

**IGBT 직렬구동에 의한 60KV 펄스 전원장치 개발**

류홍제, 김중수, 임근희, D. Sytykh, G.I. Gussev  
한국전기연구원

**Development of 60KV Pulse Power Supply using IGBT Stacks**

H.J Ryoo, J.S Kim, G.H Rim, D. Sytykh, G.I. Gussev  
KERI

**Abstract** - In this paper, a novel new pulse power generator based on IGBT stacks is proposed for pulse power application. Proposed scheme consists of series connected 9 power stages to generate maximum 60kV output pulse and one series resonant power inverter to charge DC capacitor voltage. Each power stages are configured as 8 series connected power cells and each power cell generates up to 850VDC pulse. Finally pulse output voltage is applied using total 72 series connected IGBTs. The synchronization of gating signal is important for series operation of IGBTs. For gating signal synchronization, full bridge inverter and pulse transformer generates on-off signals of IGBT gating and specially designed gate power circuit was used.

**1. 서론**

펄스전원장치에는 소자의 정격 등의 한계로 싸이라트론과 같은 기계적 스위치들이 사용되어 왔다.[1-2] 최근에 수명, 펄스반복율, 소형 경량화 등의 목적으로 반도체 소자에 의한 펄스전원장치 개발에 대한 연구가 진행되고 있다.[3-4]

본 논문에서는 반도체 스위치에 의한 새로운 펄스전원장치의 개발에 대하여 다룬다. 제안하는 전원장치는 고압 충전을 위한 직렬공진형 인버터 방식의 충전기와 수정된 Marx generator형식의 고압발생장치로 구성되며, 60kV 펄스 출력을 위하여 1200V급 IGBT 72개가 직렬구동으로 연결되었다. 커패시터의 충전 및 IGBT의 게이트 구동을 위하여 각각 1차측이 한 턴으로 구성되는 power loop와 control loop가 사용되며, 이로 인해 전체 사이드와 중량을 크게 감소할 수 있다.

제안한 방식의 구조와 설계사항에 대하여 기술하고, 실험을 통한 제시한 펄스전원장치의 성능을 검증한다.

**2. 제안하는 펄스전원장치**

설계 제작된 펄스전원장치의 사양을 정리하면 다음과 같다.

- 펄스출력전압: 0-60kV
- 펄스폭: 2μsec - 20μsec
- 펄스반복 주파수: 20Hz - 2000Hz
- 펄스상승시간: 500nsec 이하

**2.1 펄스전원장치의 구조**

제안한 펄스전원장치의 구조를 그림 1에 나타내었다. 그림에 나타난 것과 같이 power cell은 최대 850V까지 충전되는 커패시터와 IGBT, bypass 다이오드 및 관련 게이트 구동회로로 구성되며, 하나의 Power stage는 총 8개의 power cell로 최대 6.4kV, 200A의 출력을 낼 수 있도록 설계되었다. 이러한 Power stage는 모두 9단이 직렬로 연결되어 최대 60KV의 출력 펄스 전압을 발생시킬 수 있는 구조이다. 각 커패시터의 충전을 위하여 직렬공진형 인버터를 사용하였으며, 충전 전류는 직렬공진형 인버터로부터 그림 1의 power loop로 명명된 변압기의 1차측 단일턴 권선에 공급되며, 2차측 권선으로부터 정류다이오드를 통해 각 셀의 커패시터를 충전하게 된다.

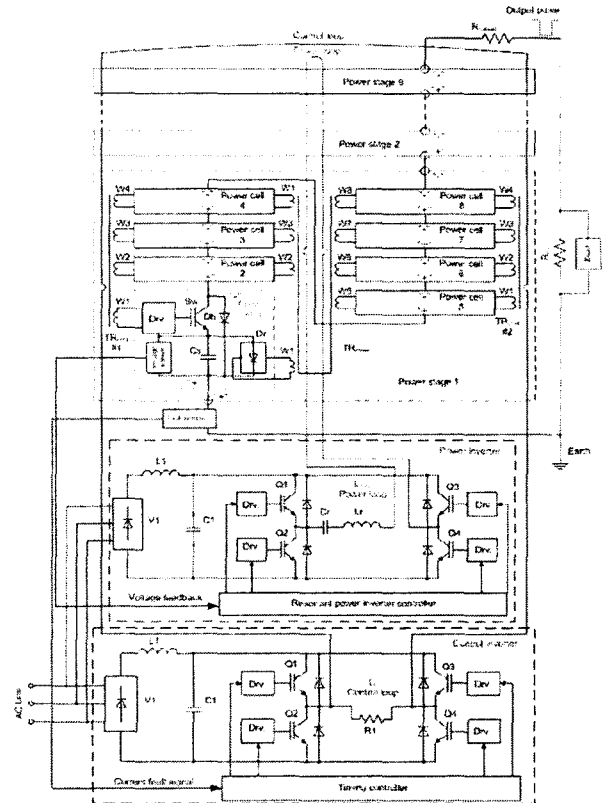
또한 각 IGBT의 게이트신호는 풀브릿지 인버터로부터 공급되는 control loop에 의해 신호와 구동전원을 동시에 전달하는 형태로 간단하면서도 신뢰성 높은 시스템을 구현하였다.

**2.2 직렬공진형 인버터**

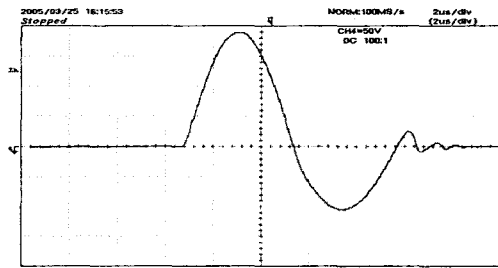
커패시터 충전을 위한 직렬공진형인버터는 그림 1에 나타난 것과 같이 풀브릿지 인버터와 공진커패시터 Cr, 공진인덕터 Lr 및 Power Loop를 계공하는 인덕턴스 루프 Loop로 구성되며, Lloop의 인덕턴스는 약 2.6μH이다.

Power loop는 내권선과 충분한 절연거리를 갖는 고압케이블에 의하여 공급되며, 공진 주파수는 100kHz, 인버터 구동 주파수는 최대 50KHz로 구동되며, 최대출력은 10kW로 설계되었다.

그림 2에 동작시의 충전장치의 실측 전류파형을 나타내었다.



**<그림 1> IGBT스택에 의한 펄스전원장치의 구조**

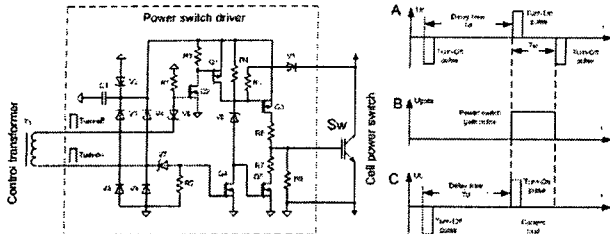


**<그림 2> 직렬공진형 인버터에 의한 충전전류(50A/div)**

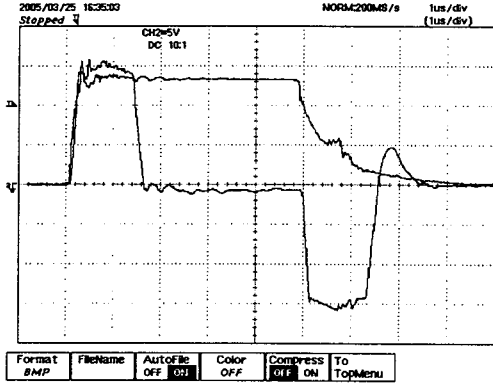
**2.3 게이트 구동회로**

그림 3은 게이트 구동회로와 그 원리를 보여준다. 그림에 나타난 것과 같이 게이트 회로는 양의 극성을 갖는 턴온신호와 음의 극성을 갖는 턴오프신호로 구동되며, 각각의 신호는 인가와 동시에 구동전원을 공급하기 위한 커패시터 C1을 충전한다. IGBT 스위치가 온 된 후에는 턴온신호가 소멸되더라도 계속해서 턴온이 유지되며, 아크발생시에 IGBT 스위치의 콜렉터와 에미터 사이의 전류증가에 따른 전압이 증가됨에 따라 자연스럽게 게이트 회로가 차단되고 스위치가 오픈되어 소자를 보호하도록 설계되었다.

그림 4는 실험파형으로 턴온신호와 턴오프신호에 의한 게이트 신호의 발생을 보여준다.



〈그림 3〉 게이트 구동회로와 구동 원리



〈그림 4〉 게이트 구동신호(실험파형)

### 3. 실험결과

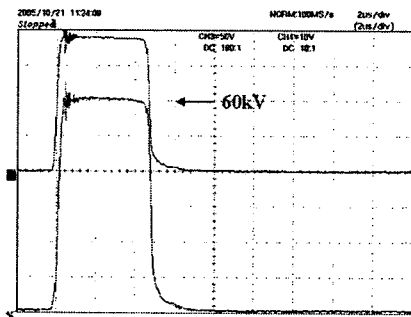
설계 제작된 펄스전원장치는 저항부하를 이용하여 기본적인 성능을 검증한 후 PSI(Plasma Source Ion Implantation)에 적용되어 실험을 통하여 그 성능을 입증하였다.

그림 5는 저항부하에 의한 60KV 인가 실험파형이며 그림에 보이는 것과 같이 고압펄스의 발생을 위해 변압기 등과 같은 회로를 사용하지 않아 작은 인덕턴스를 가지므로 상승시간은 약 300nsec 정도로 매우 빠른 특성을 지님을 알 수 있다.

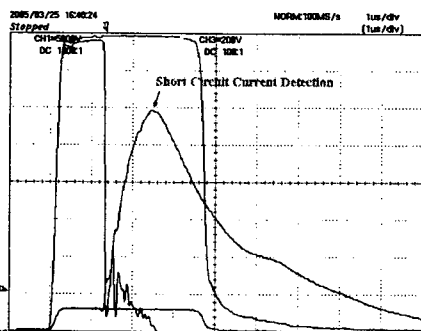
그림 6은 아크 발생시의 보호동작시 출력전압, 출력전류 파형과 일반정상 동작시의 파형을 비교한 것으로 개발된 장치가 아크 발생시의 우수한 보호 동작특성을 지님을 보여준다.

그림 7은 각각 플라즈마 발생조건에서의 실험 파형으로 본 기기가 비선형 특성을 갖는 플라즈마 부하에 효과적으로 사용될 수 있음을 검증하였다.

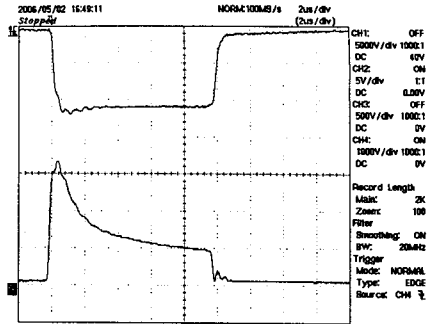
그림 8은 제작된 펄스전원장치의 사진을 보여준다. 제작된 전원장치는 전계의 분포 설계를 최적화 함으로써 절연을 위하여 오일에 함침을 하지 않아도 되며, 이로 인해 경량의 장점 또한 지니게 된다.



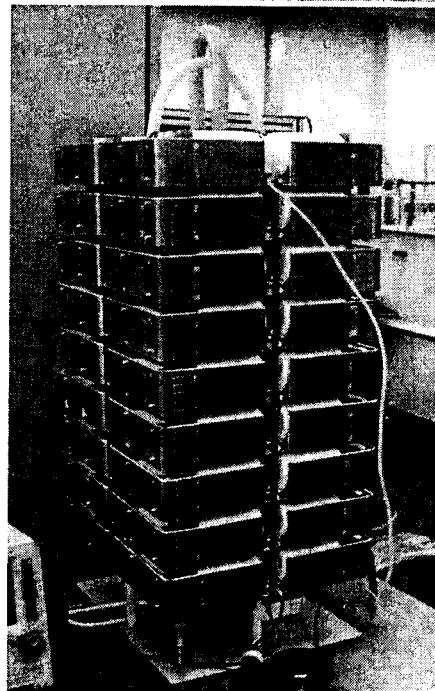
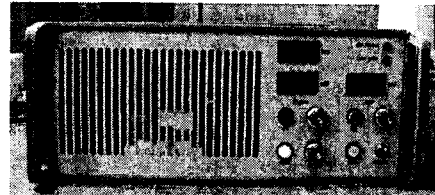
〈그림 5〉 60KV 발생 실험(10KV/div. 50A/div.)



〈그림 6〉 아크 발생시 전압, 전류파형(5KV/div. 200A/div.)



〈그림 7〉 플라즈마 발생조건에서 실험파형( 10kV/div. 100A/div)



〈그림 8〉 제작된 펄스전원장치 사진(위: 고압충전기, 아래: 펄스발생장치)

### 4. 결 론

본 논문에서는 IGBT stack에 의한 펄스전원장치의 설계 및 제작에 대하여 다루었다. 제안된 방식은 9개의 stage로 구성되며, 각 stage는 8개의 power cell로 구성되어 총 72개의 IGBT가 직렬구동되었다. 또한 제안한 토폴로지는 스테이지의 추가에 따라 전압을 더욱 높일 수 있는 구조이다.

제안한 펄스전원장치는 다양한 실험을 통하여 그 동작성능을 검증하였으며, 다양한 요구분야의 펄스 전원장치로 사용될 수 있을 것으로 예상된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] D. Deb, J. Siambis, R. Symons, and G. Genovese, "Beam Switch Tube Modulator Technology For Plasma Ion Implantation Broad Industrial Application", 9th IEEE International Pulse Power Conf., 1993, pp. 333-336.
- [2] D. M. Goebel, R. J. Adler, D. F. Beals, and W. A. Reass, "Handbook of Plasma Immersion Ion Implantation and Deposition", Andre Anders, New York: 2000, pp. 472-477.
- [3] G.H Rim et al., "Semiconductor switch based pulse power generator for Plasma source ion implantation", IEEE International Power Modulator Conference 2004
- [4] G.H Rim et al., "Solid state marx generator using series connected IGBTs", IEEE International Power Modulator Conference 2004