택사진으로 출력 커패시터가 작은 것을 보여준다.

4. 결론

본 논문에서는 전기자동차용 저전압 직류 변환장치에 적합한 인터리빙 전류원 공진형 컨버터를 제안한다. 제안한 컨버터는 스위치 개수는 많지만 LDC와 같이 전압변동이 큰 응용에 적합한 2단 방식에 가장 효과적인 토폴로지라 사료되며 대전류단 필터를 대폭 감소시킴으로서 전체 부피와 효율을 개선할 수 있으리라 기대된다.

참고 문헌

[1] 최세완, “공진형 DC DC 컨버터 및 이를 이용한 인터리빙 공진형 DC DC 컨버터”, 특허출원(10 2012 0156561)

[2] 박준성, 정병길, 권민호, 최세완, “친환경자동차용 5kW급 양방향 저전압 직류 변환장치 개발”, 전력전자학회 2012년도 추계학술대회 논문집, 2012. 11, pp. 97-98.