

하이브리드 반도체 변압기용 회로 구현에 관한 연구

윤동관, 조영훈
 건국대학교 전력전자 연구실

A Study of Hybrid Solid State Transformer Circuit

Dongkwan Yoon, Younghoon Cho
 Power Electronics Lab., Konkuk Univ.

ABSTRACT

증가하는 부하 수요와 신재생 에너지의 보급 때문에 고품질의 전압을 공급하는데 어려움을 겪고 있다. 전통적인 배전용 변압기는 수동적으로 운전상태가 결정되기 때문에 전력 품질에 문제가 발생 시 대처가 불가능하다. 이러한 단점을 보완하기 위해 국내 / 국외에서 반도체 변압기에 대한 많은 연구들이 진행되었다. 하지만 이러한 반도체 변압기는 상용화에 있어 배전단 1차 측의 높은 전압에 대응하기 위한 절연 구조가 필요한 단점이 있다. 본 논문은 기존의 주상변압기에 전력변환장치를 추가하여 반도체 변압기의 핵심 기능 중 순간 전압 상승/강하 보상하는 새로운 개념의 반도체 변압기의 회로 구조를 제시한다. 그리고 1차측 전압 상승/강하에 따른 2차측 전압의 변동을 PSIM 시뮬레이션으로 통해 검증한다.

1. 서론

일반적인 배전용 변압기는 송전 및 배전단에 위치하여 전압의 크기를 변환하는 중요한 장치이다. 이러한 배전용 변압기의 기본 원리는 패러데이의 법칙에 근거하고 있다.^[2] 이러한 전통적인 변압기는 수동적인 전력 변환 구조로 순간 전압 상승/강하와 같은 전력 품질의 문제에 대처가 불가능하다. 이러한 전력 품질을 개선하기 위해 반도체 변압기에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다. 하지만 반도체 변압기의 경우 배전단 1차 측의 높은 전압에 대응하기 위한 수십 개 이상의 스위치 소자의 다단 형태의 회로 구조가 필요하다.^[2] 하이브리드 반도체 변압기는 기존의 주상변압기에 전력변환 장치를 추가하는 구조로 기존의 반도체 변압기와 달리 배전단 1차 측의 높은 전압에 대응하기 위한 다단 구조가 필요 없으며, 반도체 변압기의 핵심 기능 중의 하나인 순간 전압 상승/강하 보상이 가능하다.

2. 시스템 구성

2.1 회로 구조 및 동작 원리

그림 1은 하이브리드 반도체 변압기의 회로 결선 구조를 보여준다. 하이브리드 반도체 변압기 일반적인 주상 변압기와 달리 변압기에 별도의 탭이 있는 구조의 변압기를 이용한다. 변압기 탭의 비율은 변압기 권선의 약 5 ~ 10 %가 되도록 구성하여, 변압기의 탭에 별도의 전력변환회로를 결선하여 2차측 전압의 크기를 제어한다.

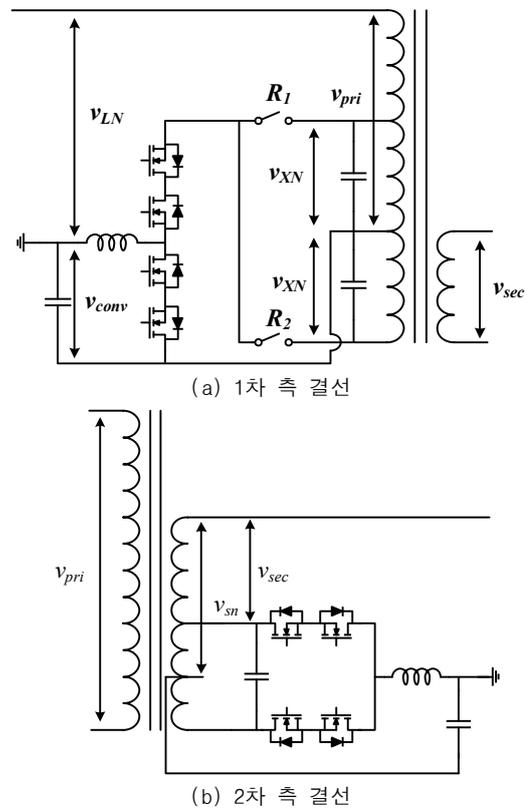


그림 1. 하이브리드 반도체 변압기 회로 토폴로지
 Fig 1. Hybrid Solid State Transformer topology

그림 1의 (a)는 변압기의 1차 측에 전력 변환 회로를 장착형태의 회로도이다. 전력변환회로는 AC AC 컨버터를 이용하였으며, 릴레이의 온 / 오프 동작에 따라 벡 모드, 부스트 모드로 동작한다. 2차 측 전압이 기준 전압 보다 높은 경우, 즉 1차 측의 전압이 13,200 V_{RMS} 보다 높은 경우 릴레이 R₁ 은 개방되며 R₂ 는 단락되어 벡 모드로 동작한다. 반대로 2차 측 전압이 기준 전압 보다 낮은 경우에는 릴레이 R₁ 은 단락되며 R₂ 는 개방되어 부스트 모드로 동작한다. AC AC 컨버터에 의한 변압기의 출력전압은 수식 (1), (2) 와 같이 정리된다.^[1]

$$v_{sec} = \frac{v_{pri}}{N} = \frac{v_{pri} + v_{conv}}{N} \quad (1)$$

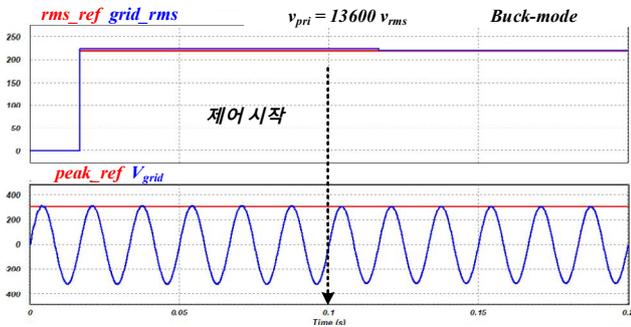
$$v_{conv} = \begin{cases} dV_{XN} & (R_1 \text{ closed}; R_2 \text{ open}) \\ -dV_{XN} & (R_1 \text{ open}; R_2 \text{ closed}) \end{cases} \quad (2)$$

그림 2의 (b)는 변압기의 2차 측에 전력변환회로를 결선한 구조이다. 변압기의 2차 측에 결선한 구조는 1차 측과 다르게 벅 모드, 부스트 모드를 구분하는 릴레이 없이 변압기의 탭에 직접적으로 연결되어 있다. 변압기의 출력 전압은 수식 (3)과 같이 정리된다.^[3]

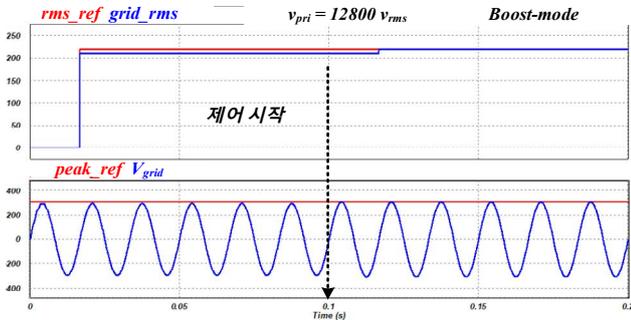
$$v_o = v_{sec} \times d + v_{sn} \times (1 - d) \quad (3)$$

3. 모의실험

1차 측 입력 전압 변동에 따른 2차 측 출력 전압의 크기를 그림 1의 (a), (b) 회로 모두 적용하여 10 kW 조건에서 시뮬레이션을 진행했다. 시뮬레이션 조건은 1차 측 전압 크기에 따른 벅 모드, 부스트 모드 모두 진행 하였으며, 전력변환 회로의 제어 여부에 따른 2차 측 출력 전압의 RMS 크기를 비교해 보았다.

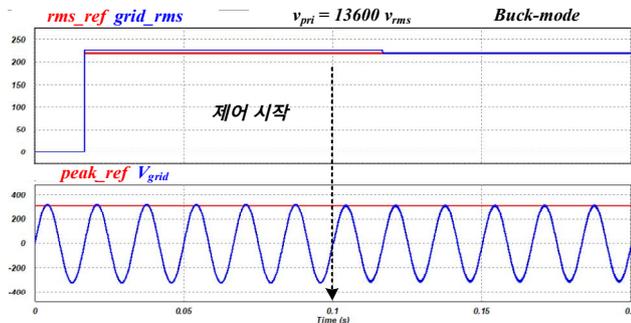


a. Buck-Mode 시뮬레이션 결과

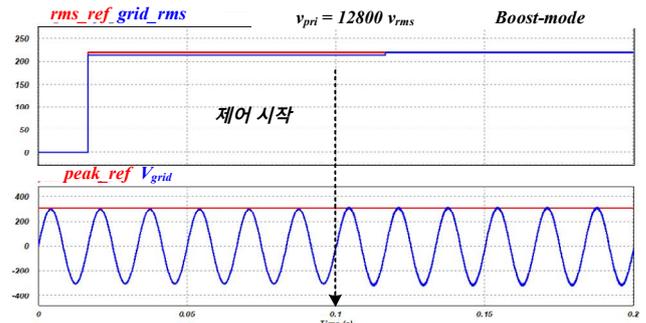


b. Boost-Mode 시뮬레이션 결과

그림 2. 하이브리드 반도체 변압기 시뮬레이션 결과 - 1차 측 결선
Fig 2. Hybrid Solid State Transformer simulation result - Primary side connection



a. Buck-Mode 시뮬레이션 결과



b. Boost-Mode 시뮬레이션 결과

그림 3. 하이브리드 반도체 변압기 시뮬레이션 결과 - 2차 측 결선
Fig 3. Hybrid Solid State Transformer simulation result - Secondary side connection

시뮬레이션 결과 1차 측 입력전압 크기의 변화에도 2차 측 전압의 크기는 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있었다. 추가 적으로 전력변환회로 위치에 따른 스위치 정격에 대한 비교를 진행해 보았으며, 이는 표 1과 같이 정리된다.

표 1 회로 위치에 따른 스위치 정격 비교

Table 1 Comparison of Switch Ratings According to Circuit Location

	1차 측 결선	2차 측 결선
전압 정격	1,700 V 이상	전압 정격 200 V 이상
전류 정격	10 A 이상	전류 정격 65 A 이상

결론

본 논문에서는 하이브리드 반도체 변압기를 위한 회로 도 풀로지에 대한 연구를 진행했으며, 이를 모의실험을 통해 검증 하였다. 하이브리드 반도체 변압기를 통하여 1차 측 전압 상승 / 강하에 따른 2차 측 전압 보상을 진행하는 것을 확인하였으며, 전력변환 회로 위치에 따른 전력용 반도체 소자 정격을 알 수 있었다. 추후 실제 회로 제작하여 실험을 통한 검증을 진행 하고, 하이브리드 반도체 변압기를 통한 역률제어에 대한 연구를 진행할 예정이다.

본 연구는 2018년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 에너지인력양성사업으로 지원받아 수행한 인력양성 성과입니다. (No.20174030201660)

참고 문헌

- [1] R. P. Kandula, H. Chen, A. Prasai, F. Lambert, J. Schatz and D. Divan, "Field upgradeable transformer: A fractionally rated voltage regulator for the distribution system," 2016 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), Milwaukee, WI, 2016, pp. 1-8.
- [2] 임정우, 조영훈. (2017). 전력용 반도체 변압기 개발 동향. 전력전자학회지, 22(2), 27-32.
- [3] H. Chen, R. P. Kandula, A. Prasai, J. Schatz and D. Divan, "Flexible transformers for distribution grid control," 2016 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), Milwaukee, WI, 2016, pp. 1-6.