

배전용 반도체 변압기 구현을 위한 SiC기반 전력변환회로 단위모듈 설계에 관한 연구

임정우, 조영훈

건국대학교 전기기계 및 전력전자 연구실

Design and implementation of a power conversion module for solid state transformers using SiC devices

J. Lim, Y. Cho

Power electronics Laboratory, Konkuk Univ.

ABSTRACT

This paper deal with single module design of 13.2kVrms/10kVA solid state transformers exchanging conventional transformer. We can design compact hardware system to reduce size and get higher switching frequency by using SiC devices. As a result by comparing simulation results with experiment result, it is verified.

CASCADE 형식으로 결선하여 13.2kVrms의 전압을 각 모듈로 분배하여 진행하였다. 그림 2는 CASCADE 형식으로 결선되어 있는 10모듈을 간단하게 나타내었다. 1/10으로 분배된 입력전압은 AFE 컨버터를 통해 2500V의 직류전압으로 정류되고 절연형 컨버터로 감압하는 과정을 거치게 되어 최종 470V~500V의 직류전압을 출력한다.

1. 서론

일반적으로 절연유를 사용하는 기존의 변압기는 무게와 부피가 크기 때문에 설치장소가 제한적일 수밖에 없다. 이러한 단점을 보완할 수 있는 반도체 변압기는 부피, 질량을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 능동적인 제어를 통하여 PFC(Power factor correction)와 같은 추가적인 기능을 수행 할 수 있다. 본 논문은 기존의 변압기를 대체할 수 있는 13.2kVrms의 10kVA급 반도체 변압기 개발에 일환으로 단위모듈설계에 관한 연구이며, 시뮬레이션결과와 실험결과를 통하여 연구내용을 검증하였다.

2. 시스템 구성

2.1 반도체 변압기

반도체 변압기는 그림 1과 같이 계통전압을 정류할 수 있는 AFE컨버터(Active front end converter), 절연형 DC DC 컨버터 그리고 출력부로 나눌 수 있다.^[1]

본 연구에서 설계한 반도체 변압기는 13.2kVrms의 계통전압을 입력으로 하기 때문에 고전압에 대한 하드웨어적인 설계가 필수적이다. 일반적으로 고전압 어플리케이션에 적용되는 전력변환장치는 CASCADE 또는 NPC(Neutral point clamped) 등의 형태로 단위 컨버터를 직, 병렬하여 능동 및 수동소자의 정격을 확보한다.

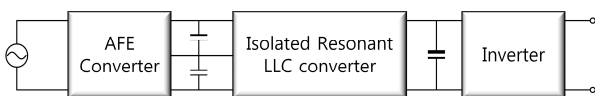


그림 1 반도체 변압기 기능구분 블록도
Fig. 1 Basic block diagram of solid state transformer

실험에 사용된 반도체 변압기는 10기의 단위모듈을

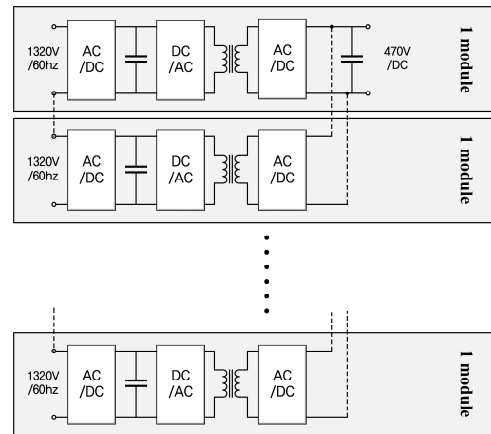


그림 2 CASCADE로 결선된 10기의 모듈
Fig. 2 10 modules arranged CASCADE type

3. 시뮬레이션

3.1 AFE 컨버터

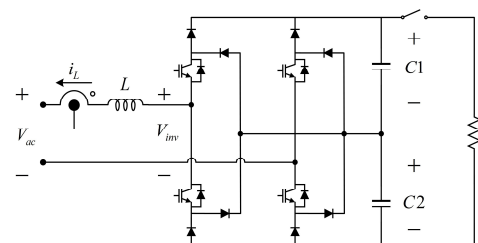


그림 3 단방향 3-Level PFC
Fig. 3 Unidirectional 3-level PFC

그림 3은 실험 및 시뮬레이션에 사용된 AFE컨버터 회로를 나타내고 있으며, 단방향을 고려하여 단방향 3 level PFC로 구성하였다.

3.2 DC-DC 절연형 LLC 공진컨버터

아래 그림은 단방향을 고려한 LLC 공진컨버터로, 1차측은 2500V의 고전압에 유리한 NPC 하프브릿지로 설계하였다. 절연형 공진컨버터는 고효율, 시스템 소형화, 전기적 절연등의 장점을 가지고 있어, 반도체 변압기의 감압에 많이 사용되고 있다.

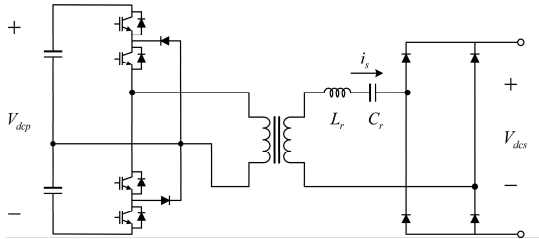
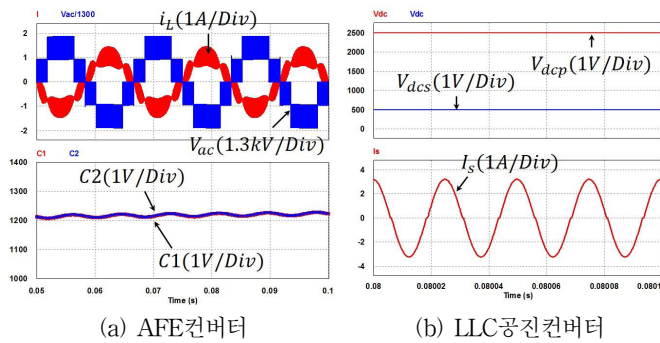


그림 4 DC-DC 절연형 LLC 공진 컨버터
Fig. 5 DC-DC isolated LLC resonant converter

3.3 시뮬레이션결과

아래 파형은 Psim툴을 이용한 시뮬레이션 결과이며 AFE컨버터 출력전압과 계통전류, 정류전압 그리고 LLC공진컨버터의 출력을 나타내었다.



(a) AFE컨버터

(b) LLC공진컨버터

그림 5 시뮬레이션 결과
Fig. 5 Simulation result

4. 실험

4.1 시스템 구성

AFE컨버터와 DC DC 절연용 LLC 공진컨버터를 포함하여 1모듈로 구성하였으며, 13.2kV의 입력전압을 측정할 수 있는 계측용 PT와 13.2kV 승압용 변압기로 실험을 진행하였다.

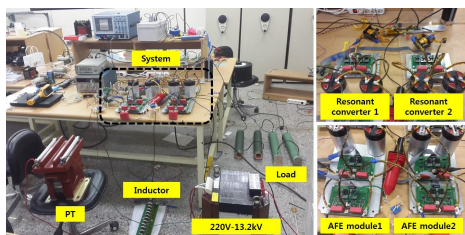


그림 8 CASCADE 2module 시스템 구성
Fig. 8 CASCADE 2module system

4.2 하드웨어 구성

AFE컨버터와 DC DC 절연용 LLC 공진컨버터에 사용된 능동 소자는 SiC기반의 쇼트키다이오드와 스위칭 소자를 선택하였다. SiC기반의 능동소자는 Si보다 빠른 스위칭동이가 가능하며, 고전압어플리케이션에서 보다 유리한 물성적 특징을 가지고 있어 시스템의 부피를 최적화하는데 유리하다. 사용된 스위치 및 다이오드는 다음과 같다.

- C2M1000170D ND (1700V/4.9A급 MOSFET)
- 1560 1038 5 ND (1700V/5.0A급 SCHOTTKY DIODE)

4.2 실험결과

아래 파형은 1kW급 1모듈(AFE컨버터+절연형 LLC 공진 컨버터)의 출력파형과 10kW급 10모듈 9.6kVrms 정류파형을 나타내고 있다.

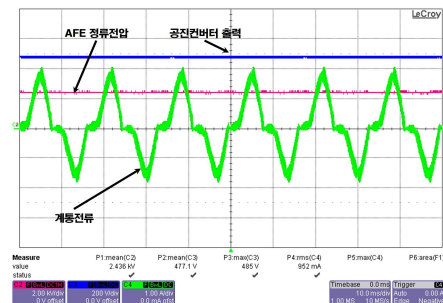


그림 9 1kW 실험결과
Fig. 9 Result of 1kW experiment

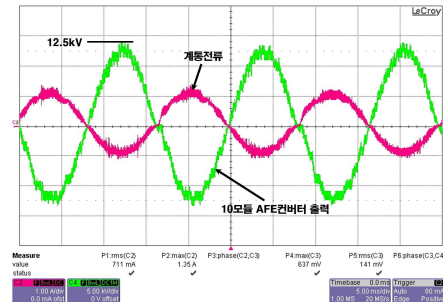


그림 10 9.6kVrms AFE 컨버터 실험파형
Fig. 10 Waveform of 9.6kVrms AFE converter

5. 결론

1모듈에 대한 실험은 성공적으로 진행되었으나, 최종목표인 13.2kV입력전압은 EMI 및 절연에대한 추가적인 연구·검토가 필요할 것으로 예상된다.

이 논문은 2016년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 한국연구재단에서 부여한 과제번호 : 2014R1A1A2058883)

참고 문헌

[1] Lai, Jih Sheng, et al. "A 15 kV class intelligent universal transformer for utility applications." 2016 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC). IEEE, 2016.