

양방향 지능형 반도체 변압기의 조류제어와 입력전압 Sag 보상 특성분석

김도현¹, 이병권¹, 한병문¹, 이준영¹, 윤영두¹, 최남섭²
명지대학교¹, 전남대학교²

Power flow control and Input voltage Sag compensation Analysis of Bidirectional Intelligent Semiconductor Transformer

Do-Hyun Kim¹, Byung-Kwon Lee¹, Byung-Moon Han¹, Jun-Young Lee¹, Young-Doo Yoon¹
and Nam-Sup Choi²
Myongji University¹, Chonnam National University²

ABSTRACT

본 논문에서는 단상 1.9kV/127V, 2kVA 용량의 양방향 지능형 반도체 변압기의 시작품을 제작하고 그 동작특성을 실험적으로 분석한 내용을 기술하고 있다. 제작한 반도체 변압기는 3대의 LLC 컨버터를 입력 측은 직렬로 결합하고 출력 측은 병렬로 결합한 AC-DC 컨버터와 1대의 하드스위칭 양방향 2-Stage DC-AC 컨버터가 직렬로 결합되어 있다. 제안하는 반도체변압기의 회로적인 특성을 분석하기 위해 PSCAD/EMTDC 소프트웨어를 이용한 시뮬레이션을 실시하였고 분석을 통해 얻은 결과를 바탕으로 하드웨어 시작품을 제작하고 다양한 실험을 통해 그 동작과 성능을 검증하였다. 먼저 1차적으로는 정상동작에 대해 실험을 실시하고 얻은 결과를 시뮬레이션 결과와 비교 분석하였다. 2차적으로는 전력의 흐름에 따른 동작을 실험적으로 분석하였다. 그 후에는 입력전압에 외란이 발생하였을 때 보상성능을 순방향 조류와 역방향 조류 2가지 경우로 나누어 실험을 실시하고 그 결과를 실험결과와 비교 분석하였다. 분석한 결과 제안하는 반도체변압기는 양방향 전력흐름이 가능하고 입력전압에 Sag가 발생한 경우에도 이를 보상하여 수전단이나 부하에 전력공급이 가능함을 알 수 있었다. 향후 단상 반도체 변압기 2대를 더 제작하여 3상 3.3kV/380V, 6kVA 용량으로 확대하여 실험을 실시할 예정이다.

1. 서론

현재 교류계통에서 보편적으로 사용되는 코일과 철심으로 구성된 변압기는 교류전압의 크기만 조절이 가능하고 공급되는 전력이 입력되는 전력품질에 전적으로 의존하는 등의 단점들이 있어, 전압과 주파수가 다양하고 고품질 전력공급을 필요로 하는 스마트그리드에서는 그 활용도가 매우 낮다.

이러한 기존 변압기를 대체하는 새로운 대안으로서 지능형 반도체 변압기가 미국에서 제안되었고 배전용 변압기나 전기철도 탑재용 변압기의 경량화 등 활용분야가 점차 확대되고 있으며^[1], 지능형 반도체 변압기는 전력전자기술을 활용하여 기존 상용주파수 대역의 변압기보다 높은 주파수를 사용하므로 소형화 및 경량화가 쉽고 Voltage Sag 보상, 순시전압 통제, 고조파 보상 등에 의해 고품질의 전력공급과 직류전압 입출력도 가능하여 직류배전이나 신재생에너지원의 계통연계 등에 활용될

수 있다. 또한 기존 변압기에서 사용되고 있는 절연유를 사용하지 않으므로 환경 친화적이라는 장점도 가지고 있어 향후 국내의 스마트그리드 보급 확대에 굉장히 유용한 기술이라 할 수 있다.

2. 제안하는 반도체 변압기

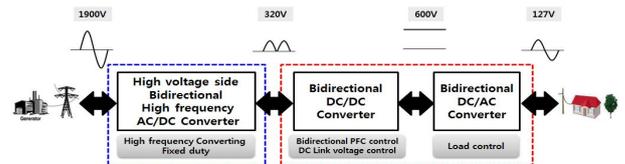


Fig. 1 Configuration of Bidirectional Intelligent Semiconductor Transformer

그림 1은 양방향 지능형 반도체 변압기의 전체적인 구조를 나타낸 것이다. 고압측 입력전압은 단상 1900V, 1차 DC 링크 전압은 320V, 2차 DC 링크전압은 600V, 그리고 컨버터의 출력 전압은 단상 127V 이다. 제안하는 반도체변압기는 양방향으로 전력전달이 가능하고, 입력전압이 변동하여도 출력전압은 부하에서 요구하는 과형을 생성 가능한 특징을 갖는다.

단상 교류 1900V를 320V 전과정류과형으로 변환하는 양방향 고주파 AC-DC 정류기의 구조는 시스템의 규모를 줄이기 위해 IGBT 스위칭 소자를 이용한 양방향 고주파 LLC 공진회로를 사용하고 있으며 고정된 시비율로 공진회로를 동작시킴으로써 보다 적은 스위칭 손실로 동작한다.

저압측 컨버터는 320V의 전과정류과형을 600V DC 전압으로 변환하는 DC-DC 컨버터와 DC 600V를 단상 127V로 변환하는 DC-AC 컨버터로 구성이 되어있으며, 앞단의 DC-DC 컨버터에서는 역률보상 기능을 갖는 PFC 제어와 DC링크전압 제어를 수행하며 뒷단의 DC-AC 컨버터에서는 부하에 공급되는 출력전압을 제어한다.

3. 시뮬레이션 및 하드웨어 실험

제안하는 반도체변압기의 회로적 특성과 제어성능의 분석을 위하여 먼저 PSCAD/EMTDC 소프트웨어를 이용한 시뮬레이션을 수행하였다. 이후 시뮬레이션 결과를 기반으로 양방향 고주파 변압기의 하드웨어를 제작하고 실험을 실시하였다.

그림 2은 제안하는 반도체 변압기의 전력흐름에 따른 시뮬레이션 결과파형을 나타낸 것이다. 첫 번째 그래프는 주파수 60Hz, 실효치 1900V의 고압측 입력전압 파형과 0.2sec에서 정방향에서 역방향으로 바뀌는 고압측 입력전류의 파형을 나타낸 것이다. 두 번째 그래프는 저압측 입력전압과 전류이며, 앞단의 고압측 출력전압과 동일한 실효치 320V의 전과전류 파형과 0.2sec에서 정방향에서 역방향으로 바뀌는 저압측 입력전류의 파형을 나타낸 것이다. 세 번째 그래프는 DC 링크전압으로 비교적 리플이 적은 상태에서 600V를 유지함을 알 수 있다. 네 번째 그래프는 DC-AC 컨버터의 출력전압과 전류를 나타낸 것으로 고조파 함유율이 낮은 정현파임을 알 수 있다.

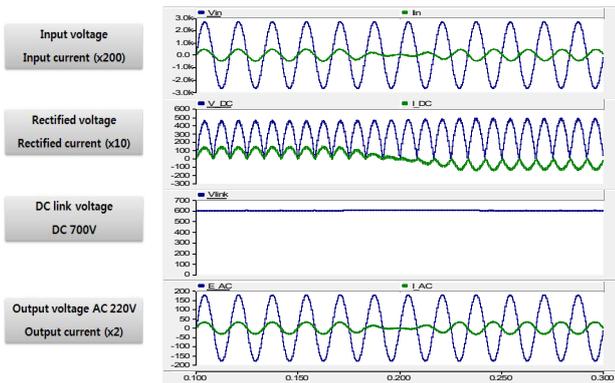


Fig. 2 Simulation Analysis in Power Flow Reversal

그림 3은 제안하는 반도체 변압기의 전력흐름에 따른 하드웨어 결과파형을 나타낸 것이다. 이상의 실험을 통해 얻은 결과는 이전에서 시뮬레이션결과와 동일함을 알 수 있다.

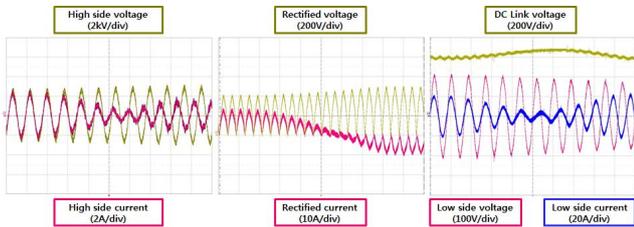


Fig. 3 Experimental Analysis in Power Flow Reversal

그림 4은 제안하는 반도체 변압기의 입력측 전압에 Sag 발생 시에 회로 동작을 살펴보기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 4(a)는 정방향 전력전송 시 입력전압 Sag가 발생하였을 때, 회로 동작에 대한 파형을 나타낸 것으로 입력전압 Sag가 발생함으로써 전과전류 파형이 낮아지는 모습을 볼 수 있다. 하지만 DC-DC 컨버터의 DC 전압제어를 통하여 DC 전압이 600 V로 유지되어 정상적으로 DC-AC 컨버터가 동작하는 파형을 살펴볼 수 있다. 그림 4(b)는 역방향 전력전송 시 입력전압에 Sag가 발생하였을 때, 회로 동작에 대한 파형을 나타낸 것으로 입력전압 Sag가 발생함으로써 전과전류 파형이 낮아지는 모습을 볼 수 있다. 하지만 DC-DC 컨버터의 DC 전압제어를 통하여 DC 전압이 600 V로 유지되어 정상적으로 DC-AC 컨버터가 동작하는 파형을 살펴볼 수 있다.

그림 5의 파형은 입력전압 Sag가 발생하였을 때, 회로 동작에 대한 실험파형을 나타낸 것이다. 이상의 실험을 통해 얻은 결과는 이전에서 시뮬레이션결과와 동일함을 알 수 있다.

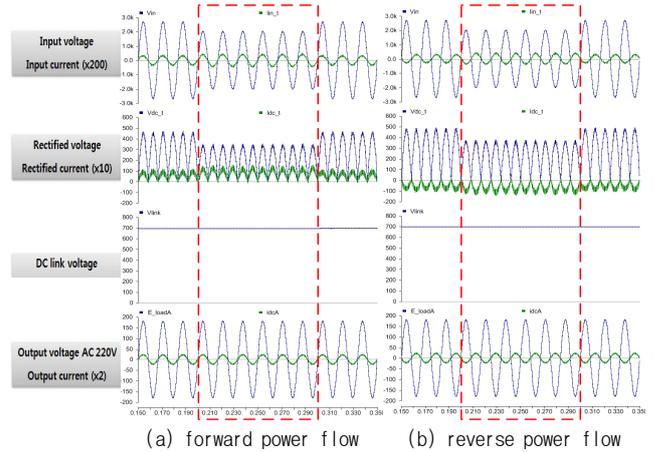


Fig. 4 Simulation Analysis against Input Voltage Sag

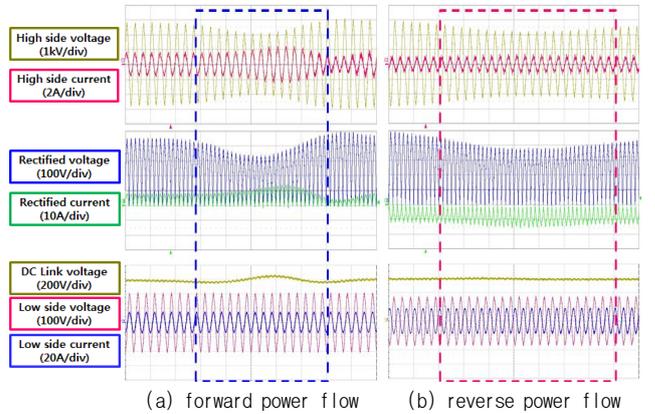


Fig. 5 Experimental Analysis against Input Voltage Sag

4. 결론

본 논문에서는 단상 1.9kV/127V, 2kVA 용량의 양방향 지능형 반도체 변압기의 PSCAD/EMTDC 소프트웨어를 이용한 시뮬레이션을 실시하였고 얻은 결과를 바탕으로 하드웨어실험을 통해 그 동작과 성능을 검증하였다. 기본적인 동작과 전력의 흐름에 따른 동작에 대해 실험을 실시하고 얻은 결과를 시뮬레이션 결과와 비교 분석하였다. 그 후에는 입력전압에 외란이 발생하였을 때 보상성능을 순방향 조류와 역방향 조류 경우로 나누어 실험을 실시하고 그 결과를 실험결과와 비교 분석하였다. 분석한 결과 제안하는 반도체변압기는 양방향 전력흐름이 가능하고 입력전압에 Sag가 발생한 경우에도 이를 보상하여 수전단이나 부하에 전력공급이 가능함을 알 수 있었다. 향후 단상 반도체 변압기 2대를 더 제작하여 3상 3.3kV/380V, 6kVA 용량으로 확대하여 실험을 실시할 예정이다.

이 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2012047788)

참고 문헌

[1] S. D. Sudhoff, "Solid State Transformer," US Patent No. 5,943,229, Aug. 24, 1999.