

강압 응용에 적합한 새로운 전류원 공진형 컨버터

문동욱, 이상혁, 최세완

서울과학기술대학교

A New Current Fed Resonant Converter Suitable for Step Down Application

Donggok Moon, Sanghyuk Lee, Sewan Choi

Seoul National University of Science and Technology

ABSTRACT

본 논문에서는 새로운 전류원 공진형 컨버터를 제안한다. 제안한 컨버터는 입력전류 리플이 작으며 모든 스위치와 다이오드의 ZCS 턴온/턴오프를 성취하며 턴온/턴오프 전류의 di/dt 가 0이다. 또한, 인터리빙 시 출력전류 리플을 이론적으로 완전히 제거할 수 있다. 제안하는 컨버터의 동작원리를 제시하고 실험을 통하여 타당성을 검증하였다.

1. 서론

최근 신재생 에너지의 보급화와 함께 에너지 저장시스템에 대한 관심이 높아짐에 따라 전력변환 장치에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 전력변환기를 구성하는 DC/DC 컨버터는 스위칭 주파수를 높여 부피를 저감하기 위하여 소프트 스위칭의 적용이 필수적이다. 소프트 스위칭을 달성하기 위한 방법으로는 PWM 컨버터와 공진형 컨버터가 있는데, PWM 방법에 비해 공진형 컨버터는 EMI가 작고 스위칭 손실이 작은 장점이 있다. 기존 공진형 컨버터로 SRC, PRC, LLC 등은 전압원 형태이며, 입력전류 리플이 크다.

본 논문에서는 새로운 전류원 공진형 컨버터를 제안한다. 제안하는 컨버터는 입력 전류 리플이 작으며, 변압기의 누설 인덕터를 공진 소자로 사용한다. 공진에 의해 스위치와 다이오드의 ZCS 턴온/턴오프가 가능하며, 턴온/턴오프시 전류의 di/dt 가 0에 가깝다. 따라서 스위칭 손실이 작으며, 인터리빙 시 출력전류 리플을 이론적으로 완전히 제거할 수 있으므로 저전압·대전류 출력응용에 적합하다.

2. 전류원 공진형 컨버터 해석

제안하는 컨버터는 그림 1과 같이 구성되며, L_r 가 전류원이 되어 입력전류 리플이 작다. 그림 2는 제안하는 컨버터의 동작 파형이다. 제안하는 컨버터는 0.5의 고정된 시비율과 공진 주파수의 0.5배의 스위칭 주파수로 동작 시킨다. 또한, C_r 에는 부하 전류를 제외한 작은 공진 전류만 흐르기 때문에 전압원 컨버터에 비해 C_r 선정이 유리하다. 제안하는 컨버터는 $t_1 \sim t_2$, $t_3 \sim t_4$ 구간 동안 L_r , C_r 에 의한 공진 루프가 형성되며, 각 구간에 대한 공진 등가 회로는 그림 3과 같다. 공진에 의한 영향으로 모든 스위치와 다이오드는 ZCS 턴온/턴오프를 성취한다. 그림 4는 스위치 및 다이오드의 전류파형이다. 제안하는 컨버터는 턴온/턴오프시 전류의 di/dt 가 0에 가깝기 때문에 스위칭 손실이 작다.

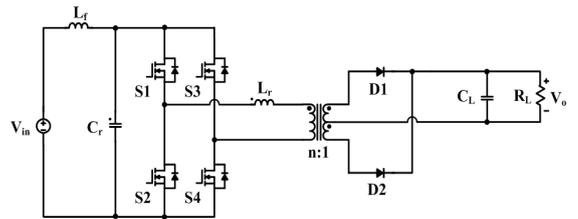


그림 1. 제안하는 전류원 공진형 컨버터

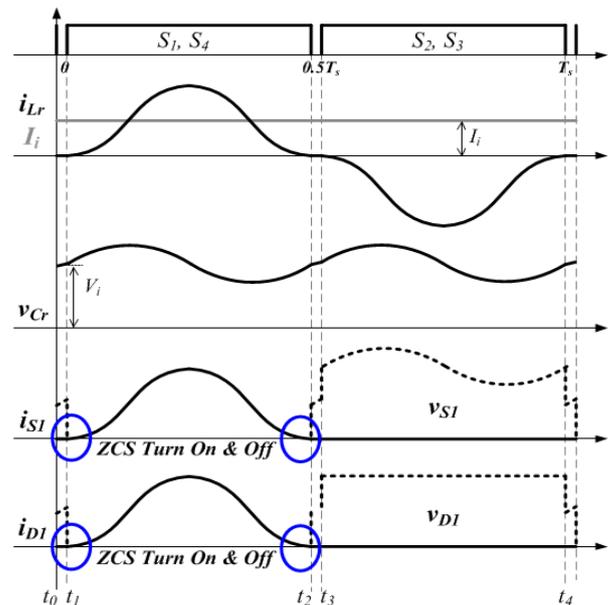


그림 2. 제안하는 컨버터의 동작 파형

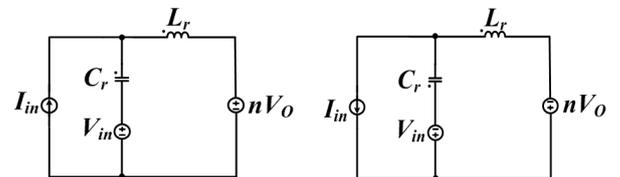


그림 3. 제안하는 컨버터의 공진 등가회로

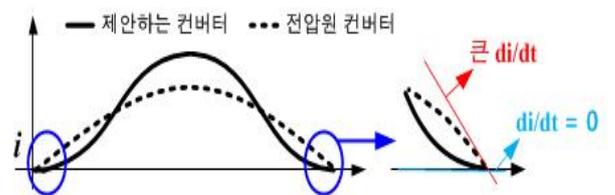


그림 4. 최적점 동작시 스위치 및 다이오드 전류 비교

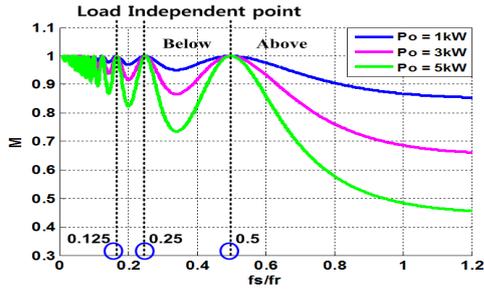
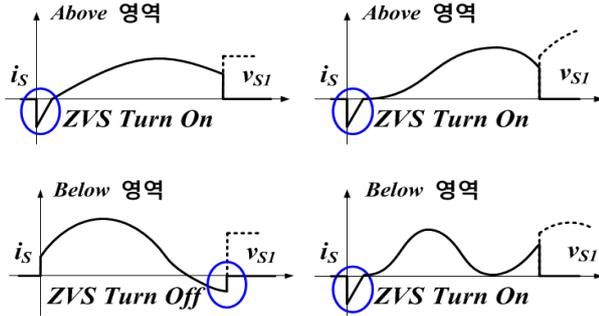


그림 5. 제안하는 컨버터의 게인 곡선



(a) 기존 전압원 방식 (b) 제안하는 방식
그림 6. 기존 방식과 제안하는 방식의 스위칭 특성 비교

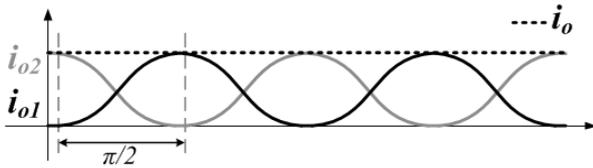


그림 7. 제안한 컨버터 인터리빙의 효과

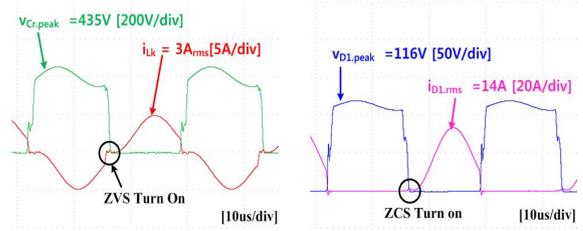
$$M = \frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{n + \frac{1}{n} \cdot \frac{1}{R_L \cdot \pi} \sqrt{\frac{L_r}{C_r}} \cdot \frac{\omega_s}{\omega_r} \cdot (1 - \cos \frac{\omega_r}{\omega_s} \pi)} \quad (1)$$

식 (1)은 제안하는 컨버터의 전압 전달비이다. 그림 5는 주파수 변화에 따른 게인 곡선을 그린 것이다. 컨버터는 f_s/f_r 가 0.5의 1/n배 되는 주파수 지점에서 부하에 관계없이 게인이 1이 된다. 그림 6은 기존 전압원 컨버터와 제안하는 전류원 컨버터의 영역별 스위칭 특성이다. Above 영역의 스위칭 특성은 동일하며 Below 영역에서 기존 방식은 하드스위칭 턴온하고 ZVS 턴오프하는 반면, 제안하는 방식은 ZVS 턴온을 하기 때문에 MosFet 사용 시 제안하는 방식이 스위칭 손실 측면에서 유리하다. 그림 7은 제안하는 컨버터의 인터리빙 시 각상의 출력전류와 최종 출력전류 파형을 나타내며, 출력전류 리플이 완전히 제거됨을 알 수 있다. 따라서 저전압-대전류 출력응용에서 제안하는 컨버터를 인터리빙 시켜 적용하면 큰 비중을 차지하는 필터 커패시터의 크기를 큰 폭으로 줄일 수 있는 장점이 있다.

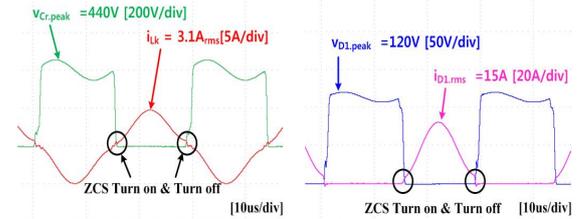
3. 실험 결과

제안하는 컨버터의 타당성을 입증하기 위해 다음의 설계사양으로 제작한 후 실험파형을 그림 8,9에 나타낸다.

$$\begin{aligned} \cdot P_o &= 1kW \cdot V_{in} = 400V \cdot V_o = 56V \cdot f_s = 35kHz \cdot L_f = 500\mu H \\ \cdot L_r &= 50\mu H \cdot C_r = 0.16\mu F \cdot C_f = 440\mu F \cdot N_{rp} = 42 \cdot N_s = 6 \end{aligned}$$



(a) 스위치 전압, Lr 전류 (b) 다이오드 전압, 전류
그림 8. 제안하는 컨버터의 above 영역 실험파형



(a) 스위치 전압, Lr 전류 (b) 다이오드 전압, 전류
그림 9. 제안하는 컨버터의 최적점 실험파형

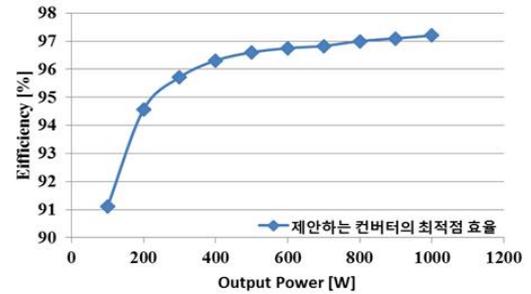


그림 10. 측정 효율 (Yokogawa WT3000 측정)

그림 8은 제안하는 컨버터의 Above영역 실험파형이고 그림 9는 최적점 실험 파형이다. 실험 파형이 동작 파형과 동일하게 나온 것을 확인 할 수 있다. 그림 10은 제안한 컨버터의 실험 효율 그래프이다. 제안하는 컨버터는 전 부하 영역에서 91.6% 이상의 효율을 보이며, 1kW에서 최고 효율 97.2%가 측정되었다.

4. 결론

본 논문에서는 새로운 전류원 공진형 컨버터를 제안한다. 제안하는 컨버터는 L_r 가 전류원이 되어 입력전류 리플이 작으며, 모든 스위치와 다이오드의 ZCS 턴온/턴오프를 성취한다. 또한, 턴온/턴오프 시 전류의 di/dt가 0에 가깝기 때문에 스위칭 손실이 거의 없다. 인터리빙 적용 시 출력전류 리플을 이론적으로 완전히 제거할 수 있기 때문에 저전압-대전류 응용에 적합하다. 1kW급 시작품을 제작하여 제안하는 컨버터의 성능을 확인하였고 정격부하에서 최고효율 97.2%를 달성하였다.

참고 문헌

- [1] 최세완 “공진형 DC DC 컨버터 및 이를 이용한 인터리빙 공진형 DC DC 컨버터”, 특허출원(10 2012 0156651).
- [2] S. Jalbrzykowski and T. Citko, “Current fed resonant full bridge boost DC/AC/DC converter”, *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 55, no. 3, pp. 1198 1205, Mar. 2008.