

반도체 변압기용 멀티레벨 H-bridge 컨버터의 전압 불평형 해결 방법

정동근*, 김호성**, 김중현**, 백주원**, 조진태***, 김희제*
 부산대학교*, 한국전기연구원**, 한전전력연구원***

Solution of Voltage Unbalance in Multi-level H-bridge Converter for Solid State Transformer

Dong Keun Jeong*, Ho Sung Kim**, Jong Hyun Kim**, Joo Won Baek**, Jin Tae Cho***, Hee Je Kim*

Dept. of electrical engineering, Pusan National University*

Korea Electrotechnology Research Institute (KERI)**

Korea Electric Power Research Institute(KEPRI)***

ABSTRACT

기존의 전력 시스템에서 큰 부피를 차지하는 계통 주파수 (50/60Hz) 변압기를 대체하기 위해서, 최근 전력용 반도체 변압기 SST(Solid State Transformer)에 대한 연구가 많이 수행되고 있다. AC/DC 컨버터는 높은 시스템 입력 전압에 대응 가능한 기존의 다양한 멀티레벨 컨버터 중 CHB (Cascaded H bridge) 컨버터는 시스템 모듈화의 용이성과 상용 소자의 정격전압을 고려했을 때 반도체 변압기 시스템에 가장 많이 적용되고 있는 토폴로지이지만 각각의 H bridge 컨버터 DC link 전압의 불평형 문제가 발생한다. 본 논문에서는 CHB 컨버터의 전압 불평형을 해결하기 위하여 추가적인 센서가 필요없는 간단하고 실용적인 전압 불평형 보상 제어기를 제안한다.

1. 서론

기존의 전력 시스템에서 큰 부피를 차지하는 계통 주파수 (50/60Hz) 변압기를 대체하기 위해서, 최근 고주파 절연 변압기 기반의 전력용 반도체 변압기 SST에 대한 연구가 많이 수행되고 있다.[1] 기본적인 반도체 변압기는 AC/DC 컨버터와 절연형 DC/DC 컨버터의 직병렬 조합 형태로 구성된다. AC/DC 컨버터는 높은 시스템 입력 전압에 대응 가능한 기존의 다양한 멀티레벨 컨버터 중 CHB 컨버터는 시스템 모듈화의 용이성과 상용 소자의 정격전압을 고려했을 때 반도체 변압기 시스템에 가장 많이 적용되고 있는 토폴로지이다. 반도체 변압기의 AC/DC 정류기 부분을 CHB 컨버터로 구성했을 때, DC/DC 컨버터 부분인 DAB(Dual Active Bridge) 컨버터의 소자 특성 오차 및 각각 컨버터 단의 유효전력 오차에 의해서 전압 불평형이 발생하며, 이러한 문제는 반도체 변압기에 적용된 반도체 소자의 스트레스를 증가시키며, 과전압에 의한 시스템 신뢰성 감소 등의 문제를 일으킨다. 다른 스위칭 패턴을 이용하여 각각의 H bridge 모듈의 DC 캐패시터의 충전과 방전을 조절하여 DC link 불평형을 해결하는 방법 등 기존의 연구에서 CHB 컨버터의 전압 불평형을 줄이기 위해서 다양한 전압 밸런싱 방법이 제안되었다.[2] 본 논문에서 제안된 제어기는 추가적인 센서가 필요 없으며, 기존 AC/DC 정류기의 제어기에 최소한의 전압 보상 제어기만을 추가하여 CHB 컨버터의 전압 불평형을 개선하였다. 제안하는 SST 시스템 및 전압 불평형 보상 알고리즘은 30kW SST 시제품을 통해서 검증하였다.

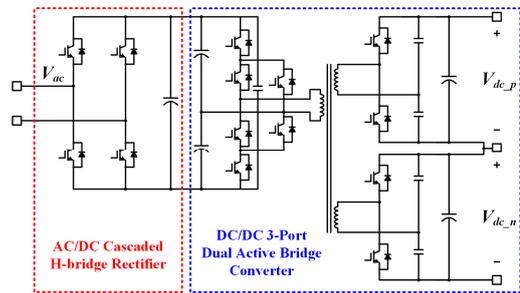


그림 1. 제안하는 반도체 변압기 시스템 단위모듈

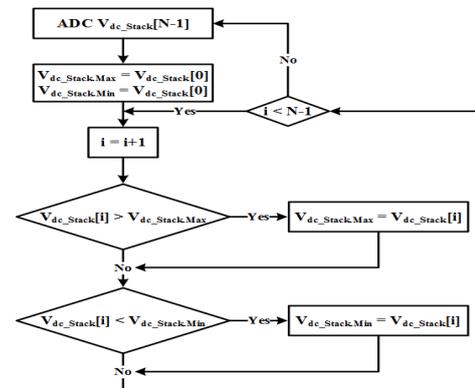


그림 2. 최대/최소값 검출 알고리즘

2. 제안하는 반도체 변압기 시스템

그림 1은 본 논문에서 제안하는 반도체 변압기의 단위모듈 구조이다. 제안하는 단위모듈은 H bridge 컨버터와 3 Port 출력 조건을 가진 NPC 구조의 DAB 컨버터로 구성된다. 실제로 목표하는 시스템의 최종 사양은 제안하는 단위 모듈 10개를 직병렬 구성을 통해서 입력 단상 13.2kVac, 용량 150kW, ±750Vdc 출력의 DC 배전용 반도체 변압기 시스템이다.

2.1 최대/최소값 검출 알고리즘

그림 2은 적용된 최대/최소값 검출 알고리즘의 블록다이어그램이다. 첫 번째 모듈의 전압을 두 번째 모듈부터 순차적으로 N개의 모듈까지 비교한다. 만약 비교되는 모듈이 첫 번째 모듈보다 크다면 최대값이 비교되는 모듈의 값으로 변경된다. 변경된 최대값으로 다음 모듈과 비교하는 방식이다.

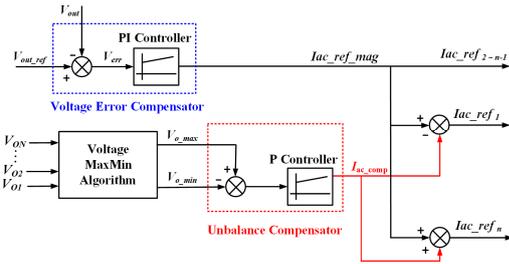


그림 3. 최대/최소값 검출 알고리즘을 이용한 전압 불평형 보상기

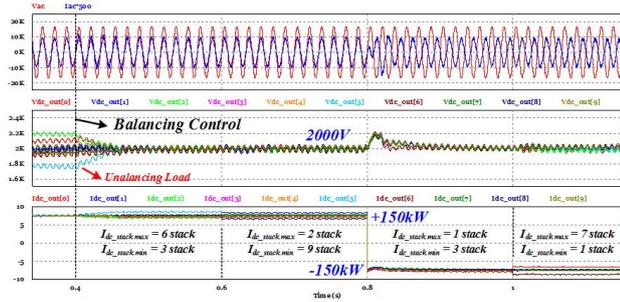


그림 4. 제안된 전압 불평형 보상기를 적용한 반도체 변압기 시뮬레이션 결과

2.2 제안하는 전압 불평형 보상 제어기

그림 3은 제안된 최대/최소값 검출 알고리즘을 이용한 전압 불평형 보상 제어기이다. 최대출력전압과 최소출력전압의 차를 P 제어기의 오차로 이용한다. 각 모듈에 사용될 전류 크기 지령은 식 (1)과 같이 최소전압의 모듈에는 전류 크기 지령에 P 제어기 출력을 더하고, 최대전압의 모듈에는 빼도록 제어기를 구성한다.

$$I_{ac_ref_max} = I_{ac_comp} - K_p (V_{o_max} - V_{o_min}) \quad (1)$$

$$I_{ac_ref_min} = I_{ac_comp} + K_p (V_{o_max} - V_{o_min})$$

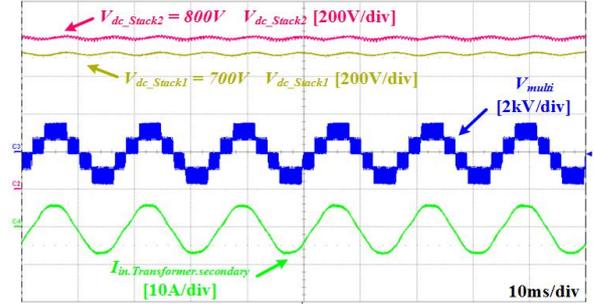
그림 4는 H bridge 컨버터 모듈 10개의 부하차로 인하여 전압불균형이 발생하는 조건에서 제안된 시뮬레이션이다.

3. 실험결과

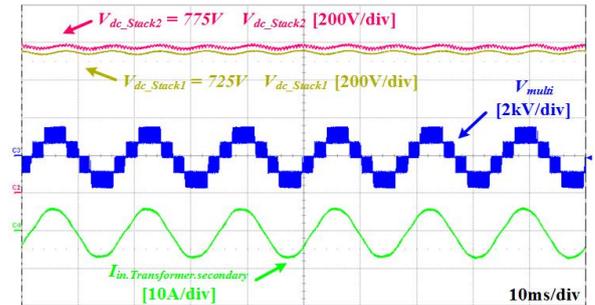
표 1. 제안된 CHB 컨버터 파라미터

| | | | |
|-------------------|---------------------|---------------------|--------|
| Cascaded H-bridge | 2 | Switching Frequency | 1.8kHz |
| Power | 30kW | L filter | 20mH |
| Input Voltage | 2640V _{ac} | Output Capacitor | 360μF |
| Output Voltage | 4000V _{dc} | | |

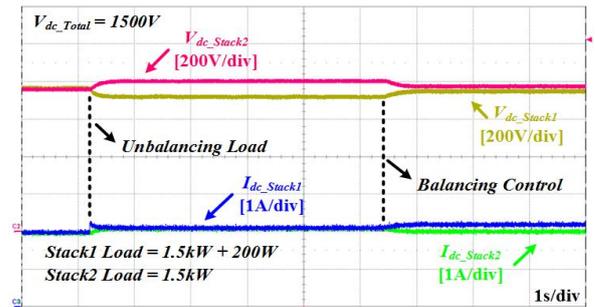
실험에 사용된 30kW CHB 컨버터의 파라미터는 표 1과 같다. 그림 6은 설계 조건과 동일한 0.93의 MI에서 1500V_{dc} 출력전압을 제한한다. 200W의 불평형 부하를 인가함으로써 그림 6(a)와 같이 전압 불평형이 발생한다. 그림 6(b)는 제안된 최대/최소값 검출 알고리즘을 이용한 전압 불평형 보상 제어기를 사용하였을 때, 전압 불평형 현상이 해결되는 과정이다. 그림 6(c)와 같이 1s/div의 긴 시간 축으로 부하 불균형으로 인해 발생하는 전압 불평형이 제안된 전압 불평형 보상 제어기를 적용하였을 때, DC link 전압 불평형이 해결되는 것을 확인하였다.



(a)



(b)



(c)

그림 6. 초음파 트랜스듀서 시스템 정상상태 실험결과

4. 결론

본 논문에서는 반도체 변압기 시스템의 간단하고 실용적인 방법의 전압 밸런싱 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 기존의 밸런싱 방법에 비해서 추가적인 센서가 필요 없으며, DC link 전압의 최대/최소값 검출 알고리즘을 AC/DC 정류기 제어기에 추가하여 전압 불평형을 해결하였다. 또한 시뮬레이션 및 실험을 통하여 제안하는 전압 밸런싱 방법의 타당성을 검증하였다.

참고 문헌

- [1] J. Shi, Wei Gou, H. Yuan, T. Zhao and A. Q. Huang, "Research on Voltage and Power Balance Control for Cascaded Modular Solid State Transformer," IEEE Trans. on Power Electronics. vol. 26, no. 4, pp. 1154-1166, Apr. 2011.
- [2] J.A.Barrena, L.Marroyo, M.A.R. Videl, and J.R.T.Apraz, "Individual voltage balancing strategy for PWM cascaded h bridge converter based STATCOM", IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol.55, no.1, pp.21-29, Jan. 2008.