

반도체 스위치기반 펄스전원 기술 개발 및 응용

류홍제[†], 장성록
한국전기연구원 전기추진연구센터

Solid State Pulsed Power Modulator and Its Application

Hong Je Ryoo, Sung Roc Jang
Korea Electrotechnology Research Institute

ABSTRACT

In this paper, the solid state pulsed power modulator developed in KERI, which is based on IGBT technologies are overviewed. During last ten years, several kinds of solid state modulators were developed in KERI such as IGBT stacks with step up transformer, full IGBT stack based marx generator, modified IGBT marx generator and high repetitive solid state modulator.

Basic principle of the design is described and each pros and cons are compared. KERI's solid state pulsed power modulators has lot of advantages for industrial pulsed power application focused on everlasting life cycle and high repetitive, and shows superior arching protection ability.

1. 서론

국방, 의료, 산업전반에 걸쳐 다양한 응용분야를 가지고 있는 고전압 펄스전원장치는 수십kV 이상의 고전압을 짧은 순간에 인가하기 위한 펄스전원장치에는 Spark gap, Thyatron과 같은 기계적 스위치들이 사용되어 왔으나, 이러한 스위치 소자들은 원하는 펄스파형 발생이 불가능하고, 수명이 짧아 주기적인 교체가 필요하며, 펄스의 반복율(반복주파수) 등에 한계가 있다.

이런 이유로 최근 고반복 장수명 응용분야를 중심으로 반도체 스위치 소자를 사용한 장수명, 고반복, 제어의 용이성 등의 장점을 지니는 Solid State Pulsed Power Modulator(이하 SSPPM)에 대한 연구가 증대되고 있으나, 그 정격상의 문제로 다수의 스위치를 직렬 구동함에 따라 안정적인 신뢰성 있는 장치로 운용되기 위한 극한기술이 요구된다. SSPPM의 기본적인 구성은 크게 고전압커패시터에 충전된 전압을 직접 고전압 스위칭하여 펄스로 인가하는 High Voltage Direct Switching(이하 HVDS)방식과, 상대적으로 낮은 전압으로 스위칭하고 펄스 변압기를 사용하여 승압하는 방식[1], 병렬로 충전하여 직렬로 연결 스위칭하는 Solid State Marx Generator(이하 SSMG) 방식 등으로 크게 구분된다.[1, 2]

본 논문에서는 최근에 전기연구원에서 개발된 수정형 막스 방식의 펄스전원장치에 대하여 소개하고 각 특장점 및 주요 응용 실험 결과를 제시한다.[3, 6]

2. KERI's SSPPM

전기연구원에서는 지난 20년동안 다양한 형태의 SSPPM에 관한 연구를 수행하여 왔으며, 최근 수년간 독자적인 수정된 형태의 SSMG방식의 펄스전원장치를 개발하였으며 그 대표적인 구성도는 그림 1과 같다.

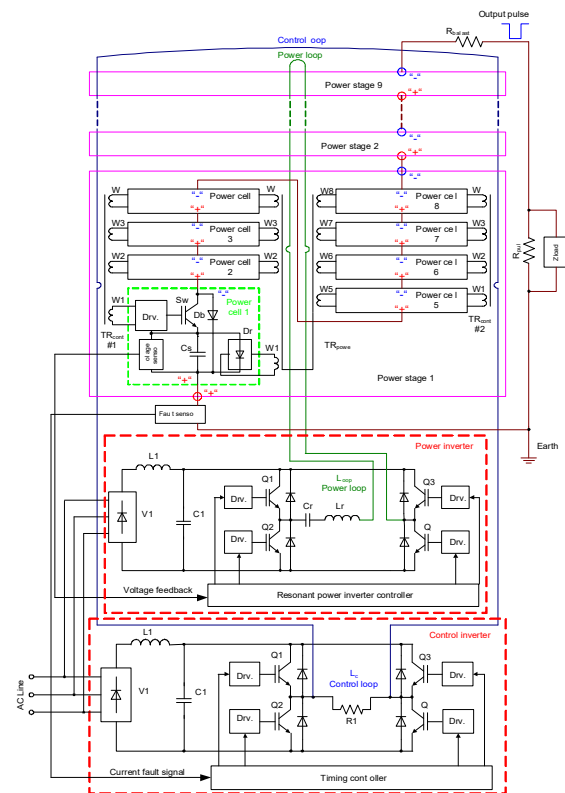


그림 1 전기연구개발 SSPPM의 구성도
Fig. 1 Structure of KERI's SSPPM

전기연구원의 SSPPM은 고전압 케이블을 통해 다수의 셀 커패시터를 병렬 충전하여 이를 반도체스위치 소자로 스위칭하여 직렬 인가하는 형태로 고효율, 고밀도, 고신뢰의 특성을 지니며, 현재까지 용도와 응용분야에 맞게 크게 세 가지 종류의 대표적인 상용화 버전의 SSPPM이 개발되었으며, 각각의 사양은 표 1과 같다.

그림 2, 그림 3, 그림 4는 각각 개발된 60kV, 40kV, 10kV 펄스전원장치를 사용한 다양한 응용실험 결과로 개발된 전원장치는 다양한 환경에서 신뢰성 있는 동작을 보여줌을 확인하였다.

표 1 개발된 SSPPM 사양

Table 1 Specification of the SSPPM developed in KERI

사양	Ver.1	Ver.2	Ver.3
최대출력전압	60kV	40kV	10kV
최대출력전류	300A	150A	50A
펄스폭	2~50 μ s	1~10 μ s	1~10 μ s
펄스상승시간	< 500ns	<100ns	<80ns
최대펄스반복율	3kHz	7kHz	50kHz
평균출력	15kW	15kW	10kW
피크출력	18MW	6MW	0.5MW
최대효율	> 90%	>90%	>90%
부피	354 liter	90 liter	26 liter
응용분야	PSII, Klystron 등	LINAC, 수처리, 가스처리 등	코팅, 스퍼터링, PSII 등
개발품사진			

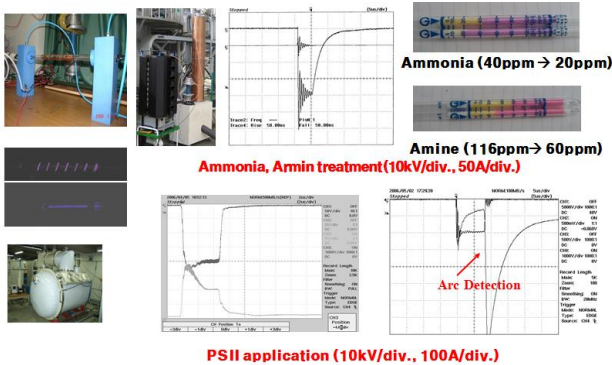


그림 2 60kV SSPPM 응용 실험 결과
Fig. 2 Experiments using 60kV SSSPM

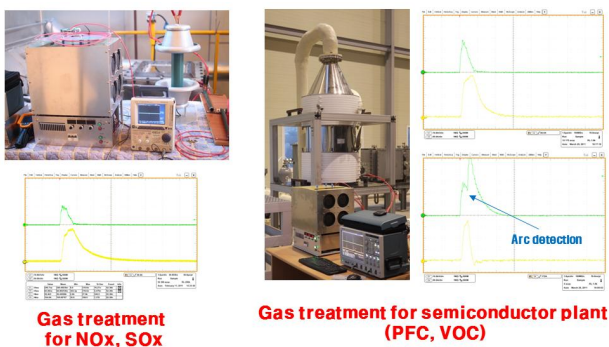


그림 3 40kV SSPPM 응용 실험 결과
Fig. 3 Experiments using 40kV SSSPM

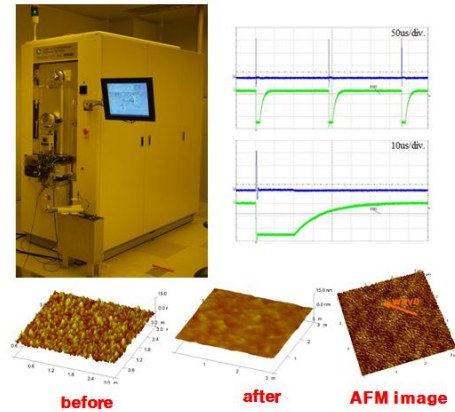


그림 4 10kV SSPPM 응용 실험 결과
Fig. 4 Experiments using 10kV SSSPM

3. 결론

본 논문에서는 최근 한국전기연구원에서 개발된 전력용반도체 소자를 이용한 반도체 스위칭 기반 펄스전원장치에 대하여 소개하고 주요 연구 결과를 살펴보았다.

전기연구원에서 설계 제작된 반도체 스위치 기반 펄스전원장치는 고효율, 고신뢰 기반의 펄스전원장치로 제작되어 높은 반복율, 제어의 용이성, 고전력밀도 및 특히 아크 발생시의 보호성능이 우수한 보호성능을 가짐을 확인하였다.

제작된 전원장치의 동작원리 및 실험결과, 그리고 제작된 펄스전원장치를 사용한 응용실험 결과를 통해 신뢰성 있는 펄스전원으로 다양한 응용분야에 효과적으로 적용 가능함을 입증하였다.

참고 문헌

- [1] G. H. Rim et al., "Semiconductor switch based pulsed power generator for plasma source ion implantation," IEEE International Power Modulator Conference, 2004
- [2] G.H. Rim et al, "High Voltage Marx Generator Implementation Using IGBT Stacks", IEEE, Trans. On Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 14, No.4, pp931 935, Aug. 2007
- [3] Ryoo, Hong Je et al., Design of High Efficiency 40kV, 150A, 3kHz Solid State Pulsed Power Modulator (2012) IEEE Trans. on Plasma Science, 40 (10), pp.2569 2577.
- [4] Ryoo, Hong Je et al., Comparative Study of MOSFET and IGBT for High Repetitive Pulsed Power Modulators (2012) IEEE Trans. on Plasma Science, 40 (10), pp.2561 2568.
- [5] Ryoo, Hong Je et al., Compact and High Repetitive Pulsed Power Modulator Based on Semiconductor Switches (2011) IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 18 (4), pp.612 619.
- [6] Ryoo, Hong Je et al., Development of 60kV, 300A, 3kHz Pulsed Power Modulator for Wide Applications (2009) Acta physica polonica, 115 (6), pp.967 970
- [7] H. J. Ryoo, et al, "Pulsed Power System for Leachate Treatment Applications", Journal of Power Electronics, Vol. 11, No. 4, July 2011