

LLC 공진형 컨버터를 적용한 철도차량용 보조전원장치에 대한 연구

전병진
(주) 우진산업

A Study on Auxiliary Power Supply for Railway Vehicle adapted a LLC Resonant Converter

Jone Byoung Jeon
Woojin Industrial System Co.Ltd

ABSTRACT

철도차량에서 일반적으로 사용되는 상용전원은 보조전원장치(이하 SIV)로 불리는 전력변환장치로부터 공급된다. 본 논문에서는 LLC 공진형 컨버터를 적용하여 스위치의 영진압 스위칭(Zero-Voltage-Switching, ZVS)을 통해 높은 효율을 달성하고, 고속스위칭에 의해 인덕터, 커패시터, 트랜스포머와 같은 소자의 부피를 줄이고 시스템의 효율을 높여 기존의 보조전원장치보다 약 40%이상 소형 경량화가 가능한 보조전원장치에 대한 연구를 소개한다.

1. 서 론

최근의 철도차량은 대량의 여객수송과 화물수송에 있어 중추적인 역할을 하고 있다. 철도수송에 있어 에너지 효율에 대한 중요성이 점점 증가하고 있어 차량의 설계에 있어서도 소형경량화, 고효율성의 전력변환장치에 대한 연구의 필요성이 증가하고 있다.

철도차량에서 보조전원장치는 고압의 가선전압을 상용전원으로 변환하여 차량내부의 형광등, 제동을 위한 에어 컴프레서용 전원, 그리고 에어컨 및 여러가지 장치들에 공급한다. 그러나 기존의 보조전원장치들은 입력측의 고압전원과 출력측의 상용전원과의 전기적인 절연을 위해 필수적으로 대용량의 트랜스포머를 사용하고 있으며 그때마다 장치의 크기와 중량이 상당히 커지는 단점을 가지고 있다.

LLC 공진형 컨버터는 고속의 스위칭을 사용함에 따라 절연을 위한 트랜스포머의 크기를 획기적으로 줄일 수 있으며 영진압 스위칭을 통해 효율 또한 높일 수 있다. 본 논문에서는 LLC 공진형 컨버터를 이용하여 설계된 철도차량용 보조전원장치를 소개하며, 제안된 제어기법들과 그 효율성은 시뮬레이션과 실험을 통해 입증하였다.

2. LLC 공진형 컨버터 기반의 SIV

2.1 LLC공진형 컨버터를 적용한 철도차량용 SIV

일반적으로 철도차량의 SIV는 DC 1,500[V], 또는 AC 25[kV]의 가선전압을 입력받는다. AC전압의 경우에는 트랜스포머로 약 1,500[Vrms]로 강압하여 정류된 DC전압을 통해 3상 인버터로 상용 교류전원으로 변환하여 공급한다.

출력측의 장치보호를 위해 SIV는 반드시 입력측과 전기적인

절연을 필요로 하기 때문에 출력측에는 항상 대용량의 트랜스포머가 사용사용되므로 장치의 크기와 중량이 상당히 크다는 단점을 가지고 있다.

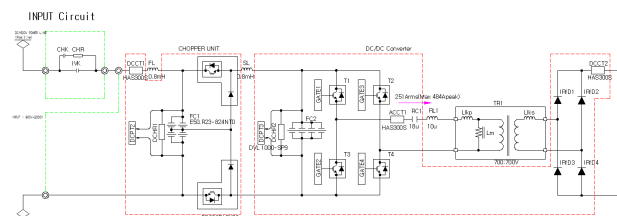


그림 1 공진형 컨버터를 적용한 철도차량용 SIV 컨버터부
Fig. 1 SIV converter for Railway vehicle adapted LLC resonant converter

그림 1은 LLC공진형 컨버터를 적용한 철도차량용 SIV의 주 회로를 나타내고 있다. 공진형 컨버터는 고속 스위칭을 하는 IGBT와 출력전과정류용 다이오드, 그리고 LLC공진을 위한 공진 캐패시터와 공진 리액터, 고주파 변압기로 구성된다.

DC 1500[V]의 가선전압은 안정적인 DC전원공급을 위해 더블쇼퍼에 의해 강압되고 제어된다. 공진형 컨버터의 스위치는 deadtime을 제외하고 50%의 일정한 듀티로 온/오프되며 공진에 의해 ZVS(Zero Voltage Switching) 턴온하게 된다. 따라서 스위치의 소프트 스위칭이 가능하여 손실을 저감할 수 있다^[1].

전기적인 절연은 공진 트랜스포머에 의해 가능하며 고주파 트랜스포머의 사용으로 사이즈는 50%이상 줄어든다.

공진형 컨버터로부터 변환된 일정한 DC전압은 다음 그림2에서 보여지는 3상 인버터를 통해 AC 상용전원으로 변환된다.

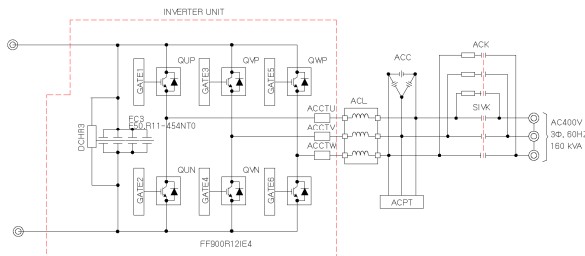


그림 2 공진형 컨버터를 적용한 철도차량용 SIV 인버터부
Fig. 2 SIV inverter for Railway vehicle adapted LLC resonant converter

2.2 LLC 공진형 컨버터 설계

일반적인 DC/DC 컨버터의 경우 스위칭 소자의 Duty ratio

를 변화시켜 일정한 전압을 출력하지만, 공진형 컨버터의 경우 스위칭 주파수(Fs)를 변화시켜 입력 전압 변동시에도 일정전압이 유지되도록 동작한다.

단, 이를 위해서는 변압기의 자화 인덕턴스 값이 작아야 하며, 이 경우 기본적인 순환 전류가 증가하기 때문에 효율이 낮아지고, 사용되는 소자의 용량이 증가되며, 원하는 자화값으로 제작하기 어려운 부분이 있다. 따라서 본 설계에서는 공진 탱크의 입력 전압을 Double 초퍼에서 고정하며, 스위칭 주파수는 ZVS가 동작되는 조건하에 $F_s = F_r$ 근처에서 고정으로 스위칭 되도록 설계한다.

ZVS를 통해 스위칭 손실이 저감되나 OFF시 LCS의 손실을 무시할 수 없기 때문에 스위칭 주파수는 은 변압기의 자화 특성을 잃지 않는 조건에서 가장 낮은 주파수인 10kHz로 적용하였다^[2].

3. 시뮬레이션

그림 3과 그림 4는 LLC 공진형 컨버터가 적용되어 설계된 SIV의 시뮬레이션 결과를 보여준다. 그림3에서와 같이 각각의 부하에서 출력전압은 일정하게 제어됨을 확인할 수 있다.

그림 4는 100%부하에서의 공진전류, IGBT ON신호, IGBT C-E간 전압을 나타낸다. IGBT가 ON되기 전에 양단 전압이 0으로 되어 ZVS동작이 되며, OFF시에는 낮은 전류에서 OFF되어 LCS동작이 되는 것을 확인하였다.

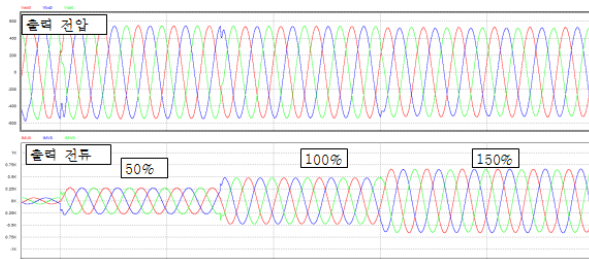


그림 3 변화되는 부하에서의 SIV 출력전압 및 전류
Fig. 3 Simulation Result according to various output current

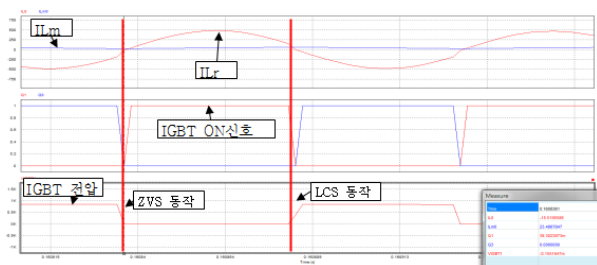


그림 4 공진 컨버터의 동작
Fig. 4 Simulation Result for resonant converter operation

4. 실험결과

설계된 공진형 컨버터와 인버터의 효율성을 확인하기 위해 190[KVA]용량을 가지는 시험용 SIV를 제작하여 확인하였다.

그림 5에서 시험을 위해 제작된 철도차량용 SIV를 보여준다. 제작된 SIV는 기존의 같은 용량의 SIV에 비해 크기와 중량이 약 40% 절감된 것을 확인할 수 있었다.

그림 6과 그림 7에서 제작된 SIV의 실험 파형을 보여준다. 각 부하에서 정상적인 출력전압을 제어하는 것을 확인하였으며, 이 때 공진형 컨버터의 동작 역시 제안한 바대로 그 효율

성을 확인하였다.



그림 5 공진형 컨버터를 적용한 철도차량용 SIV
Fig. 5 SIV for Railway vehicle adapted LLC resonant converter

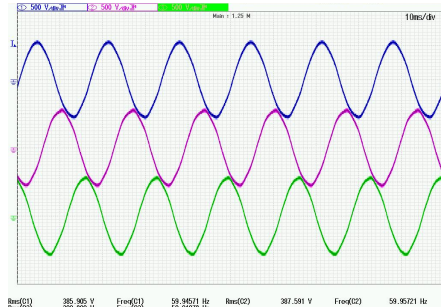


그림 6 100%부하에서의 출력전압 파형
Fig. 6 Output Voltage Waveform under the 100% Load

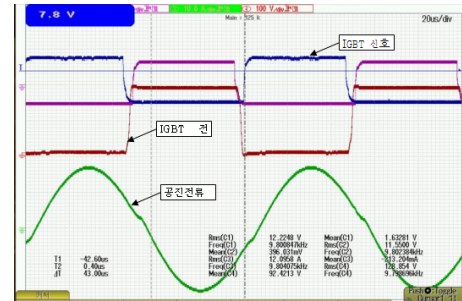


그림 7 100%부하에서의 공진형 컨버터의 동작 파형
Fig. 7 The waveform of the resonant converter under the 100% Load

5. 결론

본 논문에서 LLC 공진형 컨버터를 적용한 철도차량용 보조전원장치를 소개하였다. 실제로 제작된 SIV는 기존의 방식보다 그 중량과 크기가 40%이상 절감됨을 확인하였다.

또한 제안된 SIV는 시뮬레이션과 실험결과를 통하여 제어성능과 그 효율성을 입증하였다. 차후 제작된 SIV는 철도차량에 적용되어 신뢰성을 확보할 예정이다.

참고 문헌

- [1] Yang Bo, "Topology investigation for front end DC/DC power conversion for distributed power system", Dissertation, Virginia Polytechnic institute and State University, 2003.
- [2] C. Adragna, S. De Simone, and C. Spini, "A design methodology for LLC resonant converters based on inspection of resonant tank currents", in Proc. 23rd Annu. IEEE Appl. Power Electron. Conf. 2008. Austin, TX, pp. 1361 - 1367, 2008.