

스마트 배전을 위한 양방향 지능형 반도체 변압기

김도현*, 이병권*, 한병문*, 이준영*, 최남섭**
 명지대학교* 전남대학교**

Bidirectional Intelligent Semiconductor Transformer(BIST) for Smart Electric Power Distribution

Do Hyun Kim*, Byung Kwon Lee*, Byung Moon Han*, Jun Young Lee*, Nam Sup Choi**
 Myongji University*, Chonnam National University**

ABSTRACT

본 연구에서는 단상 1.9 kV/220 V, 2 kVA 용량의 양방향 지능형 반도체 변압기의 새로운 회로구성을 제안하고 그 동작과 성능을 분석한 내용에 대해 기술하고 있다. 제안하는 반도체 변압기는 고압 고주파 AC DC 정류기와 저압 양방향 DC AC 컨버터로 구성되어 있으며, 회로적인 특성을 다양하게 분석하기 위하여 먼저 PSIM 소프트웨어를 이용한 시뮬레이션을 실시하였고 이를 기반으로 반도체 변압기를 제작하여 실험을 통해 그 동작과 성능을 검증하였다. 제안하는 반도체 변압기는 최근 많은 관심이 고조되고 있는 Smart Grid에 효율적으로 적용 가능할 것으로 보인다.

트스위칭을 적용한 양방향 고주파 AC DC 정류기를 통해 320 V의 반브리지 정류과형으로 변환하게 되어 있다. 입력과 출력 측의 회로구성은 기본적으로 반 브리지 모듈을 기반으로 구성하였고 입력 측의 전압이 고압이므로 3개의 반브리지 모듈을 직렬로 연결하고 출력 측의 전압은 저압임을 고려하여 3개의 반브리지 모듈을 병렬로 연결하였다. 또한 전체 시스템의 규모를 줄이기 위해 스위칭 소자를 이용한 양방향 고주파 LLC 공진회로를 사용하고 있으며 고정된 시비율로 공진회로를 동작시킴으로써 보다 적은 스위칭 손실로 동작한다. 또한 고주파 변압기는 고정 시비율을 가지고 동작을 하므로 역률제어/출력제어 그리고 양방향 제어는 Back to Back 컨버터를 통해 이루어지므로 전체적인 제어가 간단하게 된다.

1. 서론

최근 선진 각국은 물론 국내에서도 에너지고갈과 환경보호 문제를 동시에 해결하는 방법으로 Smart Grid에 대한 연구개발에 집중하고 있다. 지능형 반도체 변압기는 Smart Grid의 핵심 구성요소 중 하나로서 기술적으로나 산업적으로 그 중요성이 점점 커지는 추세이다.^[1] 본 연구에서 개발한 반도체 변압기는 단상 1.9 kV, 2 kVA로서 양방향 전력전달이 가능하고 임의의 입력과형에 대해 임의의 출력과형을 생성 가능하여 스마트그리드에 다양하게 적용 가능할 것으로 예상된다.

2. 제안하는 반도체 변압기

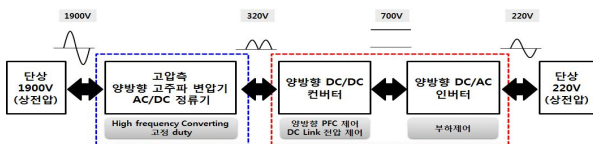


그림 1 양방향 지능형 반도체 변압기의 구성
 Fig. 1 Configuration of BIST

그림 1은 양방향 지능형 반도체 변압기의 전체 구조를 나타낸 것이다. 이 반도체 변압기의 구성상 고압 측에는 반브리지 형태의 양방향 AC DC 정류기 모듈로 구성되어 있고, 저압 측은 DC 전압제어와 역률보상 기능을 갖는 양방향 DC DC 컨버터와 부하 측에 단상 교류를 공급하는 DC AC 인버터로 구성되어 있다.

그림 2는 제안하는 반도체 변압기의 고압측의 구조를 나타낸 것이며, 상전압 1900 V의 단상 교류과형을 고정 시비율의 소프

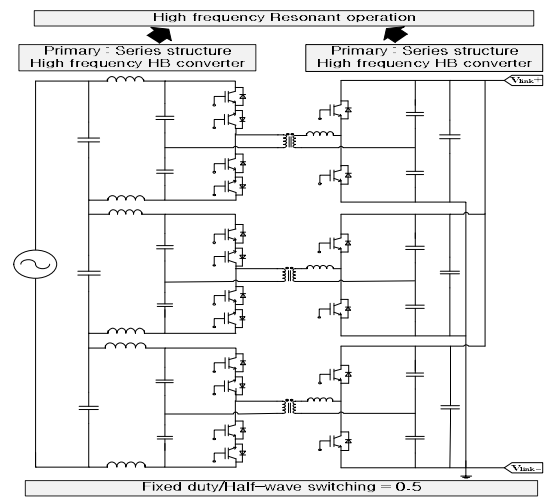


그림 2 양방향 고주파 AC-DC 정류기의 회로도
 Fig. 2 Circuit diagram of bidirectional high-frequency AC-DC rectifier

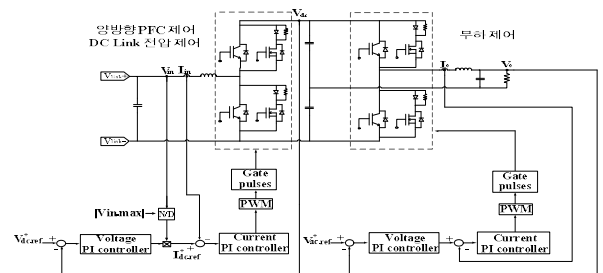


그림 3. 저압측의 양방향 컨버터의 구조
 Fig. 3. Configuration of Bidirectional Converter

저압측 컨버터는 그림 3에 보인 것처럼 320 V의 전과정류파형을 700 V의 DC 전압으로 변환하는 DC DC 컨버터와 DC 700 V를 단상교류 220 V로 변환하는 DC AC 인버터가 Back to Back 형태로 결합되어 있다. 각 컨버터와 인버터는 IGBT와 MOSFET이 병렬로 연결된 하이브리드 스위치를 사용하고 반브리지 형태의 2단 구조이다. 앞단의 DC DC 컨버터에서는 PFC 제어와 DC링크전압 제어를 수행하며 뒷단의 DC AC 인버터에서는 부하에 공급되는 출력전압을 제어한다.

3. 시뮬레이션 및 하드웨어 실험

제안하는 반도체변압기의 회로적 특성과 제어성능의 분석을 위하여 먼저 PSIM 소프트웨어를 이용한 시뮬레이션을 수행하였다.

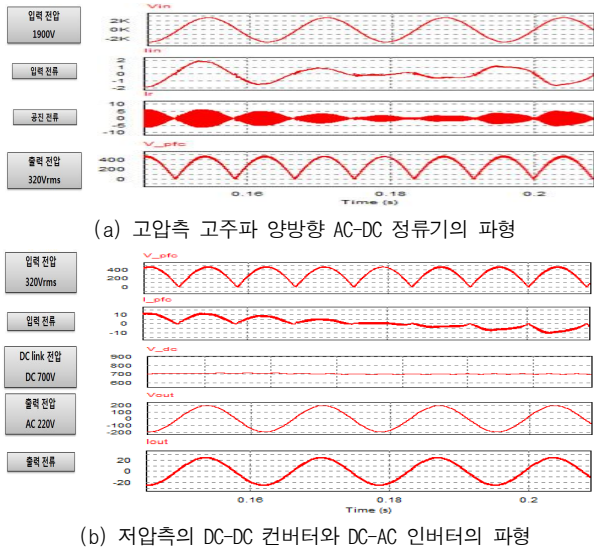


그림 4. 시뮬레이션 결과
Fig. 4. Simulation Results

그림 4(a)는 고압측 고주파 양방향 AC DC 정류기의 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이며 실효치 1900 V를 입력전압으로 하여 정방향과 역방향 동작을 통하여 실효치 320 V의 출력전압을 출력하는 파형, 0.18 ms에서 정방향에서 역방향으로 바뀌는 입력전류의 파형과 공진 주파수 50 kHz에 따라 동작하는 공진 전류의 파형을 나타낸 것이다. 그림 4(b)는 저압 측의 DC DC 컨버터와 DC AC 인버터의 파형을 나타낸 것이며 실효치 320 V를 저압측 입력전압으로 하여 정방향과 역방향 동작을 통하여 저압측 출력전압을 출력하는 파형을 살펴볼 수 있다. 저압측 입력전압으로 전과정류 파형, 0.18 ms에서 정방향에서 역방향으로 바뀌는 저압측 입력전류의 파형, 리플이 적은 상태에서 700 V를 유지하는 DC 링크전압, DC AC 인버터의 출력전압과 전류를 나타낸 것이다.

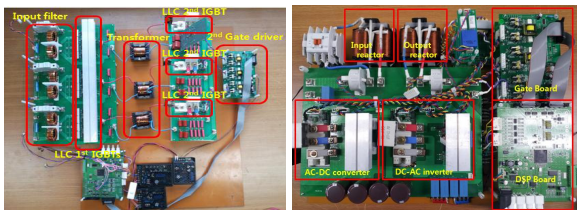


그림 5. 지능형 양방향 반도체 변압기의 하드웨어 구조
Fig. 5. Hardware structure of BLST

시뮬레이션 결과를 기반으로 그림 5에 보인 바와 같이 양방향 고주파 변압기의 하드웨어 프로토타입을 제작하고 실험을 실시하였다. 그림 5에서 왼쪽의 사진은 고압측 고주파 양방향 AC DC정류기의 하드웨어 구조이며, 오른쪽 사진은 저압측 DC DC 컨버터와 DC AC 인버터의 하드웨어 구조이다.

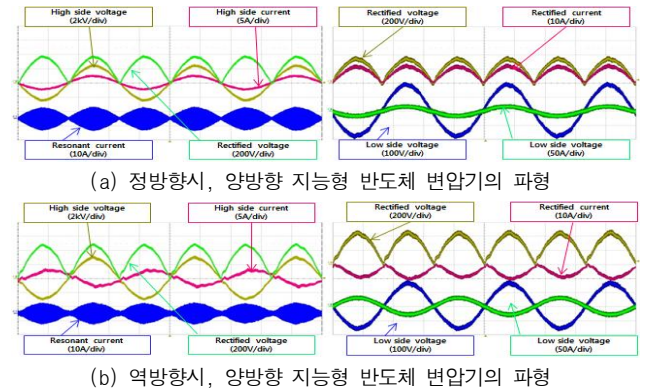


그림 6. 실험 결과
Fig. 6. Experiment Results

그림 6(a)는 정방향시 고압측 고주파 양방향 AC DC 정류기와 저압측 DC DC 컨버터와 DC AC 인버터의 실험 파형을 나타낸 것이며, 실효치 1900 V를 입력전압으로 하여 실효치 320 V의 출력전압을 출력하는 파형, 입력전류 파형, 공진 전류 파형, 저압 측 DC DC 컨버터의 전압과 전류, DC AC 인버터의 출력전압과 전류가 생성되는 파형을 볼 수 있다. 그림 6(b)는 역방향시 고압측 고주파 양방향 AC DC 정류기와 저압측 DC DC 컨버터와 DC AC 인버터의 실험 파형을 나타낸 것이며 실효치 1900 V를 계통전압이 역방향시에도 실효치 320 V의 출력전압을 출력하는 파형, 역방향시 출력전류 파형, 공진 전류의 파형, 저압측 DC DC 컨버터의 전압과 전류, DC AC 인버터의 전압과 전류 파형을 볼 수 있다. 이상의 실험을 통해 얻은 결과는 이전에서 시뮬레이션결과와 동일함을 알 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 1.9 kV/220 V, 2 kVA 용량의 양방향 지능형 반도체 변압기의 새로운 회로구성을 제안하고 그 동작과 성능을 분석하였다. 제안하는 반도체변압기의 회로적인 특성을 다양하게 분석하기 위하여 먼저 PSIM 소프트웨어를 이용한 시뮬레이션을 실시하였고 이를 기반으로 1.9 kV/220 V, 2 kVA 단상 반도체변압기를 제작하고 실험을 통해 그 동작과 성능을 검증하였다. 향후 통신을 이용한 원격 제어와 감시기능을 추가함으로써 최근 많은 관심이 고조되고 있는 Smart Grid에 효율적으로 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

이 논문 또는 저서는 2010년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (R1A5A003 2010 0026283)

참 고 문 헌

[1] J. S. Lai, A. Maina, and F. Goodman, "Performance of a Distribution Intelligent Universal Transformer under Source and Load Disturbances", Industry Applications Conference, pp. 719 725, 2006.