

반도체 변압기를 위한 고압 IGBT의 스위칭 손실 특성 비교

윤춘기, 조영훈, 김호성¹, 백주원¹, 조영표²
 건국대학교 전력전자 연구실, 전기연구원¹, 한국전력공사 전력연구원²

A Comparative Analysis of Switching Losses of High Voltage IGBTs in Solid State Transformer Applications

Chun gi Yoon, Younghoon Cho, Ho-Sung Kim¹, Ju Won Baek¹, Youngpyo Cho²
 Power electronics lab. Konkuk Univ., KERI¹, KEPRI²

ABSTRACT

Solid State Transformer(SST) has been recently regarded as a good alternative to conventional low frequency transformer. SST is consist of several high voltage power stage, so it is important to select optimal semiconductor switches for specification. This paper presents optimal IGBT switches for low switching losses using analyzing switching characteristics of several high voltage IGBT switches. Double Pulse Tester(DPT) experiment is used to verify characteristics of this IGBT switches.

1. 서론

현재의 전력시스템에서 변압기는 절연을 담당해주며 전력전달에 있어 중요한 역할을 수행하고 있다. 하지만 입력전력과 부하에 따라 출력전력의 품질이 낮아진다는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 반도체 변압기(Solid State Transformer)가 새로이 대두되어 활발히 연구되고 있다. 반도체 변압기는 최적설계가 매우 중요하며 이에 따라 본 논문에서는 반도체 변압기의 구조를 살펴보고 Double Pulse Tester를 이용한 IGBT의 스위칭 특성을 분석하여 최적의 IGBT스위치를 제안한다.

2. 반도체 변압기의 구조

본 논문에서의 반도체 변압기는 AC/DC정류기 - DC/DC컨버터 - DC/AC인버터의 3스테이지 회로구조를 가지며 시스템 블록도는 아래의 그림 1과 같다.

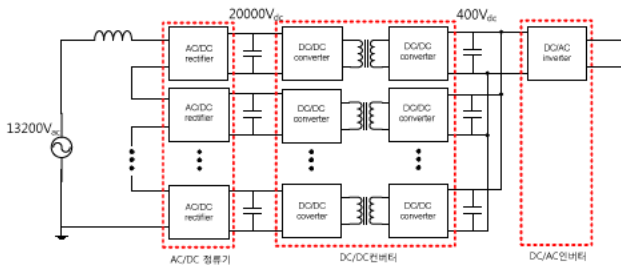


그림 1 3스테이지 반도체 변압기 시스템 블록도
 Fig. 1 3-Stage Solid State Transformer system block diagram

본 시스템에서는 입력이 13200V로 매우 높기 때문에 H-bridge정류기를 직렬 연결한 Cascaded H-bridge 정류기를 사

용하며 각 스택별 DC링크가 직렬로 연결되어 최종적으로 고압의 DC링크를 형성하게 된다. 또한 고주파변압기를 포함한 Dual Active Bridge 컨버터를 시스템의 절연을 담당하게 된다. 따라서 AC/DC정류기와 DC/DC컨버터의 1차측(고압측)은 매우 고전압의 전력을 공급하게 되며 이 경우 각 스택의 DC링크 전압을 각각의 스위치가 모두 감당하게 된다. 대용량 고압 반도체 변압기의 경우 작은 전류에도 전력이 크게 변하기 때문에 회로의 최적화가 필수적이며 이에 따라 효율, 안정도를 확보하기 위해선 고압 IGBT스위치의 선정이 매우 중요하다.

3. IGBT 모델링

IGBT는 기본적으로 기생 커패시터와 인덕턴스 성분을 가진다. IGBT의 커패시턴스는 게이트(G), 컬렉터(C), 에미터(E)간의 커패시턴스 C_{GC}, C_{CE}, C_{GE} 로 나타낼 수 있으며 G_{GC} 와 C_{CE} 의 합을 출력 커패시턴스(C_{oes})라 한다. 게이트와 에미터의 전압 차에 따라 공핍층의 두께가 변하며 커패시턴스의 충방전을 통해 턴온-오프를 수행하게 된다. IGBT의 등가회로는 그림 2와 같다.

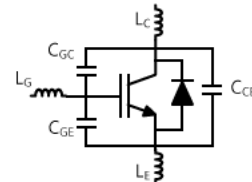


그림 2 IGBT 모델링
 Fig. 2 IGBT Modeling

4. Double Pulse Test

고압 IGBT의 특성은 Double Pulse Tester(DPT)를 이용하여 검증할 수 있다. DPT는 그림 3과 같이 DC전원, DC링크 커패시터, 입력 인덕터, 프리휠링 다이오드, 스위치로 구성되어 있으며 스위치에 2번의 펄스를 인가하여 스위칭 특성과 에너지 손실을 분석할 수 있다. IGBT 턴온시 인덕터를 통해 전류가 증가하게 되며 스위치 턴오프시 인덕터와 프리휠링 다이오드를 통하여 전류가 순환하게 된다. 이때 두 번째 펄스를 인가해주면 순환하고 있던 전류가 스위치를 통해 다시 흐르면서 일정전류 조건에서 IGBT의 턴온-오프 특성을 확인할 수 있다. 첫 번째 펄스는 인덕터 전류를 정격조건까지 인가할 수 있도록 펄스폭이 설정되어야 하며 두 번째 펄스의 경우 펄스폭이 매우 짧아야한다. 또한 두 번째 펄스 인가시 프리휠링 다이오드의 Reverse Recovery 특성으로 인해 매우 큰 단락전류가 흐르게 되므로 쇼트키 다이오드

등을 이용하여 이를 방지한다.

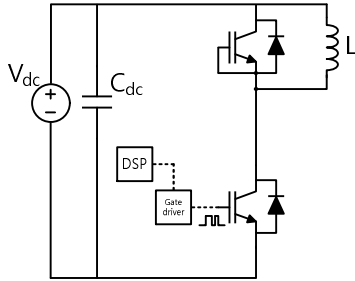


그림 3 더블펄스테스터 회로도
Fig. 3 Double Pulse Tester block diagram

5. 실험결과

IGBT의 스위칭 특성을 분석하기 위하여 DPT를 구성하였으며 본 논문에서는 프리휠링 다이오드로 모듈 IGBT의 내부다이오드를 사용하였다. IGBT는 모듈과 디스크리트 타입의 IGBT를 각각 사용하였으며 모듈IGBT는 ABB사의 5SNG 0250P330305, 디스크리트 IGBT는 IXYS사의 IXBK55N300을 사용하였다. 이 두 스위치의 특성은 아래의 표1과 같다.

표 1 IGBT 특성
Table 1 IGBT Characteristics

	모듈 IGBT	디스크리트 IGBT
C_{ies} (input capacitance)	25.2nF	7.3nF
C_{os} (output capacitance)	2.1nF	0.275nF
t_r (rising time)	195ns	307ns
t_f (falling time)	260ns	268ns
t_{rr} (reverse recovery time)	1.16us	1.9us

모듈 IGBT의 경우 같은 전압 용량에서 큰 전류용량을 가지고 있지만 디스크리트 IGBT에 비해 Input, Output capacitance가 더 크다는 단점을 가지고 있다. 이는 스위치 턴온오프 딜레이 타임에 영향을 미치며 IGBT 턴오프시 tail current로 인해 스위칭 손실이 더 커지는 결과를 가져온다. 실험제정수는 표2와 같으며 실험구성은 그림 4와 같다.

표 2 실험제정수
Table 2 Experiment parameters

V_{dc}	2000V	I_L	16.07A
L	4.1mH	C_{dc}	360uF

실험 결과값은 표3에 나타내었다. 29.52mJ만큼의 에너지 차이를 보였으며 본 시스템과 같이 2kHz의 스위칭주파수를 가지는 150kVA시스템인 경우 모듈 IGBT의 스위칭 손실전력이 2361.6W만큼 더 발생하며 1.57%의 효율저하를 나타내게 된다.

6. 결론

본 논문에서는 모듈과 디스크리트 타입의 IGBT의 스위칭 특성을 비교분석한 후 최적의 스위치 선택을 제안하였다. 그 결과 디스크리트 타입의 IGBT 선택이 대용량 반도체 변압기 시스템에서 유리함을 검증하였고 추후 스위치의 도통손실과 열적 분석을 통하여 시스템에 최적화된 스위치를 설계할 수 있을 것이다.

표 3 실험결과
Table 3 Experiment result

100%정격	턴온에너지(A)	턴오프에너지(B)	총에너지
모듈IGBT	34.98mJ	36.6mJ	71.58mJ
디스크리트 IGBT	19.51mJ	22.55mJ	42.06mJ
에너지비교(A-B)	15.47mJ	14.05mJ	29.52mJ

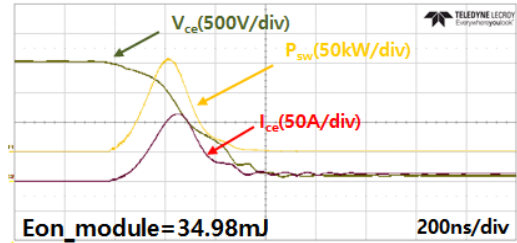


그림 4 모듈 IGBT 턴온 전압, 전류 파형
Fig. 4 Module IGBT turn-on voltage, current waveform

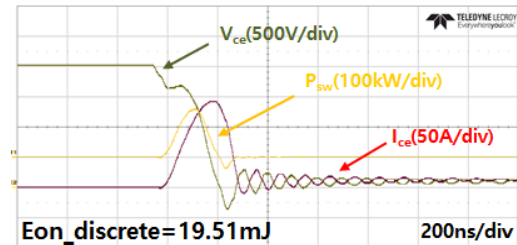


그림 5 디스크리트 IGBT 턴온 전압, 전류 파형
Fig. 5 Discrete IGBT turn-on voltage, current waveform

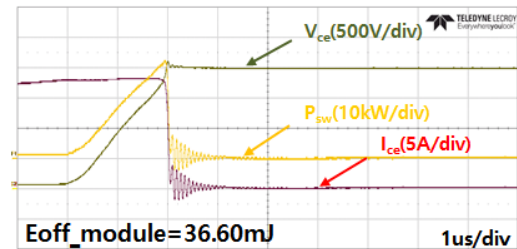


그림 6 모듈 IGBT 턴오프 전압, 전류 파형
Fig. 6 Module IGBT turn-off voltage, current waveform

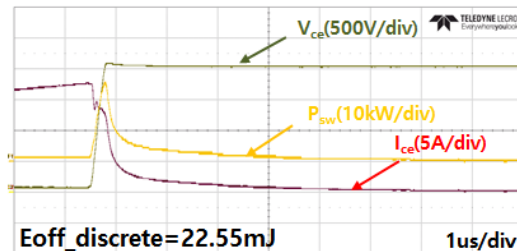


그림 7 디스크리트 IGBT 턴오프 전압, 전류 파형
Fig. 7 Discrete IGBT turn-off voltage, current waveform

이 논문은 한국전력공사 전력연구원에서 수행중인 “저압 직류배전망 독립성 실증 연구”과제의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다.(D3080)

참고 문헌

- [1] Alexander Kim, “Switching-Loss Measurement of Current and Advanced Switching Devices for Medium-Power Systems”, Master’s thesis, Virginia Tech, 2011.08