

Thyristor를 사용한 22kV, 60kA급 펄스전원장치

김진성^o, 이영현, 김성호, 양경승
국방과학연구소
진운식, 김영배, 김종수, 이홍식
한국전기연구원

Pulsed Power Supply of 22kV, 60kA Using Thyristor

Jin Sung Kim, Young Hyun Lee, Sung Ho Kim, Kyung Seoung Yang
Agency for Defense Development
Yun Sik Jin, Young Bae Kim, Jong Soo Kim, Hong Sik Lee
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - 22kV, 60kA급 커패시터 펄스전원장치의 스위치로 신뢰성과 제어성이 우수한 반도체 스위치인 싸이리스터(Thyristor)를 사용하였다. 싸이리스터 규격의 적합성을 검토하였으며 펄스파워발생 환경에서 신뢰성을 높이기 위한 대책을 고려하였다. 실험결과와 모사실험 결과를 비교하였다.

1. 서 론

고전압, 대전류 펄스에너지를 이용하는 펄스파워(Pulsed Power) 기술은 군수 및 민수분야에서 활발하게 응용되고 있다. 군수 응용분야에서는 전기포(Electric Gun), 레이저 및 마이크로웨이브를 이용하는 지향성 에너지 무기체계(Direct Energy Weapon System), 전자폭탄(Electro Magnetic Projectile) 등이 있으며 민수분야에서는 핵융합, 암반발파, 강자장을 이용한 물질의 성형, 신물질 개발, 금속표면처리, 공해물질 처리 등이 있다. 펄스 에너지를 발생하는 펄스전원장치로는 운용성, 경제성, 용량 확장성, 펄스성형의 제어성 및 유지관리 측면에서 장점이 있는 커패시터 뱅크(Capacitor Bank)가 가장 많이 사용되고 있다.[1]

커패시터 펄스전원장치의 설계 및 운용을 고려할 때 제어성, 신뢰성 측면에서 스위치의 선정은 매우 중요하다. 스위치는 운용전압, 전류용량, 전류상승률 등의 전기특성과 신뢰성, 제어성, 운용성 및 경제성이 고려되어 선정되어야 한다. 주로 사용되는 스위치로는 TVS(Triggered Vacuum Switch), Spark Gap Switch, Pseudo-spark Switch, INPIStrom, Thyatron 등의 갭스위치(Gap Switch)와 SCR, RSD와 같은 반도체 스위치가 사용되고 있다. 이들 스위치들은 각각의 장단점이 있기 때문에 필요한 요구사항에 따라 적절하게 선정하여야 한다. 일반적으로 반도체 스위치는 갭스위치에 비해 전기적 특성은 뒤떨어지지만, 수명, 신뢰성에서는 성능이 우수하다.[1][2]

본 연구에서는 개발 중인 최대 22kV, 50-100kA, 펄스폭 1-2msec의 펄스전류를 공급하는 펄스전원장치에 갭스위치와 비교시 집적화, 수명, 신뢰도 측면에서 유리한 싸이리스터(Thyristor)를 사용하기 위한 연구를 수행하였다. 싸이리스터를 펄스전원장치의 스위치로 사용하기 위해서는 싸이리스터의 전기특성이 검토되어야 하고 노이즈에 의한 오동작이 발생하지 않도록 적절한 보호대책이 필요하다.

2. 본 론

2.1 반도체 스위치 종류 및 특징

최대 22kV, 50-100kA, 펄스폭 1-2msec의 펄스전류를 공급하는 펄스전원장치의 요구사항을 고려할 때 사용할 수 있는 펄스파워용 반도체 스위치로는 스위스 ABB 싸이리스터, 미국 SPCO 싸이리스터 및 러시아 RSD 등이 있다.[3][4][5] 이들 반도체 스위치의 주요특징을 표1에 기술하였다. 본 연구에서는 ABB의 싸이리스터 5STP07Z1350을 사용하였다. 5STP07Z1350은 웨이퍼(Wafer) 4장이 그림 1과 같이 원통형 세라믹에 담겨져 있다. 전압내압은 12kV, 침투전류 60kA@tp=500usec, 500A/usec, Action Integral 0.9A²s 등이 주요 전기규격이다. 운용전압 22kV를 고려할 때 2개 이상의 5STP07Z1350을 직렬로 적층하여 운용하여야 한다.

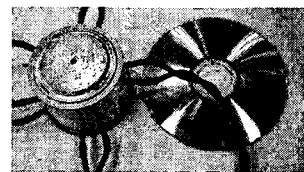
2.2 펄스전원장치 구성

병렬운용을 고려하여 그림 2와 같은 펄스전원장치를 2대를 동일하게 제작하였다. 각각의 펄스전원장치는 22kV, 50kJ, 206uF의 TPT사 커패시터, ABB사 싸이리스터 5STP07Z1350, 다이오드 5SDA27Z1350을 사용하였다. 싸이리스터는 2-3개 직렬 적층할 수 있으며 프리휠링(Free Wheeling)을 위한 다이오드는 3개 적층하였다. 이들 싸이리스터와 다이오드 조립체는 동축구조로 제작되어 안정성과 노이즈 발생을 최소화할 수 있다. 전류를 전달하는 케이블은 노이즈 영향과 전자기력

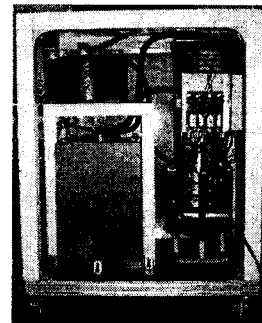
에 의한 척력을 고려하여 유연한 동축케이블을 사용하였다. 침투전류의 제한 및 펄스형상 제어용으로 사용하는 인덕터는 젤리롤(Jelly Roll)형상으로 제작하였으며 30/60/90uH 3종류의 인덕터를 선택할 수 있다. 그리고, 싸이리스터 구동장치는 그림 3과 같이 노이즈 영향을 배제하기 위하여 광케이블을 통하여 접호신호가 전달되며, 접호장치와 구동장치의 전원은 밧데리와 절연변압기를 사용하는 직류전원을 사용함으로써 접지를 통한 노이즈 전달을 차단할 수 있도록 하였다. 접호장치는 금속상자 내에 설치하여 전자파를 차단하였다.

〈표 1〉 펄스파워용 반도체 스위치의 주요 특징

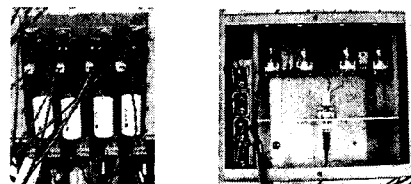
구분	ABB Thy.	SPCO Thy.	러시아 RSD
모델	5STP07Z1350	SPT402	RSD, 76mm
Wafer적경	50mm	125mm	76mm
전압내압	Wafer당 3-4kV	Wafer당 3-4kV	Wafer당 2.5kV
침투전류치	60kA	143kA	270kA
전류상승률	500A/usec	1kA/usec	최대 60kA/usec
수명	제한 없음	제한 없음	제한 없음



〈그림 1〉 스위스 ABB사의 싸이리스터(5STP07Z1350)



〈그림 2〉 커패시터 펄스전원장치(22kV, 50kJ)



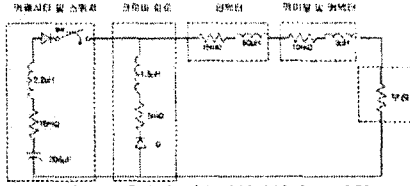
〈그림 3〉 싸이리스터 구동장치 및 접호장치

2.3 펄스전원장치 실험

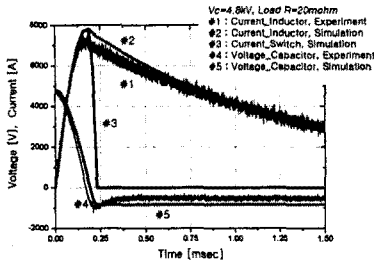
2.3.1 등가회로

그림 2와 같이 제작된 펄스전원장치의 등가회로는 그림 4와 같다. 주요

구성품의 파라미터 값은 실험을 통하여 결정하였다. 그림 5에서는 실험결과와 모사실험 결과를 비교하고 있다. 커패시터 역충전 전압 파형의 차이는 스위치 턴오프(Turn-off)특성 때문이다.



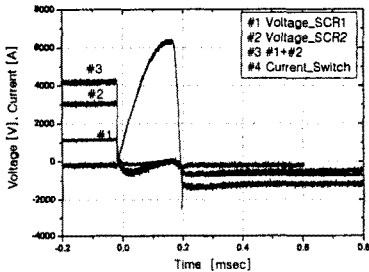
〈그림 4〉 제작된 펄스전원장치의 등가회로



〈그림 5〉 실험결과와 등가회로 모사실험 결과 비교

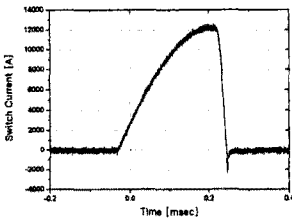
2.3.2 SCR 특성 확인

그림 6은 직렬로 2개 적층된 싸이리스터의 전압분배를 측정된 결과이다. 측정된 결과 각각의 싸이리스터는 66%, 33%의 전압을 분배하고 있어 이를 개선하기 위한 노력이 필요하다. 전압분배용 저항의 선정과 조합에서 주의가 필요하다.



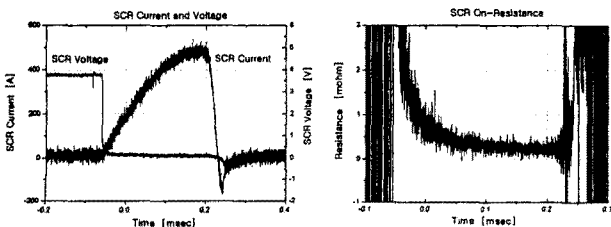
〈그림 6〉 2개 직렬 적층된 싸이리스터의 전압분배

그림 7은 싸이리스터의 턴온(Turn-on), 턴오프(Turn-off)시 특성을 확인한 파형이다. 특히 턴오프시 소스캐리어가 소멸되는 과정에서 전류가 역으로 흐르는 현상을 보여주고 있다. 펄스파워발생에서는 이때의 전류변화율이 싸이리스터의 전류변화를 정격을 만족하도록 보호대책이 마련되어야 한다.



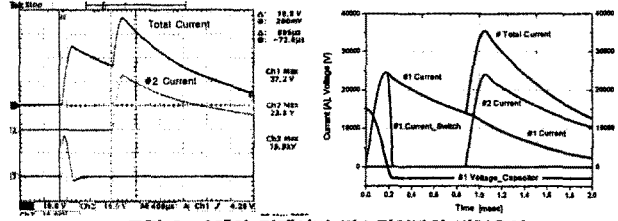
〈그림 7〉 싸이리스터의 턴온, 턴오프 특성

그림 8은 싸이리스터 도통 시 싸이리스터 양단전압, 전류 및 저항계산 결과이다. 도통 시 약 0.5mΩ이하의 저항값을 갖는다. ABB 싸이리스터의 도통 시 전압강하는 약2.2V이다.[3]



〈그림 8〉 싸이리스터 도통 전압, 전류 및 저항

그림 2와 같이 제작된 2대의 커패시터 펄스전원장치를 병렬 운영한 결과를 그림 9에서 보여주고 있다. 모사실험에서는 제촉하기 힘든 항목을 쉽게 분석할 수 있다.

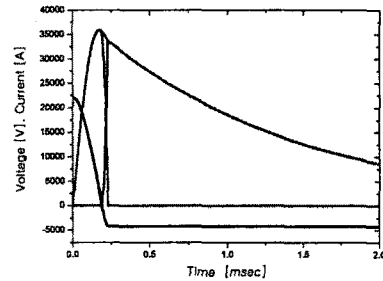


〈그림 9〉 2대의 커패시터 펄스전원장치 병렬운영

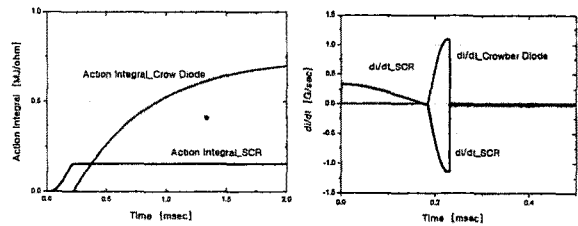
2.3.3 실험결과 분석

모사실험을 통하여 싸이리스터의 규격이 제작된 펄스전원장치에 적합한 한지를 평가하였다. 스위치의 침투전류, 허용 전류변화를 di/dt, Action Integral 등을 검토하였다.

그림 10은 15kV 충전후 20mΩ의 저항부하로 펄스전류를 공급하는 결과를 보여주고 있다. 이때 전류 접두치는 약 35kA로 허용치 60kA 이하로 만족하며 더욱 가혹한 조건에서도 만족할 수 있다. 그리고, 그림 11은 싸이리스터에서의 Action Integral로써 0.9A's 규격을 만족하고 있다. 실험과 모사실험에 사이에서 차이가 있지만 전류변화율 di/dt은 규격치를 초과하고 있는 것으로 분석되어 크로마링이 이루어지는 구간에서의 전류변화율과 턴오프 특성을 제거토하여 모사실험의 타당성을 확인할 필요가 있으며 규격치를 초과한다면 이를 개선하여야 한다. 전류변화율을 낮추기 위해서는 크로마링 과도시간을 증대시켜야 한다.



〈그림 10〉 펄스파형(모사실험, 충전전압 15kV, 부하저항 20mΩ)



〈그림 11〉 싸이리스터의 Action Integral과 전류변화율(모사실험)

3. 결 론

본 연구에서는 60kA, 수msec급 펄스전류를 발생하는 펄스전원장치의 주 스위치로 싸이리스터를 사용하기 위해 수행한 검토 내용을 제시하였다. 싸이리스터를 신뢰성 있게 운용하기 위해서는 노이즈 대책이 매우 중요하다. 그리고 직렬로 적층된 싸이리스터의 균등한 전압분배와 전류변화율 감소방안도 중요한 검토사항이다. 이를 위해서는 모사실험에서 사용하는 턴오프 특성이 고려된 싸이리스터 모델의 개발이 필요하다. 향후 본 결과를 활용하여 보다 펄스전원장치의 안전성을 개선시킬 예정이다.

〔참고 문헌〕

- [1] 성기열, 김진성, 정재원, "300kV 커패시터 뱅크의 개발 및 특성 분석", 국방과학연구소, 기술보고서, GSDC-509-001016, 2000.11.
- [2] 남상훈의, "100kA급, 1-2msec 대전류 펄스용 스위치 연구 : Triggered Vacuum Switch", 기술보고서, GSDC-419-040182, 2004.2.
- [3] ABB 제품설명서, www.abb.com
- [4] SPCO 제품설명서, www.spc.com
- [5] Galakhov I. V. et al., "Switching of High Power Current Pulses up to 250kA and Submillisecond Duration using New Silicon Devices-Reverse Switched Dinistors", 10th IEEE Int. Pulsed Power Conf., pp1103-1108