

Medium Voltage 하이브리드 절체 스위치

정용호, 김한준, 양천석
LG산전

Medium Voltage Hybrid Transfer Switch

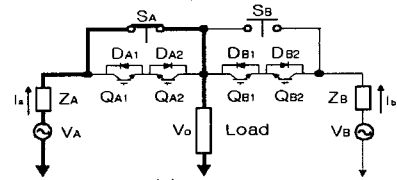
Yong-Ho Chung, Han-Joon Kim, Chun-Suk Yang
LG Industrial Systems Co.Ltd

Abstract - 본 논문은 기계적 스위치와 반도체 스위치를 병렬로 연결한 하이브리드 스위치에 관한 것이다. 제안된 하이브리드 스위치에서 정상상태 동작은 기계적 스위치에 의해 이루어지며 반도체 스위치는 on/off 전환시에만 동작하므로, 반도체 스위치를 위한 냉각 수단이 필요없게 된다. 반도체 스위치에 대한 3가지 제어 방법을 제시하고 시뮬레이션을 통하여 비교하였다. 또한, 5개의 IGBT가 병렬로 연결되고 다시 이것이 20개 직렬 연결된 정격 11kV(RMS)/125A인 반도체 ac 스위치를 설계·제작하였으며, 기본적인 실험 결과가 제시되었다.

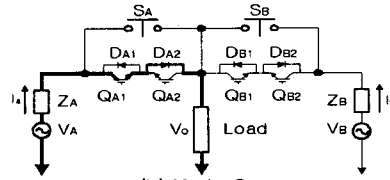
그림 1a에서 보인 바와 같이 mode-1 동안 전압원 V_A 가 기계적 스위치 S_A 를 통하여 부하에 에너지를 공급하고 있다고 가정한다.

1. 서 론

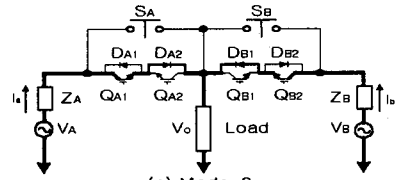
전원 왜란으로부터 시스템을 보호하기 위한 몇가지 접근방법이 있는데, 이 중에서 기계적인 automatic load transfer switch(ALTS 또는 ATS)가 전원 절체에 가장 널리 사용된다. 그러나, 기계적 스위치는 사고 발생 후 절체까지 보통 1~10초가 소요되며, 많은 장비들이 전원의 이상에 민감하므로 기계적인 ALTS로는 요구되는 전원의 품질을 만족시킬 수 없다. ALTS의 한계를 극복하기 위해서, 기계적 스위치를 역병렬로 접속된 thyristor로 대체한 medium voltage static transfer switch(MVSTS)가 많은 분야에서 적용되어졌다. 보통의 MVSTS의 절체 시간은 과전압 상태인 경우 60Hz 주기의 반에 이르는데 이것은 시스템에 심각한 문제를 야기할 수 있다. 또한 SCR은 turn off를 제어하는 것이 불가능하므로 절체 구간 동안 서지전류를 다루는데 한계가 있어서 더 높은 전류 정격의 것이 요구되고, SCR의 conduction loss에 의한 열을 제거하기 위해서 부피가 큰 heat sink가 필요하므로 비용이 증가한다. 따라서 본 논문에서는 강제 소호력이 있는 IGBT와 기계적 스위치를 병렬로 사용하여 절체 시간이 매우 짧고 발열이 최소화된 하이브리드 절체스위치를 제안하고 동작원리를 설명하였으며 기본적인 실험결과를 보였다.



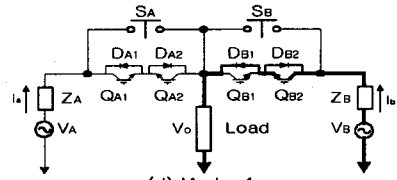
(a) Mode-1



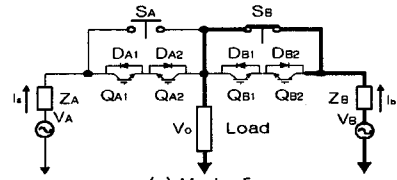
(b) Mode-2



(c) Mode-3



(d) Mode-4



(e) Mode-5

그림 1 제안된 HTS의 구성과 동작 순서

2. 본 론

2.1 새로운 HTS의 동작

그림 1에 반도체 스위치와 기계적 스위치가 병렬로 연결된 hybrid transfer switch(HTS)의 구성과 동작 순서를 보였다. 그림 1의 회로 구성은 적용된 반도체 스위치가 SCR 대신 IGBT라는 것을 제외하고는 기존의 MVSTS[3]과 유사한데, MVSTS는 정상상태에서 SCR이 동작하지만 제안된 HTS는 정상상태에서 기계적 스위치가 동작하고 이 기계적 스위치의 on/off시에만 IGBT가 동작하도록 되어있다. 따라서 제안된 HTS에서는 반도체 스위치를 위한 heat sink가 불필요하며, 기계적 스위치의 접점에서 아크가 발생하지 않으므로 전자력에 의한 반발력을 이용하여 기계적 스위치가 1ms이내에 열고 닫힐 수 있도록 설계될 수 있다. AC반도체 스위치의 기능을 구현하기 위하여 병렬 접속된 다이오드를 갖는 2개의 IGBT가 마주보게 연결되어 있다.

V_A 측에 전압 교란이 감지되면 V_A 로부터 정상전압 범위인 V_B 로 에너지 흐름이 절체되어야 한다. 그림 1b와 같이 IGBT(Q_{A1} 과 Q_{A2})를 켜고 기계적 스위치(S_A)를 끄는 것이 mode-2의 동작이다. 이 모드에서 IGBT가 부하전류를 전부 부담하고 있으므로 S_A 가 꺼질 때 기계적 접점 사이에서의 아크 발생 문제가 없다. 이것은 기

제어 접점을 아주 빠르게 분리시키는 것이 가능하다는 것을 뜻한다. mode-2는 일반적으로 1ms미만이다. 그림 1c에서 IGBT(Q_{B1} 과 Q_{B2})를 꺼서 mode-3이 시작되는 것을 보였다. mode-3동안에는 2개의 전압원 V_A 와 V_B 가 부하에 동시에 연결되는데, mode-3의 길이는 HTS의 제어방식에 따라 바뀔 수 있다. mode-3은 IGBT(Q_{A1} 과 Q_{A2})를 꺼서 V_A 를 분리시킴으로써 끝난다. 부하전류가 IGBT(Q_{B1} 과 Q_{B2})를 통하여 모두 전압원 V_B 에서 공급되는 mode-4를 그림 1d에 나타내었다. 마지막으로 기계적 스위치(S_B)를 완전히 닫은 다음에 IGBT(Q_{B1} 과 Q_{B2})를 끄는 과정이 mode-5이다.

2.2 시뮬레이션 결과

HTS의 동작을 PSPICE를 이용하여 시뮬레이션 하였다. 다음의 3가지 제어 방법을 생각할 수 있다.

A. Zero Current Transferring without Delay

이 경우, 제안된 HTS는 기존의 MVSTS와 비슷하게 동작한다. 즉, 전압 교란이 발생하면 Q_{B1} , Q_{B2} 가 꺼지고, Q_{A1} , Q_{A2} 는 흐르는 전류가 0이 될 때까지 계속 도통해 있다. 그림 2는 V_A 가 V_B 보다 작을 때 전압교란이 $t=153\text{ms}$ 에서 측정된 경우이다. Q_{B1} , Q_{B2} 가 꺼졌을 때 I_a 는 감소하고 I_b 는 증가한다. I_a 가 $t=153.898\text{ms}$ 에서 0이 되면 Q_{A1} , Q_{A2} 는 꺼지고 V_A 에서 V_B 로의 절체가 완료된다. 이 경우, 절체 시간은 1ms 미만이다.

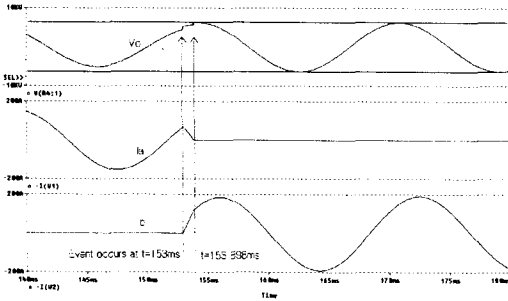


그림 2 $V_A \rightarrow V_B$ 로 절체시 방법 A의 시뮬레이션 파형
: $V_A=5.3\text{kV}$, $V_B=6.6\text{kV}$

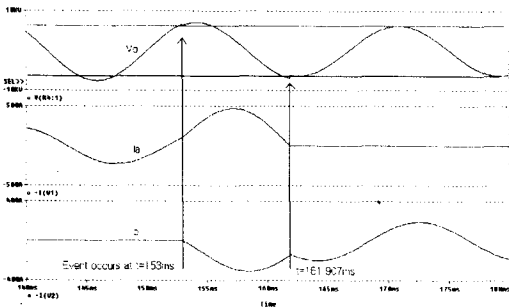


그림 3 $V_A \rightarrow V_B$ 로 절체시 방법 A의 시뮬레이션 파형
: $V_A=7.9\text{kV}$, $V_B=6.6\text{kV}$

그림 3은 V_A 가 V_B 보다 클 때 전압교란이 $t=153\text{ms}$ 에서 측정된 경우이다. Q_{B1} , Q_{B2} 가 꺼졌을 때 I_a 는 증가하고 I_b 또한 음의 방향으로 증가한다. 두 전

류 모두 정격범위인 200A를 초과하였다. I_a 가 $t=162\text{ms}$ 에서 0이 되면 Q_{A1} , Q_{A2} 는 꺼지고 V_A 에서 V_B 로의 절체가 완료된다. 이 경우 절체 시간은 약 9ms이고 영전류 스위칭이 가능하다고 하더라도 절체의 전류 레벨이 너무 높기 때문에, 더 높은 정격의 파워 소자가 필요하게 된다. 이 제어 방법은 line voltage interrupt의 경우에는 적용될 수 있으나 over voltage disturbance의 경우에는 불가능하다.

B. Zero Current Transferring with Delay

이 제어 방법은 I_a 가 0이 될 때까지 Q_{B1} 과 Q_{B2} 의 동작신호를 지연시키는 것이다. 그림 7은 V_A 가 V_B 보다 클 때 전압교란이 $t=153\text{ms}$ 에서 측정된 경우이다. 그림 6의 '방법1'과 비교해 볼 때, 절체 시간은 약 7ms이지만 전류의 크기가 정격 범위 내에 있다. V_A 가 V_B 보다 작을 때에는 '방법A'가 '방법B'보다 좋은 결과를 보이며, V_A 가 클 때는 '방법2'가 더 좋은 결과를 갖는다.

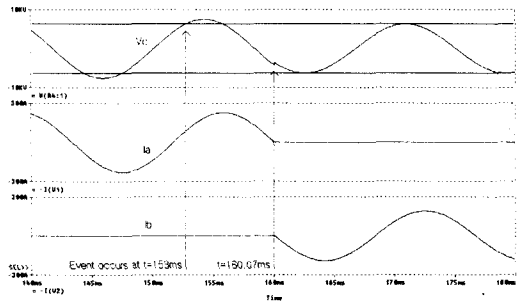


그림 4 $V_A \rightarrow V_B$ 로 절체시 방법 B의 시뮬레이션 파형
: $V_A=7.9\text{kV}$, $V_B=6.6\text{kV}$

C. Forced Commutated Transferring

이 방법은 어떤 지연도 없이 강제로 Q_{A1} , Q_{A2} 를 끄고 Q_{B1} , Q_{B2} 를 켜는 방법이다. 이 경우 IGBT 양단에 나타나는 전압 스파이크를 피할 수 없으며 그 크기는 절체 구간 동안의 부하전류와 V_A , V_B 의 전압 차이에 따라 달라진다. 따라서 이 경우에는 IGBT의 보호를 위한 스너버 회로가 필요하다. 그림 5는 V_A 가 V_B 보다 작을 때 전압교란이 부하전류가 최대인 $t=156\text{ms}$ 에서 측정된 경우이다. 200us 이내에 절체가 완료되는 것을 볼 수 있다. 방법 A, B에 비하여 방법 C가 가장 좋은 과도 상태 응답을 나타낸다.

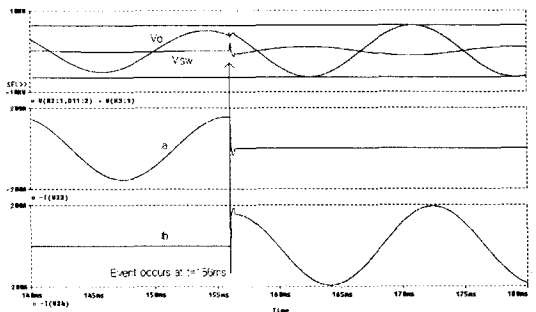


그림 5 $V_A \rightarrow V_B$ 로 절체시 방법 C의 시뮬레이션 파형
: $V_A=5.3\text{kV}$, $V_B=6.6\text{kV}$

2.3 실험 결과

HTS 전체를 제작하기에 앞서 11kV(RMS)/125A 정격의 반도체 스위치를 설계, 제작하였다. 그림 6은 5개의 IGBT를 병렬로 연결한 800V/125A급의 기본 파워 모듈로써 스너버 회로, 드라이브 회로, 드라이브 전원을 포함하고 있다. 그림 7은 기본 파워 모듈을 20개 직렬연결하여 높은 전압 정격을 얻을 수 있도록 하여 완성한 반도체 AC 스위치이다.

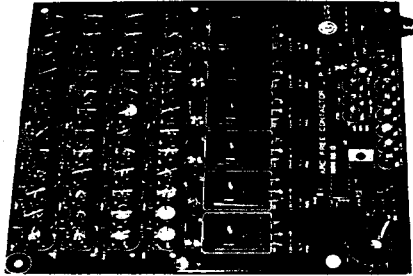


그림 6 IGBT 기본 파워 모듈(800V/125A)

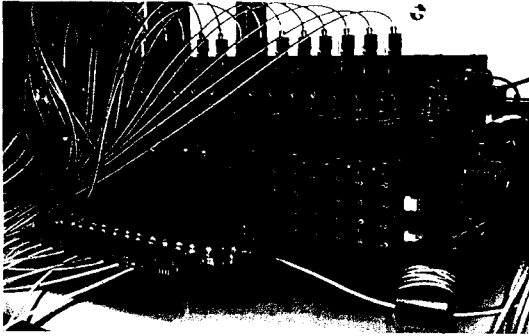


그림 7 조립된 반도체 AC 스위치 (11kV(RMS)/125A)

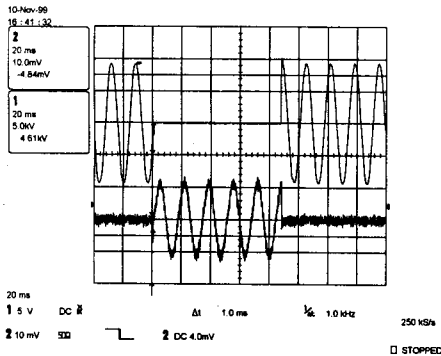


그림 8 반도체 AC 스위치 실험 결과
 CH1: AC switch voltage [5kV/div]
 CH2: Load current[10A/div]

그림 8에 반도체 스위치의 실험 결과를 보였다. 스위치는 60Hz의 몇 주기 동안 켜진다. 반도체 스위치는 11kV(RMS)/125A 정격으로 제작되었지만, 사용할 수 있는 전원의 한계 때문에 6.6kV(RMS)/10A인 경우에 대한 실험 결과를 보였다. 그림 9는 220V(RMS)/240A에 대한 결과이다. 기계적 스위치는 반도체 스위치가 켜진 후에 on/off 동작을 하도록 되어 있으므로 점점에서

아크가 발생하지 않는다.

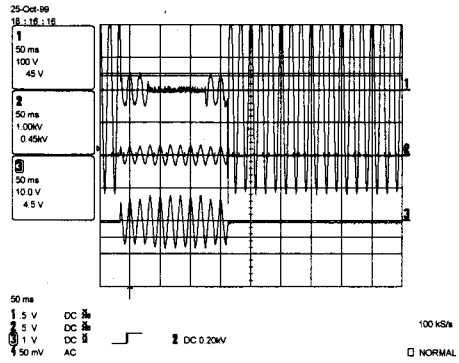


그림 9 hybrid ac switch 실험 결과
 CH1:Hybrid ac switch voltage[100V/div]
 CH2:Load voltage[1000V/div]
 CH3:Load current(240A/div)

3. 결 론

본 논문에서는 hybrid transfer switch가 제안되었다. 기본 동작 원리를 설명한 다음 3가지의 운전방법 제시되고 시뮬레이션을 통하여 비교하였다. 강제 절체 방법이 이상 전압에 대하여 가장 좋은 응답을 나타내는 것을 알 수 있었다. 반도체 ac 스위치의 제작·실험을 완료하여, 제안된 HTS를 효과적으로 구성할 수 있을 것으로 기대할 수 있다.

(참 고 문 헌)

- [1] IEEE Std. 446-187, IEEE Recommended Practice for Emergency and Standby Power Systems for Industrial and Commercial Applications
- [2] T.Hoevenaars, Static Transfer Switch Part I: Application and Installation, Power Quality Assurance, Vol.5, No.4, pp66-69, July/August, 1994
- [3] Cyberex, Static Transfer Switch Part II: Design and Testing, Power Quality Assurance, Vol.5, No.5, pp39-42, September/October, 1994
- [4] J.W.Schwartzberg and R.W.DeDoncker, 15kV Medium-Voltage Static Transfer Switch, IEEE IAS Conference Record, 1995, pp.2515-2520