

향상된 직렬 부하 공진형 컨버터 토폴로지를 이용한 10kW DC/DC 컨버터

안석호*, 공지웅*, 장성록**, 류홍제**
 과학기술연합대학원대학교*, 한국전기연구원**

10kW DC/DC Converter using Modified Series Loaded Resonant Topology

Suk Ho Ahn*, Gong Ji Woong*, Sung Roc Jang**, Hong Je Ryoo**
 University of Science & Technology*, Korea Electrotechnology Research Institute**

ABSTRACT

This paper proposes a modified converter topology from the existing loaded resonant converter and describe the development of 10kW(50~500V, 0~50A) DC/DC Converter using the proposed topology. The suggested converter, which revised the topology of the converter operating on the CCM(Continuous Conduction Mode) (above resonance), has the advantage of enhancing the efficiency of rated load operation by rapidly increasing the primary side resonant current and by improving the resonance current in a trapezoid shape. The proposed topology is described with analysis of operating mode and designed using PSpice simulation and the points on design to consider when implementing the topology are described. It is verified that the advantages of the proposed topology centered on rated load are effectively highlighted. Experimental results carried out at different condition and its results shows 98.5% efficiency at full load condition.

1. 서 론

컨버터의 전력밀도를 증가시키기 위해 스위칭 주파수를 증가시키면서 스위치 모드 동작에 의해 발생하는 스위칭 손실과 EMI를 줄이기 위한 직렬 공진형 컨버터, 병렬 공진형 컨버터, 하이브리드 공진형 컨버터 등의 다양한 공진형 컨버터들이 연구되어 왔다.^[1-3] 본 논문에서는 공진 주파수 이상 동작 모드에서 공진전류가 연속적으로 흐르는 연속 도전모드에서 동작하는 직렬 부하공진 컨버터를 향상시킨 토폴로지를 소개한다.

2. 향상된 직렬 부하 공진형 컨버터

2.1 제안된 토폴로지의 개요

본 논문에서 제안하는 토폴로지의 형태는 그림 1과 같다. 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

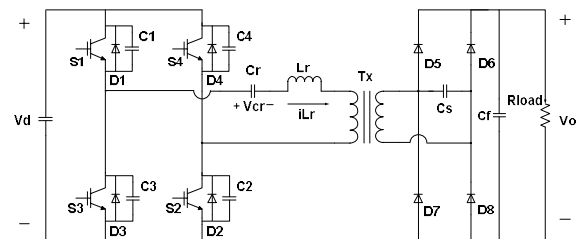


그림 1 제안된 컨버터 다이어그램
 Fig. 1 Diagram of Proposed Converter

실효전류를 증대할 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 있는 구조이다.

2.2 제안된 토폴로지의 모드 분석

본 논문에서 제안하는 토폴로지의 공진 전류 파형과 전압파형은 그림 2와 같으며, 다음과 같이 모드 해석된다.

모드 1: 스위칭 소자가 턴 온되고, 공진 전류 I_L 은 공진 인덕터(L) 변압기 1차측(TX) 및 공진커패시터(C_r)를 통하여 흐르게 된다. 이때 변압기 1차측으로부터 유기된 변압기 2차측 전류는 병렬로 연결된 작은 값의 커패시터(C_s)로 인하여 빠르게 상승하며 커패시터(C_s)를 충전하게 된다.

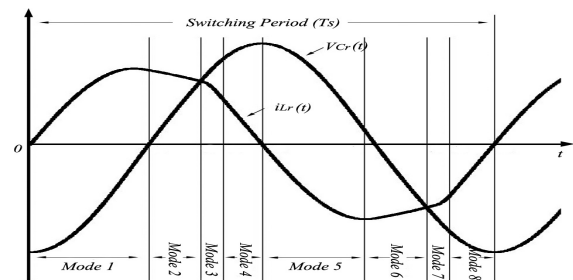


그림 2 제안된 컨버터의 공진 전류(i_{Lr})와 전압(V_{Cr}) 파형
 Fig. 2 Resonant Current(i_{Lr}) and Voltage(V_{Cr}) Waveform of Proposed Converter

모드 2 : 부하전류에 의해 커패시터(C2)가 변압기 2차측 전압과 동일하게 충전되면, 부하 전류는 정류다이오드를 통하여 부하에 흐르게 된다.

모드 3 : 스위치가 턴 오프되며, 공진인덕터에 흐르던 전류는 모드 2에서 턴 오프된 스위치에 병렬로 연결된 스너버 커패시터 충전, 턴 오프된 스위치의 다른 스위치에 병렬로 연결된 스너버 커패시터 방전하며 Freewheeling하게 된다.

모드 4 : 인덕터에 흐르는 Freewheeling 전류는 스위치에 병렬로 연결된 다이오드를 통하여 흐르게 되며, 전원전압에 의해 급격히 감소하게 되고 스위치 전압은 영전압에 가깝게 되며 영전압 조건에서 스위치를 턴 온한다.

2.3 제안된 토폴로지의 설계

그림 3은 제안된 컨버터의 PSpice 시뮬레이션 모델 및 구조이며, 이를 통해 설계 파라미터를 최적화 하였다.

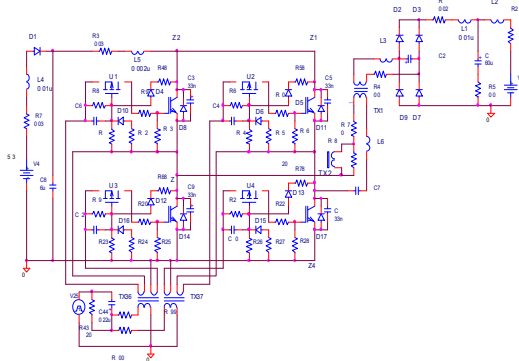


그림 3 제안된 컨버터의 PSpice 시뮬레이션모델
Fig. 3 Simulation model of Proposed Converter

2.4 실험결과

그림 4의 실험을 통해 제안된 컨버터의 스위칭 주파수 변화(24kHz~77kHz)에 따라, 전압 0~500V, 전류 0~25A까지 출력됨을 확인 할 수 있으며, 그림 4는 스위칭주파수 변화에 따른 공진 전류, 게이트 신호, 출력 전류와 출력 전압의 파형을 나타낸다. 그림 5는 제안된 컨버터의 효율 곡선을 나타내며, 0.3PU부터 효율이 90%넘고, 최대정격에서의 효율이 98.5%임을 나타낸다.

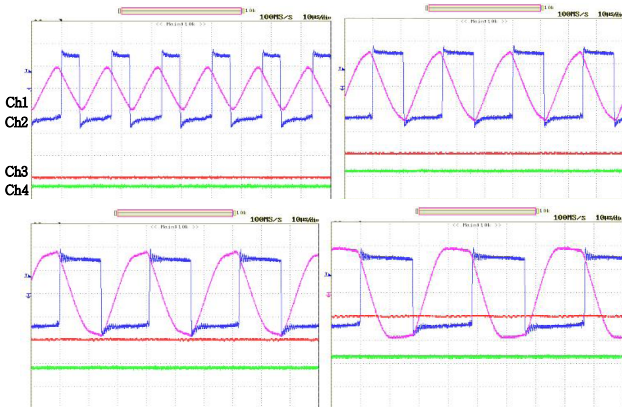


그림 4 공진 전류(Ch1:20A/div), 게이트 신호(Ch2), 출력 전류(10A/div) 및 전압(100V/div) 파형
Fig. 4 Resonant Current(Ch1:20A/div), Gate Signal(Ch2), Output Current(10A/div) and Voltage(100V/div)

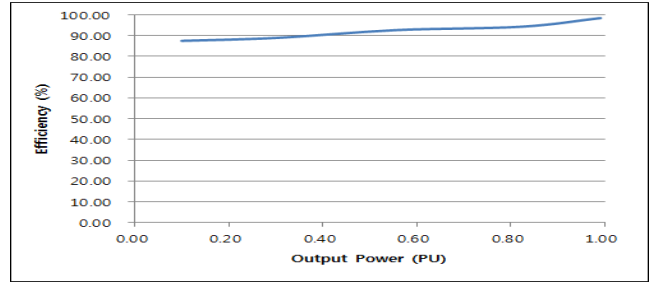


그림 5 제안된 컨버터의 효율 곡선
Fig. 5 Efficiency of Proposed Converter

표 1 적용된 토폴로지를 적용한 10kW DC/DC 컨버터 설계파라미터
Table 1 Design Parameters of 10kW DC/DC Converter

직류 입력전압, Vd	513Vdc±10%
출력 전압, Vo	0~500V
출력 전류, Io	0~25A
최대 출력, Po	10kW
Resonant Inductance, Lr	115uH
Resonant Capacitance, Cr	3uF
Second Resonant Capacitance, Cs	0.204uF
변압기 턴비, n	17:14
스위칭 주파수, fs	24kHz 77kHz
Snubber Capacitance, C1~C4	33nF
크기(mm)	240*270*180 (W*D*H)
무게	8kg
최대 효율	98.5%

표 1은 제안된 컨버터의 설계파라미터와 사양을 나타내며, 제안된 토폴로지를 활용함에 따라 소자의 크기와 무게가 줄고, 방열크기를 줄이게 됨에 따라 제작된 컨버터는 부피당 전력밀도 860(W/l), 질량당 전력밀도 125 kW/kg 의 소형화하고 경량으로 제작되었음을 확인할 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 기존의 부하 공진형 컨버터를 개선한 새로운 형태의 컨버터 토폴로지를 제안하고, 각 동작 모드를 분석하였으며, PSpice 시뮬레이션을 통해 제안된 토폴로지를 이용한 고 효율의 10kW DC/DC 컨버터를 설계하였다.

본 논문에서는 제안된 토폴로지를 적용한 DC/DC컨버터를 다양한 부하를 가지고 시험하였으며, 50~500V, 0~50A의 넓은 동작범위를 가지며, 최대 효율 약 98.5%의 높은 효율을 가짐을 증명함으로써 제안된 토폴로지의 장점을 효과적으로 증명하였으며, 다양한 응용분야에 적용 가능함을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] V. Vorperian and S. Ćuk, "A Complete DC Analysis of the Series Resonant Converter," IEEE Power Electronics Specialists Conference, pp. 85 100, June 1982.
- [2] Johnson, S.D.; Erickson, R.W.; "Steady state analysis and design of the parallel resonant converter," Power Electronics, IEEE Transactions on, vol.3, no.1, pp.93 104, Jan 1988
- [3] Bellar, M.D.; Wu, T.S.; Tchamdjou, A.; Mahdavi, J.; Ehsani, M.; "A review of soft switched DC AC converters," Industry Applications, IEEE Transactions on, vol.34, no.4, pp.847 860, Jul/Aug 1998