

40kV, 300us, 200Hz 반도체 스위치 기반 펄스 전원 장치 개발

유찬훈¹, 장성록¹, 김형석¹, Appiah Gideon Nimo², 류홍제³
 한국전기연구원¹, 과학연합기술대학원², 중앙대학교³

Development of a 40kV, 300us, 200Hz Solid-State Pulsed Power Modulator

Chan Hun Yu¹, Sung Roc Jang¹, Hyoung Suk Kim¹, Gideon Nimo Appiah², Hong Je Ryoo³
 Korea Electrotechnology Research Institute¹, University of Science & Technology², Chung Ang University³

ABSTRACT

본 논문은 고효율 반도체 기반 펄스 전원 장치 개발에 대해 기술한다. 개발된 펄스 전원장치는 출력 전압 1-40kV, 펄스 반복율 1-200Hz, 펄스폭 1-300us, 정격 출력 50kW의 사양을 가지고 있다. 제안하는 펄스 전원 장치는 크게 출력 커패시터를 충전하여 고전압을 만드는 충전기 부분과 48개의 IGBT가 직렬로 연결되어 펄스를 만들어 내는 펄스 제네레이터 부분으로 나누어져 있다. 펄스 제네레이터는 파워셀 기반으로 구성되어, IGBT간의 전압 밸런싱 및 IGBT의 동기구동 실패시에 신뢰성 있는 동작을 할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 또한, 제안된 펄스 전원 장치는 새로운 게이트 구동회로를 사용하여 기존에 사용하던 풀다운 저항을 제거하고, 빠른 펄스 하강 시간을 달성 하였다. 개발된 펄스 전원장치로 실험을 수행한 결과, 커패시터 충전기는 최대 충전효율 95% 및 역률 96%를 나타냈으며, 펄스 제네레이터는 게이트 구동회로가 안정적으로 동작하며 최대 40kV, 300us의 펄스를 2kΩ 부하에 인가 가능함을 확인하였다.

1. 서론

전자 가속기, TWT 레이더, 가스 및 오페수 처리 시스템과 같은 산업 응용분야에서의 전원 장치들은 펄스 형태의 높은 전압을 만들어 부하에 인가해 주어야 한다. 펄스 형태의 전압을 만들어 주기 위한 펄스 전원 장치는 크게 기계식 스위치를 이용하는 방식과 반도체 스위치를 이용하는 방식으로 나눌수 있다. 이 중, 반도체 스위치를 이용하는 방식의 경우 펄스의 폭 및 반복율의 제어가 용이하고, 기계식 스위치에 비해 긴 수명을 가질 뿐만 아니라 빠른 스위칭 특성을 가지고 있어 최근에는 반도체 스위치 소자를 이용한 펄스 전원 장치가 활발 하게 연구 되고 있다.^{[1]-[2]}

반도체 스위치를 이용한 펄스 전원 장치의 경우에는 하나의 반도체 소자가 가지는 전압 정격으로 인하여 고전압 펄스를 만들어 내기 위해서는 스위치들의 직렬 연결 구조가 불가피 하게 된다. 다수의 스위치들을 직렬 구동함에 따라 스위치들의 게이트 신호 동기화 및 절연 전원 공급, 펄스폭 및 반복율을 제어 하기 위한 기술들이 요구된다.

본 논문에서는 전기연구원에서 개발된 반도체를 사용한 파워셀 기반의 펄스 전원 장치의 특징에 대해서 기술하고, 스위

치들의 직렬 구동 및 펄스폭 제어, 빠른 전압 하강 시간을 달성 하기 위한 게이트 구동회로에 대해서 소개한다.^[1]

2. 개발된 펄스전원장치

2.1 펄스 전원 장치의 구조

개발된 반도체 기반 펄스 전원 장치의 전체 구조를 그림 1에 나타내었다. 펄스 전원 장치는 크게 고효율 LCC 공진형 커패시터 충전기와 6개의 파워 스테이지로 구성 되어 있다. 각 스테이지는 8개의 파워셀이 직렬로 연결된 구조로 되어 있으며, 각 셀의 전압은 메인 파워 변압기 루프를 통하여 병렬로 800V 까지 충전된다. 각 파워셀은 부하로 전압을 인가하기 위한 주 스위치와 부하에 인가된 전압을 빠르게 방전 하기 위한 보조 스위치가 있다. 스테징 된 반도체 스위치의 동기화 구동으로 충전된 48개의 파워셀 전압이 부하이 인가되며, 최종적으로 40kV의 고전압 펄스 전압이 부하로 인가 되게 된다. 개발된 펄스 전원 장치는 각 스테이지의 전압 불균형을 자동적으로 보상 하기 위해서 삼차 권선이 각 스테이지의 파워 변압기에 권취 되어 있으며, 고전압 펄스 운용 도중 아크 발생시 반도체 소자를 보호 하기 위한 회로가 적용 되었다. 개발된 펄스 전원 장치의 사양은 다음의 표 1에 나타 내었다.

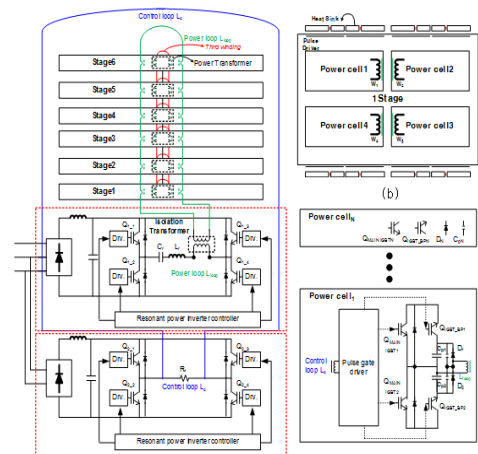


그림 2 펄스 전원 장치의 전체 구조 (a) 고전압 펄스 전원 장치의 개념도 (b) 첫 번째 스테이지의 구조 (c) 각 파워셀의 구조

표 1 개발된 50kW 펄스 전원 장치의 사양

입력전압	380 Vac \pm 10 %
최대 출력 전압	0-40 kV
최대 출력 전류	0-20 A
최대 펄스 폭	300 us
최대 펄스 반복율	200 Hz
최대 효율	> 90%
최대 역률	> 90%
보호 기능	아크(과전류) 과온

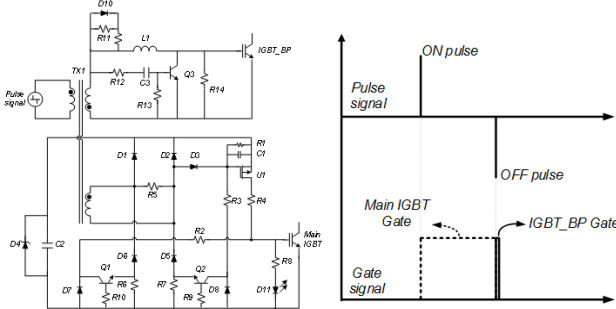


그림 3 반도체 소자 게이트 구동회로의 회로도 및 동작 파형

2.2 반도체 소자 직렬 구동용 게이트 구동회로

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 펄스 구동에 용이하게 개발 되었다.

그림 2는 게이트 구동회로의 회로도 및 동작 파형을 보여 주고 있다. 게이트 신호 변압기(TX₁)의 일차 측으로부터 입력된 양의 턴-온 신호와 음의 턴-오프 신호에 의해 모든 IGBT들이 제어되며, 동신에 이 신호는 게이트 구동회로의 절연된 구동전원을 인가하기 위한 커패시터(C₂)을 충전하게 된다. 커패시터에 충전된 에너지가 IGBT의 게이트를 온-상태로 유지 할 수 있기 때문에 개발된 게이트 구동회로는 펄스폭 제어에 용이하다. 음의 턴-오프 신호가 TX₁에 인가되면서 주 IGBT가 오프되고, 보조 IGBT가 켜지게 된다. 이로 인해 출력단에 인가된 펄스가 빠르게 방전 할수 있게 된다.

3. 실험 결과

개발된 펄스 전원 장치에 2k Ω 의 저항 부하를 연결하여 40kV, 20A 펄스를 출력 하는 실험을 진행 하였다. 부하에 펄스 전압을 인가하기 위해 48개의 IGBT가 스택킹 되었으며, FGL40N120AND(1200V/40A) 모델을 사용하였다. 스위치들을 구동하기 위한 게이트 구동회로가 각 스위치마다 연결 되었다. 그림 3은 출력 커패시터를 충전하기 위한 충전기의 효율 및 역률 그래프 이며, 최고 역률96%, 효율 95.7%를 달성 하였다. 그림 4는 반도체 소자를 이용한 파워셀 기반의 펄스 전원 장치를 이용하여 40kV, 300us, 20A의 펄스를 발생 시킨 파형이며, 개발된 펄스 전원 장치가 안정적으로 펄스를 발생 시키고 있음을 확인 할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 반도체 스위치 소자를 이용하여 40kV,

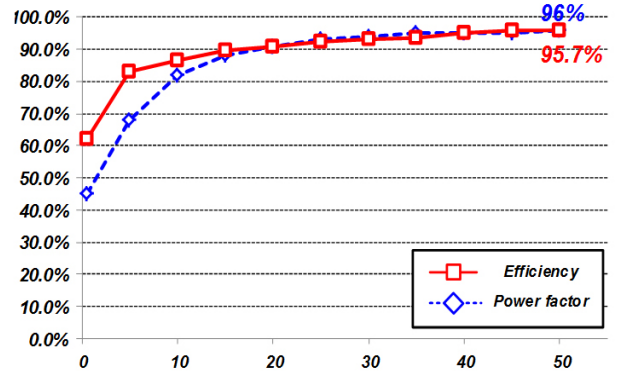


그림 4 효율 및 역률 측정 그래프

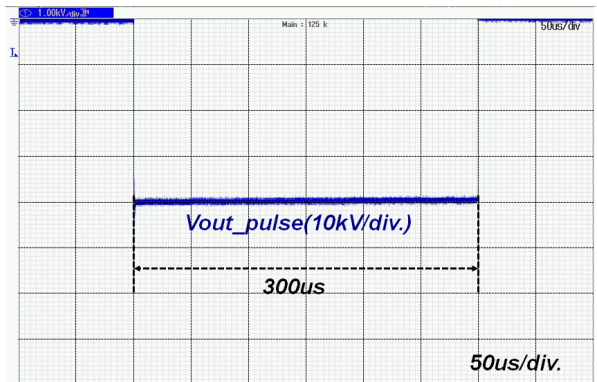


그림 5 펄스 전압 파형 (40kV, 300us)

300us의 펄스를 발생 시키기 위한 파워셀 기반의 펄스 전원 장치에 대해서 기술 하였다. 개발된 펄스 전원 장치는 고효율 LCC 공진형 컨버터를 이용하여 각 파워셀의 전압을 병렬 충전 하게 되며 스택킹 된 반도체 소자를 동기화 구동하여 부하에 펄스 전압을 인가 하게 된다. 또한 이를 안정적으로 구동하기 위한 게이트 구동회로를 개발하고 실험으로 검증 하였다.

이 연구는 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 국가과학기술연구회의 지원을 받아 수행된 한국전기연구원 주요사업임(No. 16-12-N0101-38)

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] 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.