

LCC 공진형 컨버터를 적용한 산업용 전원장치 응용연구

안석호, 장성록, 김형석, 류홍제[†]
한국전기연구원

The Design and Applications of LCC Resonant Converter

Suk Ho Ahn, Sung Roc Jang, Hyoung Suk Kim, Hong Je Ryoo[†]
Korea Electrotechnology Research Institute

ABSTRACT

본 논문에서 소개하는 연속 도전모드로 동작하는 LCC 공진형 컨버터는 턴 오프 손실을 줄이기 위해 사용되는 무손실 스너버 커패시터의 커패시턴스를 효과적으로 키움으로써, 스위칭 손실을 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 정격 부하 조건에서 공진과형을 개선하여 도전 손실을 줄임으로써 고효율을 달성할 수 있는 장점을 가진다.

본 논문에서는 연속 도전모드로 동작하는 LCC 공진형 컨버터의 해석 방법을 설명 하고, 이를 60kW 전기자동차 급속 충전기, 24kJ/s 고전압 커패시터 충전기 그리고 20kV 20kW의 DC 전원장치에 적용하기 위해 설계 한다. 설계에 의해 제작된 전원장치의 시뮬레이션 결과와 다양한 실험 결과를 통해서 설계된 컨버터의 타당성과 우수성을 검증한다.

1. 서 론

전력변환 장치의 높은 전력 밀도, 높은 효율에 대한 요구를 만족 시키기 위하여 스위칭 방식의 컨버터는 가장 기본적인 형태인 PWM 컨버터로부터 공진형 컨버터, 소형 전원장치에 사용되는 쿼지 공진형 컨버터 그리고 소프트 스위칭 PWM 컨버터에 이르기까지 지속적인 발전을 거듭해 왔으며, 전원원 특성을 필요로 하는 고전압 전원장치 또는 정격 운전이 중요시 되는 전원장치 분야를 중심으로 공진형 컨버터가 사용되고 있다.

본 논문에서는 이러한 특정 전원장치 분야를 중심으로 공진형 컨버터의 확대 적용을 위해, 전류원으로 동작하면서, 정격에서의 효율을 극대화한 연속 도전모드로 동작하는 LCC 공진형 컨버터를 소개하며, 이를 적용하여 개발된 60kW 전기자동차 급속 충전기, 24kJ/s 고전압 커패시터 충전기 그리고 20kV 20kW의 DC 전원장치에 주요 실험 결과를 제시한다.^[1-3]

2. LCC 공진형 컨버터

그림 1과 그림 2는 LCC 공진형 컨버터의 다이어그램과 모드에 따른 공진 전류와 전압 파형을 나타낸다. 기존 직렬 부하 공진형 컨버터의 형태에서 추가적으로 변압기 2차측과 부하에 병렬인 커패시터를 추가한 형태이다. 추가적인 커패시터는 공진전류 초반에 전류가 이 커패시터를 통하여 흐르면서 전류를 급격히 상승시켜 사다리꼴 형태의 전류 모양으로 기존 사인파 형태의 전류보다 동일 주파수로 운전되는 경우 실효전류를 증

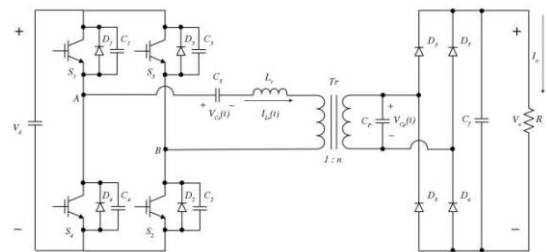


그림 1 LCC 공진형 컨버터 다이어그램
Fig. 1 Diagram of LCC Resonant Converter

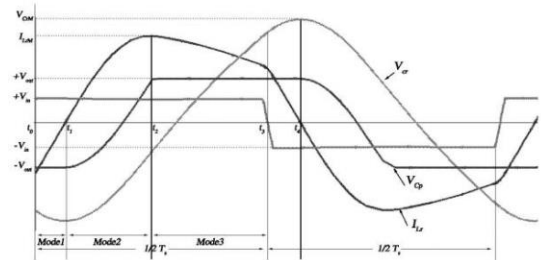


그림 2 LCC 공진형 컨버터의 공진 전류(i_{Lr})와 전압(V_{cr})
Fig. 2 Resonant Current(i_{Lr}) and Voltage(V_{cr})
Waveform of LCC Resonant Converter

대할 수 있으며, 같은 부하전류를 가지는 조건에서는 최대값을 낮게 가짐으로써, 도통손실을 줄일 수 있으며 턴 오프 시 흐르는 전류를 줄여 턴 오프 손실을 저감할 수 있다. 또한 커패시터에 의해 빠르게 상승되는 전류는 공진 인덕터에 저장된 에너지를 증가시키며 이는 스위칭 손실을 줄이기 위해 사용되는 무손실 스너버 커패시터의 극성이 바뀌는 Freewheeling 구간에서의 에너지이며, 이 에너지의 증가로 인해 무손실 스너버 커패시터의 크기를 효과적으로 크게 키움으로써 턴 오프 손실을 저감할 수 있다.

3. LCC 공진형 컨버터를 적용한 산업용 전원장치 응용연구

LCC 공진형 컨버터의 장점을 활용하여 정격부하영역에서 동작하며 경부하영역의 사용이 제한적인 전기자동차 급속충전기와 전원원 특성을 필요로 하는 고전압 커패시터 충전기 및 DC 충전기가 개발되었으며, 각각의 사양은 표 1과 같다.

표 1 개발된 전원장치 사양

Table 1 Specification of developed power supplies

사양	전기자동차 급속충전기	24kJ/s 커패시터 충전기	20kV, 20kW DC 전원장치
최대출력전압	500V	12kV	20kV
최대출력전류	150A	4A	1A
최대출력	60kW	48kW	20kW
최대효율	97%	96%	98%
개발품사진			

그림 3, 그림 4, 그림 5는 개발된 전원장치의 응용실험 결과로, 제안된 LCC 공진형 컨버터가 다양한 응용분야의 전원장치에 적용할 수 있음을 확인하였다.

개발된 전기자동차 급속 충전기는 60kW 급으로, 출력전압 500V의 10kW DC/DC 전력모듈 6개의 병렬연결로 제작되었다. 실험을 통해, 10kW DC/DC 전력모듈의 최대 효율은 98.5%로 측정되었으며, 정류부 효율을 포함한 60kW AC to DC 최대 효율은 97%로 측정되었다. 320V급 실배터리 부하를 사용한 급속 충전시의 효율은 95.96%로 측정되었다. 급속 충전기로써의 성능 검증을 위하여 다양한 배터리 충전 시험이 진행되었으며, 320V, 19.2kW LiFePO4 배터리 충전시험 결과, SOC 10%부터 90%까지 충전 소요시간은 17분으로 측정되었다. 검증을 통해 개발된 전기 자동차 급속 충전기는 충전효율 및 충전시간 등 제시된 사양을 만족하며, LCC 공진형 컨버터가 전기 자동차 급속 충전기에 적합함을 보인다.

개발된 24kJ/s 고전압 커패시터 충전기는 820 W/liter의 높은 전력밀도, 저항 부하 실험 결과 최대 효율 96%의 고효율, 빠른 충전 시간을 달성하였음을 통해, 제안한 컨버터가 이러한 고전압 전원장치에 활용함에 있어 장점을 확인하였다.

자이로트론, 레이더, 마그네트론, 선형 가속기 등과 같은 고전압 전원응용 분야를 목적으로 출력전압의 리플, 제어 정밀도, 낮은 아크에너지 측면에서 고성능의 20kV, 20kW의 고정밀 고전압 DC 전원장치의 구현을 위해 제안된 컨버터를 적용하였으며, 성능 검증을 위한 실험결과, 최대 효율은 98%의 높은 효율을 달성하였으며, 상대적으로 적은 출력 필드 커패시터(6.67nF)를 가지면서도 작은 전압 리플율(0.05%)을 가진다. 또한, 넓은 출력 전압 가변범위 (500V에서 20kV)로 갖는 광범위한 부하 전압 제어 범위를 달성하였다. 이를 통해 제안한 컨버터가 이러한 응용 분야에 효과적으로 응용될 수 있음을 보인다.

3. 결론

본 논문에서는 연속도전모드에서 운전되는 부하 공진형 컨버터를 바탕으로 기존의 연속도전모드의 직렬 부하 공진형 컨버터의 단점을 개선하여 정격 운전 조건에서 턴 오프 손실 및 도전 손실을 저감하여 효율 및 전력밀도 측면에서 향상된 LCC 공진형 컨버터를 소개하고, 다양한 산업용 전원장치 응용연구에 적용하였다.

제작된 전원장치의 실험결과를 통해 LCC 공진형 컨버터가 다양한 응용분야에 효과적으로 적용 가능함을 확인하였다.

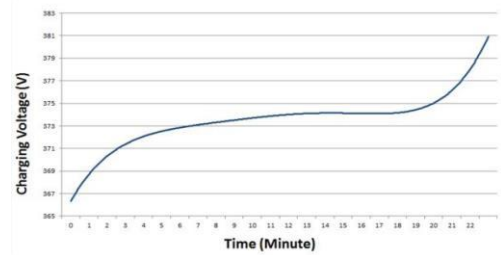


그림 3 60kW 전기자동차 급속 충전기 320V 60Ah LiFePO2 충전시간 측정결과
Fig. 3 Charging Time Measurement Results for 320V 60Ah LiFePO2

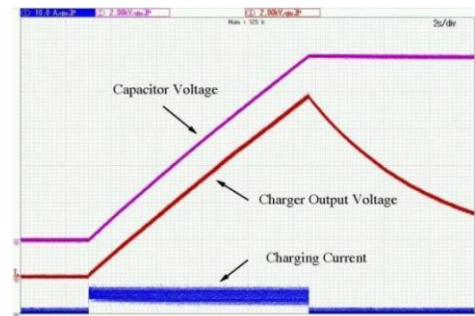


그림 4 24kJ/s 커패시터 충전기 4mF 커패시터 충전 실험 결과
Fig. 4 Experimental result of 4mF Capacitor Charging Test

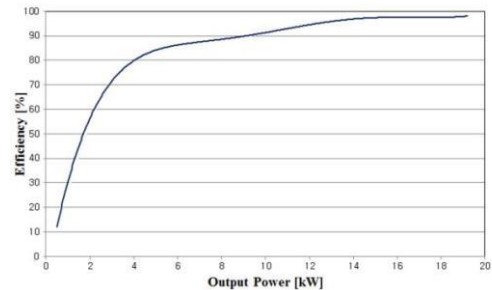


그림 5 20kV 20kW 고전압 DC 전원장치 효율 측정 결과
Fig. 5 Efficiency Measurement Result

참고 문헌

- [1] S.H. Ahn, et al., "Design and Implementation of Enhanced Resonant Converter", Journal of Electrical Engineering & Technology, vol.9, no.1, pp.143-153, Jan. 2014
- [2] J.W. Gong, et al., "Design and Implementation of a 40 kV, 20 kJ/s Capacitor Charger for Pulsed Power Application," Plasma Science, IEEE Transactions on , vol.42, no.11, pp.3623-3632, Nov. 2014
- [3] S.H. Ahn, et al., "Low Ripple and High Precision High Voltage DC Power Supply for Pulsed Power Applications," Plasma Science, IEEE Transactions on , vol.42, no.10, pp.3023-3033, Oct. 2014