

출력필터의 크기를 줄인 전기자동차용 양방향 인터리브드 전류원 공진형 컨버터

문동욱, 박준성, 최세완
서울과학기술대학교

Bi-directional Interleaved Current-fed Resonant Converter with Reduced Size of Output Filter for EV

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

ABSTRACT

본 논문에서는 전기자동차용 양방향 인터리브드 전류원 공진형 컨버터를 제안한다. 제안한 전류원 공진형 컨버터(Current fed Resonant Converter, CRC)를 인터리빙하여 출력전류 리플을 이론적으로 완전히 제거함으로써 출력필터의 크기를 줄일 수 있다. 또한, 부하에 관계없이 스위치와 다이오드가 전 부하영역에서 ZCS 턴온 및 턴오프가 가능하여 스위칭 손실이 작은 장점이 있다. 2kW급 시제품을 제작하여 제안하는 컨버터의 타당성을 검증하였다.

1. 서론

최근 UPS, 신재생 에너지, 친환경 자동차, 에너지 저장장치 등의 분야에서 양방향 DC DC 컨버터에 대한 개발 요구가 증대되고 있다. 연료전지 자동차에 사용되는 저전압 직류변환장치(Low voltage DC DC Converter, LDC)는 고전압 배터리를 12V를 충전하는 중요 부품이다. LDC는 자동차 초기 구동시 연료전지 구동에 필요한 전압을 공급하는 승압 동작과 자동차의 12V 배터리 충전과 12V 악세사리 부품(헤드램프, 와이퍼, 라디오 등)에 전원을 공급하는 강압 동작을 한다.

LDC에 가장 일반적인 토폴로지는 위상천이 풀브리지 컨버터(Phase Shift Full Bridge, PSFB)이다^[2]. PSFB는 출력필터로 인덕터를 사용하는데 저전압 대전류 출력 쪽에 위치하기 때문에 인덕터의 부피가 크고 다이오드 리버스 리커버리에 따른 전압 서지에 의해 클램프 회로가 필수적이다. 또한, 배터리의 넓은 전압 범위 내에서 동작하기 위해 소자의 정격이 상승하는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 2단 방식 공진형 컨버터(Buck Boost+SRC)가 연구되어 왔다^[3]. 2단 방식의 장점으로서 절연부의 최적설계가 가능하고 공진으로 인해 절연부 스위치 및 다이오드의 소프트 스위칭이 가능하다. 하지만, 저전압 대전류 출력 측에 위치한 커패시터의 부피 및 가격이 큰 단점이 있다.

본 논문에서는 2단방식 양방향 인터리브드 CRC를 제안한다. 제안하는 인터리브드 CRC는 인터리빙의 효과로 출력전류 리플이 이론적으로 0이 되며 전 부하 영역에서 스위치 및 다이오드의 ZCS 턴온 및 턴오프가 가능하다. 2kW급 시제품을 제작하여 제안하는 컨버터의 타당성을 검증하였다.

2. 제안하는 2단 방식 인터리브드 CRC

그림 1(a)는 제안하는 CRC의 회로도이다. 제안하는 CRC는 입력 전류리플이 작고, 기본적으로 주파수 제어를 한다. 그림 1(b)는 제안하는 CRC의 전압이득 곡선이다. 제안하는 CRC의

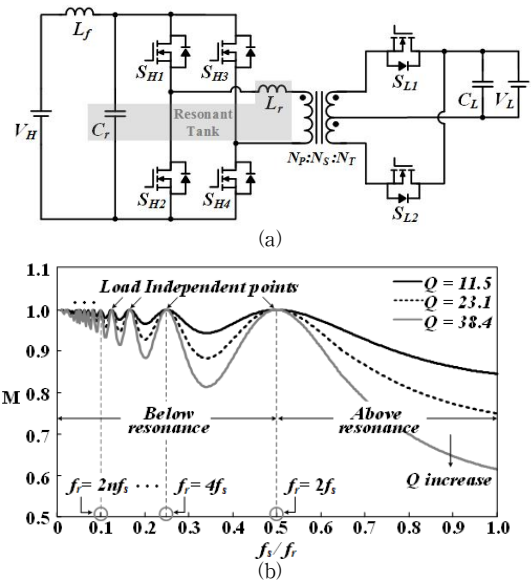


그림 1. 제안하는 양방향 CRC (a)회로도 (b)전압이득곡선

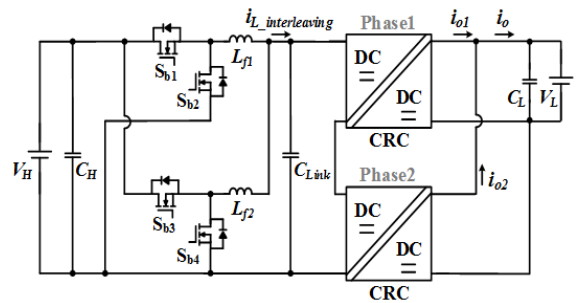


그림 2. 제안하는 CRC를 이용한 2단 인터리브드 양방향 컨버터

최적점(Load independent point)는 Below 영역에 다수 존재한다. 또한, Q는 Quality factor이며 전압이득 곡선의 기울기를 결정한다. 제안하는 CRC는 승압, 강압 모두 동일한 계인을 얻고 출력전류 리플을 제거시키기 위해 최적점에서 동작 시킨다. 그림 2는 제안하는 2단 방식 인터리브드 CRC이다. 비절연부는 인터리브드 벡 컨버터를 사용하여 전압 제어를 하며 벡 컨버터의 인덕터 전류가 CRC의 입력전류원의 역할을 한다. 그림 3은 제안하는 양방향 CRC의 최적점 스위칭 특성이며 제안하는 컨버터는 최적점에서 모든 스위치의 ZCS 턴 온 및 턴오프를 성취한다. 그림 4은 제안하는 인터리브드 CRC의 동작 파형이다. 각 상의 CRC는 동일한 공진 주파수를 가지며 $\pi/2$ 만큼의 위상차를 가지고 동작하며 최적점에서 출력전류는 다음과

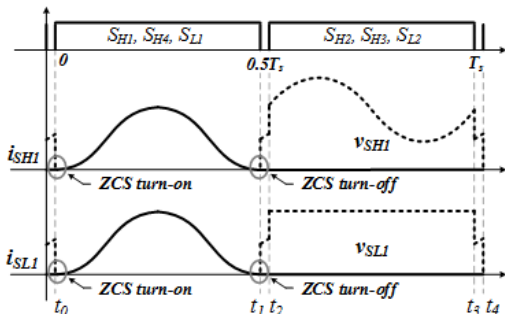


그림 3. 제안하는 양방향 CRC의 최적점 스위칭 특성

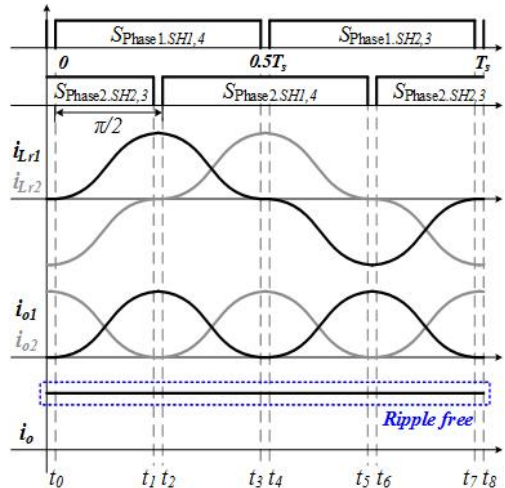


그림 4. 제안하는 양방향 인터리브드 CRC의 동작파형

같이 결정된다.

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

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

(1)

따라서, 식 (1)에 의해 인터리빙의 효과로 출력전류 리플이 완전히 제거됨을 알 수 있으며 저전압 대전류 출력 응용에서 큰 부피와 가격을 차지하는 출력 필터의 크기를 상당히 감소시킬 수 있다.

3. 실험 결과

제안한 컨버터의 타당성을 입증하기 위해 다음의 설계사양으로 제작한 후 실험파형을 그림 4에 나타내었다.

$$\cdot P = 2kW \cdot V_i = 400V \cdot V_o = 12V \cdot f_s = 65kHz \cdot L_{r1,2} = 0.55\mu H \cdot C_{r1,2} = 470nF \cdot C_o = 110\mu F \cdot N_p:N_s:N_t = 7:1:1$$

그림 5는 2kW급 시작품을 사진이며 출력 커패시터의 크기가 매우 작은 것을 확인할 수 있다. 그림 6(a)는 제안하는 컨버터의 비절연부 인터리빙 전류 파형이다. 그림 6(b)는 절연부 1차측 스위치와 공진전류 파형이며 스위치는 ZCS 턴온 및 턴오프 하는 것을 볼 수 있다. 그림 6(c)는 각 상 출력전류 파형과 최종 출력전류 파형으로 출력전류 리플이 매우 작은 것을 확인할 수 있다. 그림 6(d)는 제안하는 인터리브드 CRC의 출력 커패시터 전류 파형이며 전류 리플은 4.2Arms로 측정되었다. 그림 6은 측정효율 그래프이며 최고효율 94.1% 정격부하에서 93.1%를 달성하였다.

4. 결론

본 논문에서는 전기자동차용 2단 방식 양방향 인터리브드

CRC를 제안한다. 제안하는 CRC는 전부하 영역에서 모든 스위

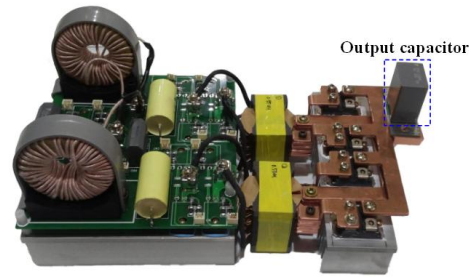


그림 5. 2kW 시작품 사진

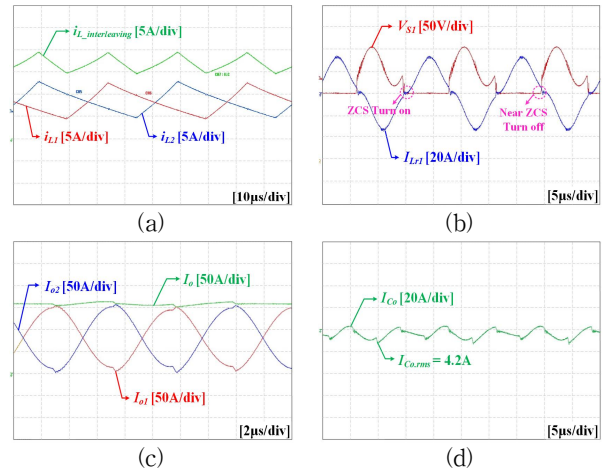


그림 6. 제안하는 2단 인터리브드 양방향 컨버터의 실험파형

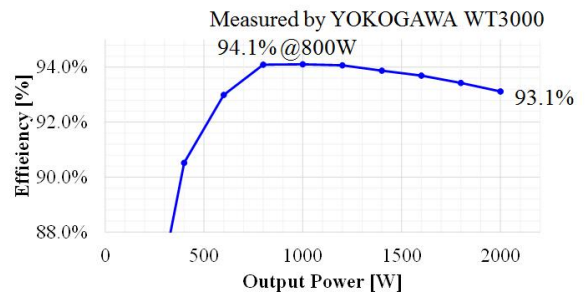


그림 7. 측정효율

치의 ZCS 턴온 및 턴오프를 성취하며 인터리빙의 효과로 출력전류 리플을 이론적으로 완전히 제거 할 수 있다. 따라서, 저전압 대전류 출력 응용에서 큰 부피와 가격을 차지하는 출력필터의 크기를 대폭 줄일 수 있다. 2kW급 시작품을 통해 제안한 컨버터의 타당성을 검증하였고 최고효율 94.1% 정격부하에서 93.1%를 달성하였다.

참고 문헌

- [1] 최세완, "공진형 DC DC 컨버터 및 이를 이용한 인터리빙 공진형 DC DC 컨버터", 특허출원(10 2012 0156561)
- [2] F. Krismer and J. W. Kolar, "Accurate power loss model construction of a high current dual active bridge converter for an automotive application," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 57, no. 3, pp. 881-891, Mar. 2010.
- [3] X. Yu and P. Yeaman, "A New High Efficiency Isolated Bi Directional DC DC Converter for DC Bus and Battery Bank Interface", in Proc. APEC, 2014, pp. 879-883.