

3상 3300/220V 6kVA 양방향 지능형 반도체 변압기의 동작과 성능 분석

김도현, 김재혁, 한병문
명지대학교

Operation and Performance Analysis of 3-Phase 3300/220V 6kVA Bidirectional Intelligent Semiconductor Transformer

Do Hyun Kim, Jae Hyuk Kim, Byung Moon Han
Myongji University

ABSTRACT

본 과제에서는 3.3kV/220V, 6kVA 용량의 양방향 지능형 반도체 변압기의 새로운 회로 구성을 제안하고 그 동작과 성능을 분석하였다. 제안하는 3상 반도체변압기는 1.9kV/127V 단상 반도체 변압기 모듈 3대를 Y 결선으로 구성하였으며, 각 단상 반도체 변압기는 고압 고주파 AC DC 정류기와 저압 양방향 DC DC AC 컨버터로 구성되어 있다. 제안하는 3.3kV/220V, 6kVA 3상 반도체변압기를 제작하고 실험을 통해 그 동작과 성능을 검증하였다. 먼저 1차적으로는 3상 반도체변압기의 정상동작에 대해 실험을 실시하고 그 후에는 3상 입력전압에 외란이 발생하였을 때 보상성능을 순방향 조류와 역방향 조류 2가지 경우로 나누어 실험을 실시하고 그 결과를 분석하였다. 분석한 결과 제안하는 반도체변압기는 양방향 전력흐름이 가능하고 입력전압에 Sag가 발생한 경우에도 이를 보상하여 수전 단이나 부하에 전력공급이 가능함을 알 수 있었다.

1. 서론

지능형 반도체 변압기는 전력전자기술을 활용하여 기존 상용주파수 변압기보다 소형화 및 경량화가 쉽고, Voltage Sag 보상과 순시전압 통제 등에 의해 고품질의 전력공급이 가능하다. 또한 직류전압 출력도 가능하여 직류배전이나 신재생전원의 계통연계 등에 활용될 수 있다.

미전력연구원과 Virginia 공대는 철심과 코일로 구성된 기존 변압기를 대체하는 지능형 반도체 변압기의 타당성을 검토하고 4.16kV 20kVA 용량의 실증모델을 제작하여 다양한 실험을 실시하였다.^[1] 이 실증모델의 경우 시스템 효율이 92% 이상으로 비교적 높은 편이나 전력의 흐름이 고압에서 저압으로만 가능하다.^[2]

기존에 연구된 반도체 변압기를 개선하는 대안으로서 본 논문에서는 양방향으로 전력전달이 가능한 양방향 반도체 변압기를 제안하였다.

2. 단상 반도체 변압기의 구성

제안하는 단상 반도체 변압기는 상전압 19000V의 단상 교류 파형을 고정 시비율의 소프트스위칭을 적용한 양방향 고주파 AC DC 컨버터를 통해 320V의 반 브리지 정류파형으로 변환한다. 이 실효치 320V 전파정류 파형은 하이브리드스위칭으로

동작하는 양방향 DC DC 컨버터에 의해 시비율을 조절하여 일정한 직류 600V로 변환된다. 이렇게 변환된 DC 600V 전압은 역시 하이브리드스위칭으로 동작하는 양방향 DC AC 컨버터 또는 인버터에 실효치 127V 단상 교류로 변환된다.

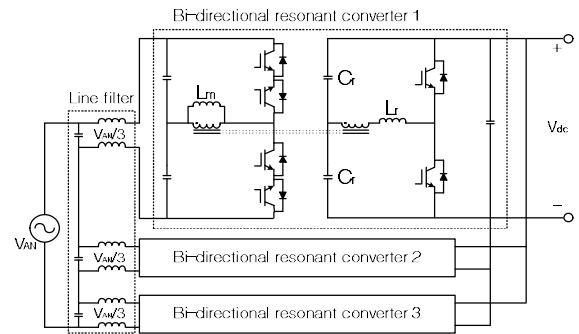


Fig. 1 Circuit diagram of bidirectional high-frequency AC-DC rectifier

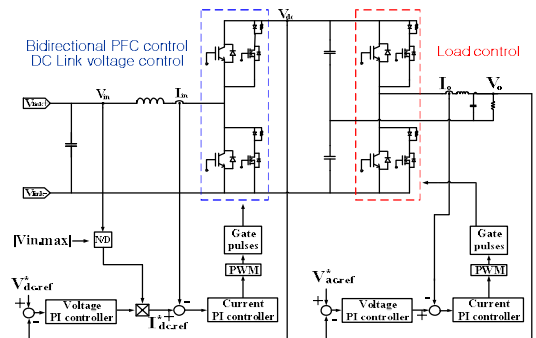


Fig. 2 Configuration of Bidirectional Converter

그림 1은 단상 교류 1900V를 320V 전파정류파형으로 변환하는 양방향 고주파 AC DC 컨버터의 구조를 나타낸 것이다. 입력과 출력 측의 회로구성은 기본적으로 반 브리지 모듈을 기반으로 구성하였고 입력 측의 전압이 고압이므로 3개의 반 브리지 모듈을 직렬로 연결하고 출력 측의 전압은 저압임을 고려하여 3개의 반 브리지 모듈을 병렬로 연결하였다. 또한 입력 측 반 브리지 모듈의 스위칭 소자는 2개의 IGBT 소자를 역방향으로 직렬하였다. 전체 시스템의 규모를 줄이기 위해 스위칭 소자를 이용한 양방향 고주파 LLC 공진회로를 사용하고 있으며 고정된 시비율로 공진회로를 동작시킴으로써 보다 적은 스

위칭 손실로 동작한다.

저압측 컨버터는 그림 2에 보인 것처럼 320V의 전과정류파형을 600V DC 전압으로 변환하는 DC DC 컨버터와 DC 600V를 단상 127V로 변환하는 DC AC 인버터가 Back to Back 형태로 결합되어 있다. 각 컨버터와 인버터는 IGBT와 MOSFET이 병렬로 연결된 하이브리드 스위치를 사용하고 반 브리지 형태의 2단 구조이다. 앞단의 DC DC 컨버터에서는 PFC 제어와 DC링크전압 제어를 수행하며 뒷단의 DC AC 인버터에서는 부하에 공급되는 출력전압을 제어한다.

3. 3상 반도체 변압기 하드웨어 제작 및 실험

본 논문에서는 3상 3300/220V 6kVA 반도체 변압기를 제작 및 실험하기 위해 그림 3에 보인 단상 1900/127V 2kVA 반도체 변압기 3대를 Y 결선하여 통합시험을 실시하였다.

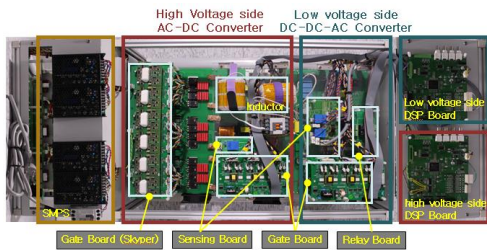
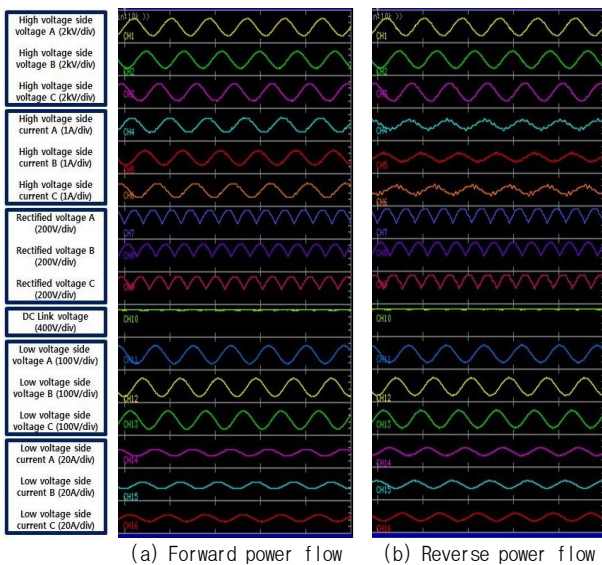


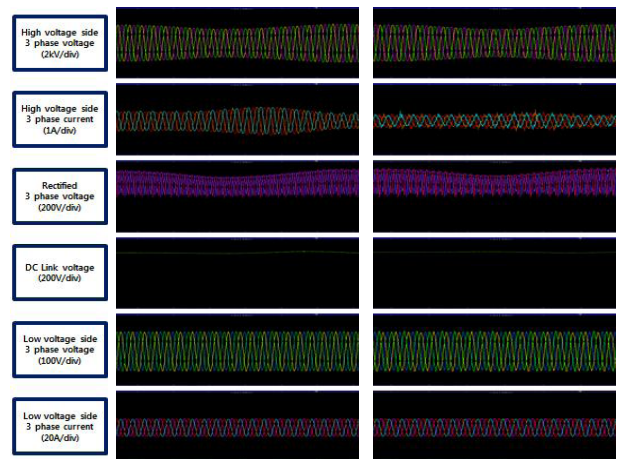
Fig. 3 Single-phase hardware prototype

그림 4는 3상 6kVA급 양방향 지능형 반도체 변압기의 실험 파형을 나타낸 것으로 3상 3300V를 고압측 직병렬 공진컨버터에 인가하여 그림 4(a)는 전력의 흐름이 정방향 그리고 그림 4(b)는 역방향인 경우 3상 입력 전압과 전류, 3상 정류된 전압과 전류, DC 링크 전압, 그리고 3상 출력 전압과 전류의 파형을 나타낸 것이다. 이 그림에서 입력전압과 전류는 동상을 유지하여 역률이 개선됨을 알 수 있고 정류된 전압과 전류 또한 동상을 유지함을 알 수 있다. DC 링크 전압은 리플이 아주 작은 상태에서 600V를 유지하고 DC AC 인버터의 출력 전압과 전류는 비교적 고조파 함유율이 낮은 정현파임을 알 수 있다.



(a) Forward power flow (b) Reverse power flow

Fig. 4 Experimental Analysis according to Power Flow



(a) Forward power flow (b) Reverse power flow

Fig. 5 Experimental Analysis against Input Voltage Sag

그림 5은 입력전압에 Sag가 발생한 경우 회로 동작을 살펴본 파형을 나타낸 것이다. 그림 5(a)는 전력의 흐름이 정방향 그리고 그림 5(b)는 역방향인 경우 입력전압에 Sag가 발생하였을 때 회로 동작에 대한 파형을 나타낸 것이다. Sag가 발생하면 출력 측에 일정한 전력을 공급하기 위해 정류된 전압파형이 낮아지고 전류는 상승함을 알 수 있다. 하지만 DC DC 컨버터의 전압제어를 통하여 DC 전압은 600V로 유지됨을 알 수 있다. 또한 출력 전압과 전류는 Sag와 관계없이 일정 값을 유지함을 알 수 있다.

3. 결론

본 논문에서 3상 3300/220V 6kVA 양방향 반도체 변압기의 프로토타입을 제작하고 그 동작을 실험을 통해 검증한 내용을 기술하였다. 제작한 프로토타입은 단상 양방향 반도체 변압기 3대를 입력과 출력을 Y 결선으로 결합하여 구성하였다. 3상 양방향 반도체 변압기의 기본적인 동작과 전력 흐름에 따른 동작에 대해 실험을 실시하고 얻은 결과를 분석하였다. 그 후에는 입력전압에 외란이 발생하였을 때 보상성능을 순방향 조류와 역방향 조류 경우로 나누어 실험을 실시하고 그 결과를 분석하였다. 분석한 결과 제안하는 반도체변압기는 양방향 전력 흐름이 가능하고 입력전압에 Sag가 발생한 경우에도 이를 보상하여 수전단이나 부하에 전력공급이 가능함을 알 수 있었다.

본 연구는 2011년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제(No. 20114010203030)

참고 문헌

- [1] EPRI Report, TR 1001698, Feasibility Assessment for Intelligent Universal Transformer, EPRI, Palo Alto, CA, Dec. 2002.
- [2] S. Falcones, R. Ayyanar, and X. Mao, "A DC DC Multiport Converter Based Solid State Transformer Integrating Distributed Generation and Storage," IEEE Power. Electron., vol.28, no.5, pp.2191-2203, May 2013.