

# 장펄스 폭을 가지는 반도체 스위치 기반 펄스 전원 장치 개발

유찬훈, 장성록, 김형석, 류홍제  
한국전기연구원 전기추진연구센터

## SOLID STATE PULSED POWER MODULATOR WITH LONG PULSE WIDTH

Chan Hun Yu, Sung Roc Jang, Hyoung Suk Kim, Hong Je Ryoo  
Korea Electrotechnology Research Institute

### ABSTRACT

본 논문은 장펄스 폭을 가지는 펄스 전원 장치에 대해서 기술한다. 펄스 전원 장치는 크게 충전부와 펄스부로 나누어 진다. 충전부의 경우 고효율, 고신뢰성을 위한 공진형 컨버터와 높은 전압이득을 위한 배전압 정류 회로로 구성 되어 있으며, 펄스부의 경우 펄스의 제어가 용이하고 고밀도 구현이 가능한 수정형 막스 방식의 제네레이터를 채택하고 있다. 또한 개발된 펄스 전원 장치는 직렬 스테킹 되어 있는 반도체 스위치의 효과적인 동기화 및 안정적인 구동과 장펄스를 만들어 내기 적합한 게이트 구동회로를 사용하고 있다. 다양한 실험 결과를 통하여 장펄스 전원장치 설계의 타당성과 우수성을 검증한다.

### 1. 서 론

전자 가속기, 레이더등의 산업 분야에서는 비교적 장펄스(수백 $\mu$ s)의 펄스 전원 장치를 필요로 하고 있다. 스파크 갭, 싸이타론과 같은 기계적 스위치를 이용한 펄스 전원 장치의 경우에는 스위치의 수명이 짧고, 펄스 전압의 상승시간이 크게 지연된다는 단점을 가지고 있으며, 특히 원하는 펄스폭을 조절할 수 없기 때문에 이러한 장펄스 폭을 가지는 펄스 전원 장치로는 적합하지 않다.

이런 이유로 최근에는 반도체 스위치 소자를 이용한 장수명, 빠른 전압 상승 시간, 펄스 제어의 용이성의 장점을 가지는 펄스 전원 장치가 활발히 연구 되고 있다. 가장 간단한 구조인 개별 반도체 소자를 이용하여 고전압 펄스를 직접 적으로 인가하는 경우에는 반도체의 정격 문제로 인해 고압 대용량 분야에는 적용이 불가능하다. 따라서 높은 출력을 위해서는 출력 커패시터를 병렬 충전하여 다수의 스위치를 직렬 운용하는 막스 제네레이터 방식을 사용 하게 된다. 하지만 이러한 막스 제네레이터에서는 다수의 스위치를 직렬 구동함에 따라 스위치들의 게이트 신호 동기화 및 절연 전원 공급, 펄스폭을 제어 하기 위한 기술들이 요구된다.<sup>[1] [3]</sup>

본 논문에서는 전기 연구원에서 개발된 수정형 막스 제네레이터 기반의 펄스 전원 장치의 특징에 대해서 기술하고, 스위치들의 직렬 구동 및 장펄스 폭을 만들어 내기 위한 게이트 구동회로에 대해서 소개한다.

### 2. 펄스전원장치의 구성 및 주요 특징

#### 2.1 펄스 전원 장치의 구조

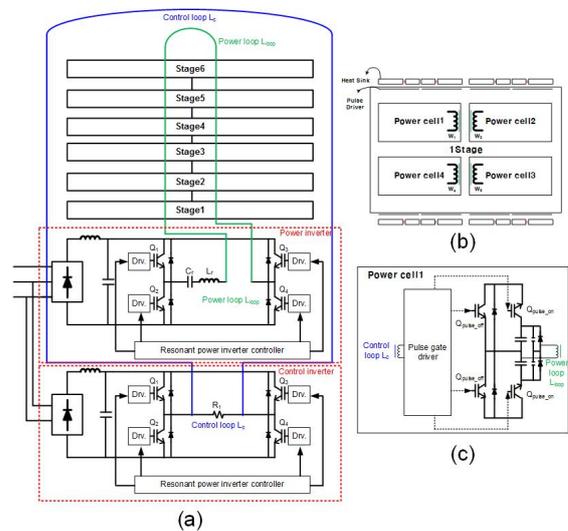


그림 1 개발된 펄스 전원 장치 (a)펄스 전원 장치의 구성도 (b)각 스테이지의 구성 (c) 각 파워셀의 구성  
Fig. 1 Developed pulse power modulator (a)Structure of pulse power modulator (b) Structure of each stage (c)Structure of each power cell

그림 1(a)는 개발된 펄스 전원 장치의 전체 구조를 나타낸다. 고전압 공급을 위한 충전부와 펄스인가를 위한 펄스부로 전체 시스템이 구성 되어 있으며, 펄스부는 총 6개의 스테이지가 직렬 연결된 형태로 구성된다. 각 스테이지는 그림 1(b)와 같이 4개의 파워셀로 이루어져 있으며, 각 파워셀의 구조는 그림 1(c)와 같다.

직렬 공진형 컨버터의 주파수 제어를 통하여 각각의 셀의 충전 전압을 설정하게 되며, 각 스테이지 변압기의 4개의 독립된 권선  $W_1 \dots W_4$ 이 배전압 정류기에 연결되어 커패시터를 충전하게 된다.

각 파워셀은 그림 1(c)와 같이 배전압 정류 회로, 펄스를 인가하기 위한 주 IGBT 2개, 부하에 인가된 펄스 전압을 방전시키고 직렬 스위치의 오동작시 전류 우회경로를 만들어 주는 보조 IGBT 2개로 구성되어 있다. 배전압 정류 회로의 경우, 정류 다이오드에 병렬로 커패시터를 연결 하여, 전압 불균형 문제를 해결 하였으며, 연결된 커패시터를 공진 커패시터로 활용하여 사용되는 소자의 수를 최소화 하였다.

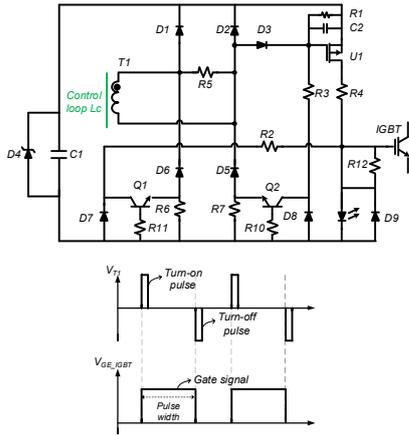


그림 2 펄스부 게이트 구동회로의 회로도 및 간단한 동작 파형  
 Fig 2 Circuit diagram of pulse driving circuit and simple waveforms

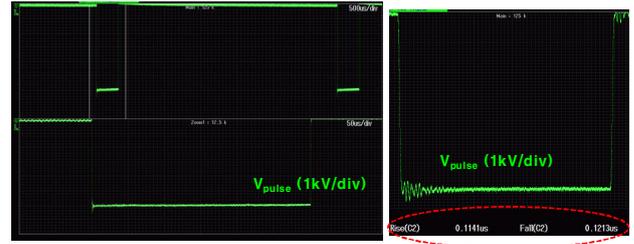


그림 5 6kV, 300us 펄스 파형  
 Fig 5 6kV, 300us pulse waveform

### 3. 실험 결과

그림 3은 실제 개발된 펄스 전원 장치의 모습을 나타내고 있다. 아래에 직렬 공진형 컨버터를 이용한 충전부가 위치하고 위쪽으로 펄스부의 스테이지가 연결된 구조이다. 전면에 부착된 패널을 통하여 충전전압, 펄스폭, 펄스 반복율의 확인 및 조절이 가능하다.

그림 4는 펄스 구동회로의 온/오프 신호에 따른 주스위치와 보조스위치의 게이트 신호를 나타낸 파형이다. 온 신호 이후에 주스위치의 게이트 신호가 켜지게 되고 오프 신호이전까지 게이트 신호를 온 상태로 유지하게 되며, 오프 신호와 함께 게이트 신호가 꺼지게 된다.

그림 5 펄스를 발생 시킨 파형이다. 실험에서 발생 시킨 펄스는 6kV, 300us의 전압과 펄스 폭을 가지고 있다. 반도체 소자를 기반으로 제작되어 빠른 전압상승 및 하강 시간을 가지고 있으며, 개발된 펄스 구동회로가 적용되어 안정적이고 신뢰성 있는 펄스의 발생이 가능하다.

### 4. 결론

본 논문에서는 반도체 스위치 소자를 이용한 300us 정도의 장펄스 폭을 가지는 펄스 전원 장치의 개발에 대한 내용을 기술 하였다. 개발된 펄스 전원 장치의 충전부는 공진형 컨버터를 사용하고 있으며, 제안된 펄스 구동회로를 사용하여 장펄스를 만들어 내고 직렬 스테킹 되어있는 다수의 스위치를 효율적이고 안정적으로 구동 할수 있다.

### 참 고 문 헌

- [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.

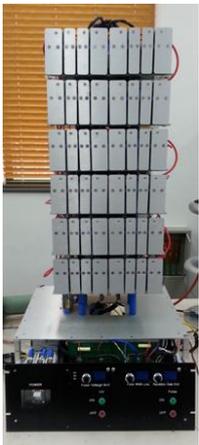


그림 3 개발된 펄스 전원 장치  
 Fig 3 Developed pulse power driving circuit modulator

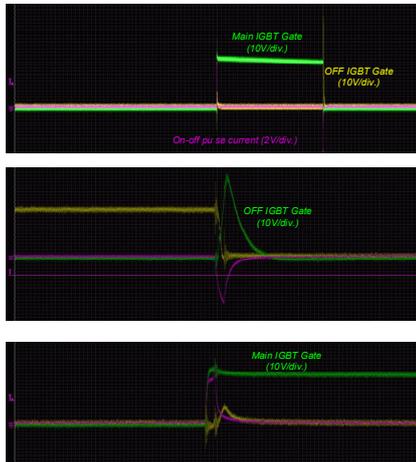


그림 4 펄스 구동회로의 펄스 신호 및 IGBT 게이트 파형  
 Fig 4 Experimal waveforms of pulse signal and IGBT gate waveform

#### 2.2 펄스부 게이트 구동 회로

개발된 게이트 구동회로는 절연된 게이트 구동전원과 출력 펄스를 제어할 수 있는 온/오프 신호를 다수의 스위치에 동시에 공급할 수 있으며, 펄스폭을 쉽게 조절 할수 있어 장펄스 구동에 용이하게 개발 되었다.

그림 2는 게이트 구동회로의 회로도 및 간단한 동작 파형을 보여 주고 있다. 게이트 신호 변압기(T1)의 일차 측으로부터 입력된 양의 턴 온 신호와 음의 턴 오프 신호에 의해 모든 IGBT들이 제어되며, 동시에 이 신호는 게이트 구동회로의 절연된 구동전원을 인가하기 위한 커패시터(C1)을 충전하게 된다. 커패시터에 충전된 에너지가 IGBT의 게이트를 온 상태로 유지 할수 있기 때문에 개발된 게이트 구동회로는 장펄스 구동에 용이 하다. 음의 턴 오프 신호가 T1에 인가되면서 주 IGBT가 오프되고, 보조 IGBT가 켜지게 된다. 이로 인해 출력단에 인가된 펄스가 빠르게 방전 할수 있게 된다.