

공진회로를 이용한 직렬연결 전력용 반도체 소자의 밸브 시험 시스템

유현호, 한영성, 한세희, 최종윤, 김준모 김수열, 윤종수
(주)효성 중공업연구소 한전 전력연구원

A valve test system for series connected power semiconductor using resonant circuit

H.H. Yoo, Y. S. Han, S.H. Han, J.Y Choi, J.M. Kim S.Y. Kim, J.S. Yoon
Hyosung Corporation KEPRI

Abstract - 대용량 인버터의 기본 구성요소인 밸브를 시험하는 방식에 대해 제안하였다. 대용량 인버터를 구성하기 위해서는 전력용 반도체 소자를 직렬로 연결하여 고전압을 스위칭할 수 있는 밸브가 필요하다. 이 밸브의 Snubber 회로의 적정성, 정격전압, 정격전류에서 정상적으로 스위칭이 이루어지는지 등의 검증이 필요하다. 본 논문에서는 전력용 반도체 소자에 이러한 시험조건을 제공하는 시험방식을 제안하였다.

전류는 C1-D2-L2-C2로 흐른다. 이 기간 중 T1를 다시 on 시키면 되면 D2는 hard recovery를 겪게 된다. L2에 흐르던 전류는 C2를 음으로 충전하고 이 전류가 0으로 되면 D1이 turn-on 된다. C2에 충전된 전압은 L2에 역전류를 흐르게 하며 C2를 양으로 다시 충전시킨다. D1에 흐르는 전류가 0으로 되며, 모든 과도상태가 끝난다. C1의 증가된 전압은 방전저항을 통해 방전된다. 이 과정을 Simulation한 결과를 그림 2에 나타내었다.

1. 서 론

전력용 반도체 소자의 정격 전압 이상의 고전압 조건에서 스위칭 동작을 수행하기 위하여 전력용 반도체 소자를 직렬 연결하여 하나의 스위칭 밸브를 구성한다. 이러한 직렬 연결된 스위칭 밸브의 turn on, off 동작의 특성은 simulation을 통하여 어느 정도의 예측은 가능하지만, 실제 운전 조건과 유사한 환경에서 단위 밸브를 시험하여 검증하는 단계를 거쳐야 한다. 이러한 실험의 목적은 직렬 연결된 스위칭 밸브의 turn on, off 동작시에 설계한 스너버 회로 및 스위칭 밸브가 최대 전압, 전류를 견딜 수 있는가를 검증하는 것이다. Turn off 시험에 의하여 동적 전압 분포 및 전압 overshoot 분배 특성이 점검되고, turn on 시험에 의해 스너버 회로에 저장된 에너지의 발산 및 역병렬 diode의 hard recovery 특성이 점검된다. 이러한 시험의 수행을 위하여 공진회로를 이용한 스위칭 밸브 시험 장치를 고안하였다.

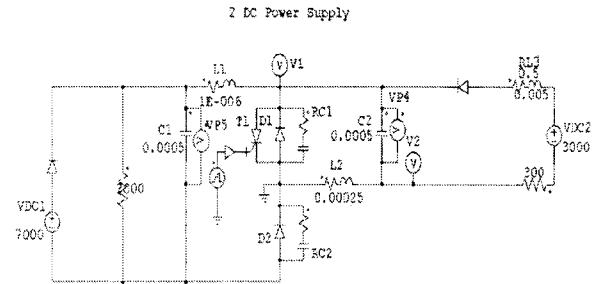


그림 1 밸브 시험장치 구성도

2. 본 론

2.1 시험장치 설계

직렬 연결된 전력용 반도체 소자로 구성된 인버터 스위칭 밸브의 turn off 시험에 의해 동적 전압 분포 및 전압 overshoot, turn on 시험에 의해 스너버 회로에 저장된 에너지의 발산 및 역병렬 diode의 hard recovery 특성의 점검을 위하여 그림 1과 같은 시험장치를 고안하였다. 시험장치는 크게 스위칭 밸브, 역병렬 다이오드 및 전류 순환용 다이오드로 구성된 스위칭 밸브 부분과 2개의 DC 전원장치, 에너지 저장용 커패시터 및 부하 리액터로 구성된다. 전류제한장치가 있는 전원장치로 C1, C2를 미리 충전하고, L2는 $\frac{V_{D2}}{L_2} \leq 5 \times 10^6$

을 만족하도록 설정해서 Turn off 전류를 공급할 수 있도록 한다. 이 때 T1을 on 시키면 C2에 충전된 에너지가 L2에 흐르는 전류에너지로 바뀌는데 이 전류가 최대인 지점, 즉 L2와 C2의 공진주기 1/4이 될 때 T1을 off 하면 T1은 전류를 차단하면서 C1에 충전된 전압이 인가된다. Turn off 동작 발생 이전에 전류는 T1으로 흐르다가 C1-D2 loop로 commutation이 이루어진다. 그 이후

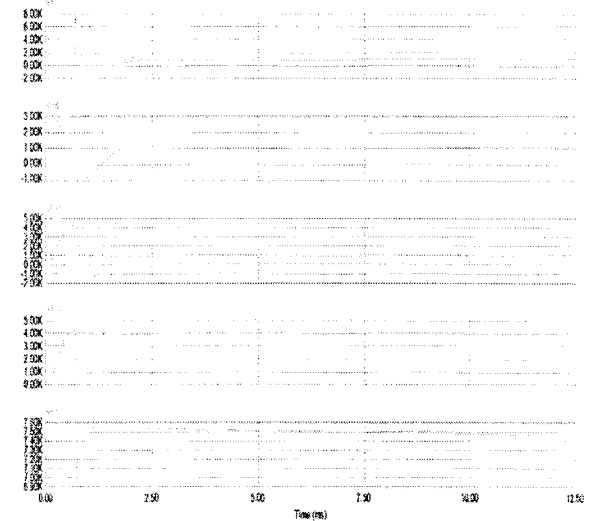


그림 2 밸브 시험장치 동작 Simulation
(L1=250uH, C1=500uF, C2=500uF, VDC1=7000V, Vc2=3000V)

2.2 시험장치 구성

밸브 시험 장치에 대한 시뮬레이션결과를 바탕으로 전력용 반도체 소자가 직렬 연결된 스위칭 밸브의 시험 장치를 아래의 그림 3과 같이 구성하였다. 스위칭 밸브는 ABB사의 4500V, 4000A급의 IGCT를 5개 직렬 연결하여 구성하였으며 동일 용량의 다이오드를 5개 직렬 연결하여 역병렬 다이오드 및 전류 순환용 다이오드를 구성하였다.

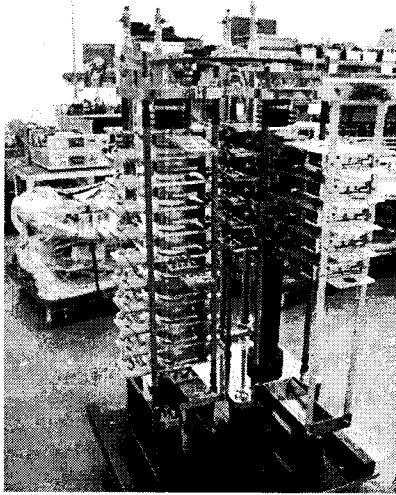


그림 3 밸브 시험 장치

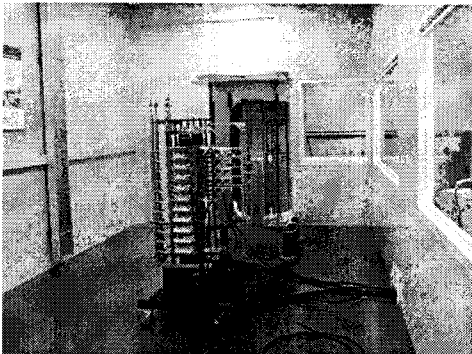


그림 4 밸브 시험장치와 부하 리액터

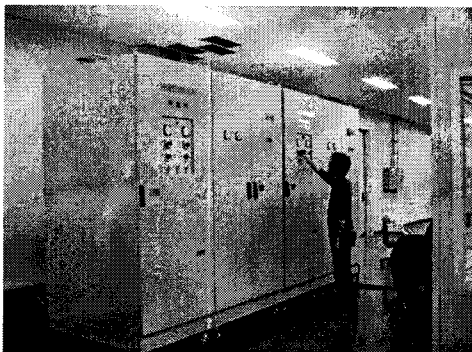


그림 5 DC 전원 공급 장치

아래의 그림 고압, 대전류 반도체 소자의 게이트 구동 회로는 고압의 주 회로와 절연되지 않은 경우가 일반적이므로, 게이트 구동용 전원은 충분한 절연 내력을 확보하여야 한다. 또한 송배전용 FATCS 기기와 같이 다수의 소자를 직렬로 접속하여 고전압 밸브를 구성하는 경우에는 소자간 절연 레벨도 다양하여 일률적으로 결정하기에는 어려운 점이 많다. 이러한 문제를 해결하는 방법 중의 하나는 고주파 전류형 인버터와 전류 입력형 변압기를 이용하는 것이다.

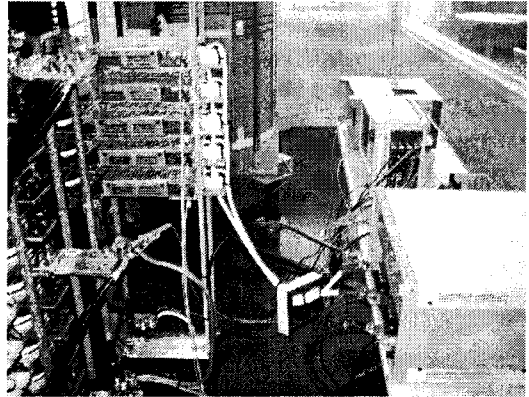


그림 6 IGCT gate driver 전원 공급 장치

2.3 시험 절차 및 결과

스위칭 밸브 시험을 통하여 스택이 정상적으로 조립되었는지의 여부와 각 IGCT 소자에 균형적인 전압분포를 확인할 수 있다. 밸브 시험장치의 시험은 다음의 절차에 의하여 수행되었다.

- 1) 도면에 따른 결선 및 육안 검사
- 2) 시험장치 제어기 동작 확인
- 3) IGCT gate drive 전원 공급용 HFI 전원 On
- 4) 5개 직렬 연결된 IGCT LED 점검
- 5) 육안점검 가능한 시간동안 Turn On 신호 인가 후 Gate On LED 육안 점검 (gate driver 동작 점검)
- 6) DC 전원 공급 장치 1, 2에 시험 전압 인가
- 7) 350usec turn on 신호 인가 후 전압 배분 확인
- 8) 표 1에 따라 DC 전원 공급 장치 전압 가변에 따른 스위칭 출력 파형 확인

표 1 DC 전압 가변 밸브 스위칭 시험 순서

	DC1 Voltage	DC2 Voltage
1	1000	500
2	2500	1000
3	3500	1500
4	5000	2000
5	5000	3500
6	6000	3500
7	7000	3500
8	8000	3500
9	9000	3500
10	10000	3500

아래의 그림 7에 DC1에 5000V DC2에 3500V 전압 인가한 조건에서 5개의 직렬 연결된 IGCT의 turn on, off 특성을 나타내었다. 부하측에 흐르는 전류의 파형이 시뮬레이션 결과와 동일함을 확인할 수 있었다. 또한 Turn

off 시 그림에서 보이는 바와 같이 5개의 직렬 연결된 IGBT의 전압 배분이 고르게 나타남을 알 수 있다.

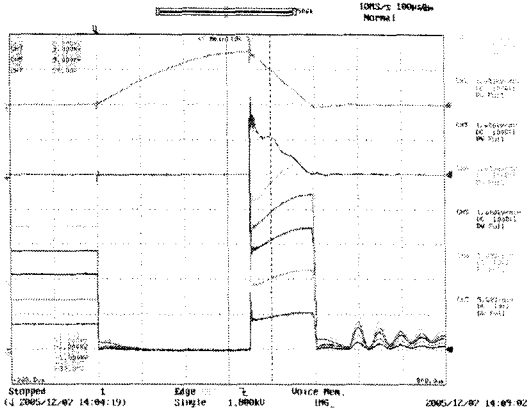


그림 7 Turn on/off 특성

아래의 그림 8에는 스위칭 밸브 turn off 특성을 확대하여 나타내었다. 시험 조건은 DC1에 10000V, DC2에 3500V 충전조건에서 시험하였으며, 균등한 turn off 전압분배를 보임을 알 수 있다.

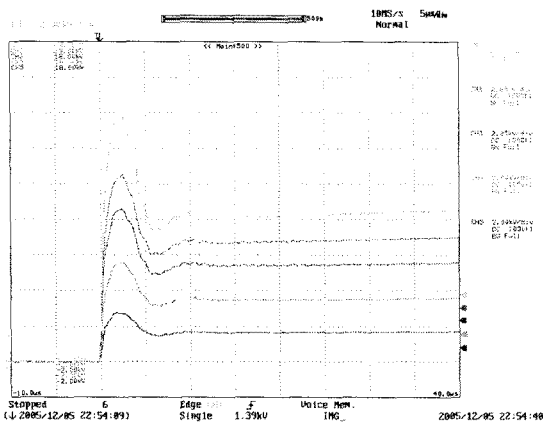


그림 8 Stray Inductance 개선 전

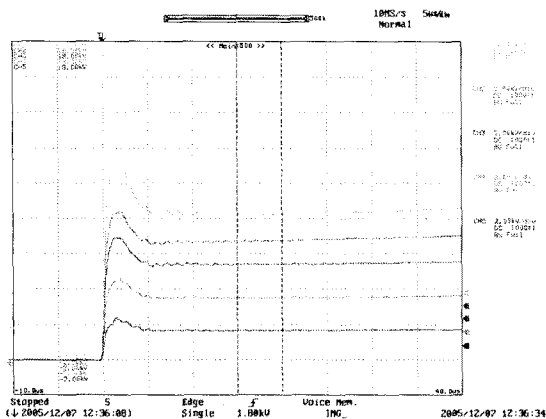


그림 9 Stray Inductance 개선 후

Turn off 시 C1에 충전된 전압은 시험 장치의 결선 길이 등의 외부 요인에 의하여 가변되는 Stray Inductance에 L1 값에 따라 Peak값이 달라짐을 알 수 있다. 따라서 L1의 값을 최소화 하기 위하여 시험 장치의 부하 결선 길이 최소화 등을 통하여 L1값을 조정하여 turn off peak 전압을 최소화 시킬 수 있음을 확인하였다.

3. 결 론

FACTS(Flexible AC Transmission System)기기에 사용되는 고전압의 대용량 인버터를 구성하기 위하여 전력용 반도체 소자를 직렬 연결하여 인버터의 스위칭 밸브를 구성하는 방식이 사용되고 있다. 직렬 연결된 스위칭 밸브의 turn on, off 동작의 특성을 실제 운전 조건과 유사한 환경에서 검증하는 단계를 거치기 위하여 공진회로를 이용한 스위칭 밸브 시험 장치를 고안하였다. 이러한 시험장치를 이용하여 직렬 연결된 스위칭 밸브의 turn on, off 동작시에 설계한 스너버 회로 및 스위칭 밸브가 최대 전압, 전류를 견딜 수 있는지의 여부를 확인하고, turn off 동작에서의 동적 전압 분포 및 전압 overshoot 분배 특성을 확인할 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] 대용량 전력수송 기술개발(1단계 : FACTS 운용 및 기기 국산화 기술개발) 2차년도 중간보고서, p.268-273, 2005
- [2] 대용량 전력수송 기술개발(1단계 : FACTS 운용 및 기기 국산화 기술개발) 3차년도 1차분기 보고서, 2006