

**20kV급 Capacitor Charging Power System 개발**

정 인화, 임 근희, 최 영욱, 이 흥식, 김 중수, 류 홍제, G.I. Gusev  
한국전기연구원

**Development of 20kV Pulse Power Charging System**

I.W. Jeong, G.H. Rim, Y.W. Choi, H.S. Lee, J.S. Kim, H.J. Ryoo, G.I. Gusev  
KERI

**Abstract** - This paper describes a power supply for a rapid pulse power charging system designed for charging a 0.35 $\mu$ F capacitor to 20kV in approximately 3ms. The power supply should be capable of recharging the load capacitor maximum 300 times within one second. This power supply is based on a series resonant 3-phase inverter followed by the step-up transformers. The experiments have been carried out at different repetition rates and charging voltages.

**1. 서 론**

플라즈마를 이용한 환경설비 등에 도입되고 있는 펄스파워 시스템에 있어 전기에너지를 저장하는 장치로는 주로 캐패시터를 사용한다. 이때, 캐패시터를 충전시키기 위한 고전압 전원장치는 안정성 있고 소형화되어야 하며 더불어 높은 반복율로 재충전 가능해야 한다. 이와같은 관점에서 개발된 본 전원장치는 0.35 $\mu$ F 캐패시터를 3ms 이내에 20kV 전압까지 충전할 수 있도록 설계되었고 3상 고주파 인버터와 고전압 변압기를 활용하여 1초에 300회까지 부하 캐패시터를 재충전할 수 있도록 구현되었다.

**2. 고압 캐패시터 펄스충전용 전원장치**

**2.1 전체 구성**

개발된 전원장치는 그림 1과 같이 입력정류부, 인버터부, 고압출력부, 제어부 등으로 구성되어 있다. 인버터부는 직렬공진형 방식을 이용하여 고압 고주파 변압기의 1차측을 구동하는 교류전원을 공급하고 이는 고압정류기를 통해 고압 직류전원으로 변환된다. 이 전원장치는 정전류로 부하 캐패시터를 충전하도록 설계되었으며 패널 뒤쪽에 설치된 팬에 의해 강제냉각 되어진다. 또한

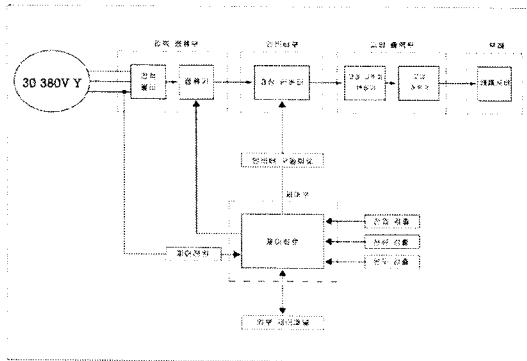


그림 1. 개발된 전원장치 구성도

높은 반복율로 안정되게 고압펄스 충전이 이루어지도록 다양한 보호기능 및 고압스위치의 트리거 제어기능을 갖고 있다.

**2.2 고주파 공진형 인버터**

그림 2는 개발된 고주파 공진형 인버터방식의 펄스충전 전원장치를 보여준다. 정격출력 20kW를 안정적으로 공급하기 위해 3상 교류전원과 인버터를 채용하였고 이 인버터의 직류전원은 입력필터와 정류기를 통해 공급하였으며 스위칭 소자로는 고압 대전류용 IGBT를 사용하여 전체 인버터를 구성하였다. 또한 인버터 구동에서는 턴오프시 영전압 스위칭을 이용하여 스위칭 주파수를 20kHz까지 높일 수 있었으며 이를 통해 인버터 출력을 고전압으로 승압시키는 고압변압기를 소형, 경량화 할 수 있었다. 이 전원장치에서는 장치의 효율을 증가시키고 부하 캐패시터에 충분한 전류를 공급하기 위해 고압 고주파 변압기의 누설 인덕턴스 성분을 이용하여 이것에 직렬로 공진 캐패시터를 접속시켜 직렬 공진회로를 구성하였다.

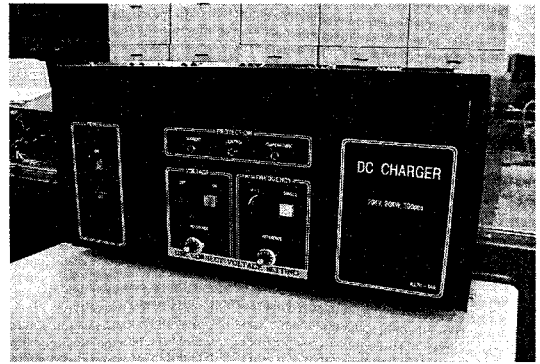


그림 2. 제작된 펄스충전 전원장치

**2.3 고압 출력회로**

3상 인버터에 연결된 고압 고주파 변압기는 20kV의 고전압 출력을 얻기위해 인버터 출력을 승압시킨다. 본 전원장치에서는 고압변압기의 2차측 권선수를 줄이고 궁극적으로 전기적 절연을 용이하게 할 수 있도록 3개의 고압변압기를 사용하여 각각의 출력이 합해져서 부하 캐패시터에 전달되도록 설계하였다. 실제로 제작된 고압 고주파 변압기는 인덕터 및 변압기 철심으로 응용되는 페라이트를 사용하여 와전류를 줄임으로써 철손을 감소시킬 수 있었다. 이렇게 얻어진 고전압 출력은 고압 다이오드로 이루어진 고압정류기를 거쳐 최종적으로 부하 캐패시터에 출력된다.

## 2.4 제어 회로

20kV 펄스충전 방식의 급속 충전을 고도로 안정되게 하기 위해서는 제어회로 및 인버터 구동회로에 세심한 주의가 필요하다. 고전압 출력과 같은 전기적 상태값과 온도특성 등을 계속해서 감시하여 문제가 발생하였을 경우, 고속차단과 보호기능이 정확히 작동하도록 최우선적으로 설계하여야 한다. 또한 부하 캐패시터 방전 후에 약 100~200 $\mu$ s 동안 전원장치의 출력을 제한하는 기능들도 포함시킬 필요가 있다. 인버터 구동방식에 있어서는 일반적인 3상브리지 인버터와 같이 한 주기에 6개의 동작모드가 존재하며 각 모드의 지속기간은 60도이다. 게이트 신호는 3상 평형전압을 얻기 위해서로 60도씩 이동된다.

## 3. 실험 결과

그림 3은 0.35 $\mu$ F 부하 캐패시터를 8kV까지 충전할 때의 캐패시터 충전전압과 고압 고주파 변압기 2차측에 흐르는 전류파형을 보여주어주고 있다. 이 경우 인버터의 스위칭 주파수는 18kHz임을 알 수 있다.

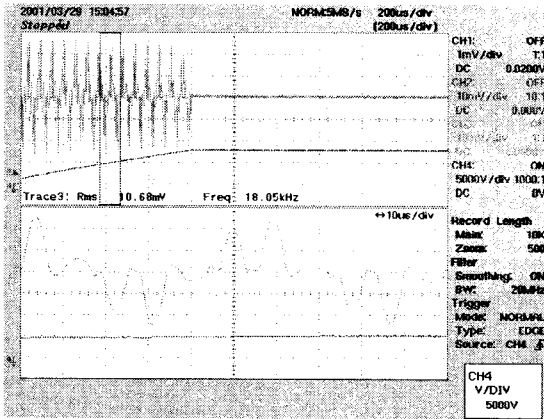


그림 3. 8kV 충전시 출력전압과 고압변압기 2차전류 파형

그림 4는 부하 캐패시터를 8kV까지 충전할 때의 캐패시터 충전전압과 충전전류 파형을 나타낸다.

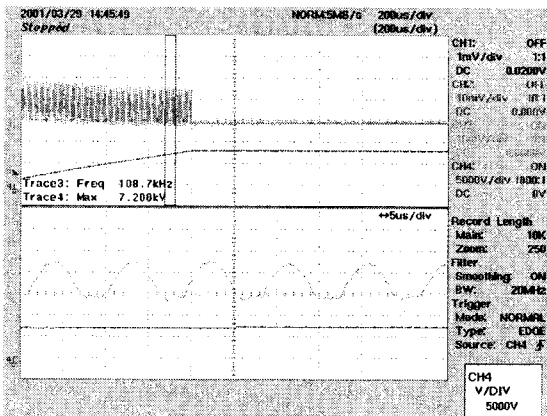


그림 4. 8kV 충전시 출력전압, 전류 파형

그림 5는 부하 캐패시터를 20kV 7pps로 펄스충전할 때의 캐패시터 충전전압과 충전전류 파형이다. 이때 부하 캐패시터 방전은 전원장치로부터 트리거 신호를 전달받고 이 신호를 이용하여 스파크갭 스위치를 통해 이루어졌다.

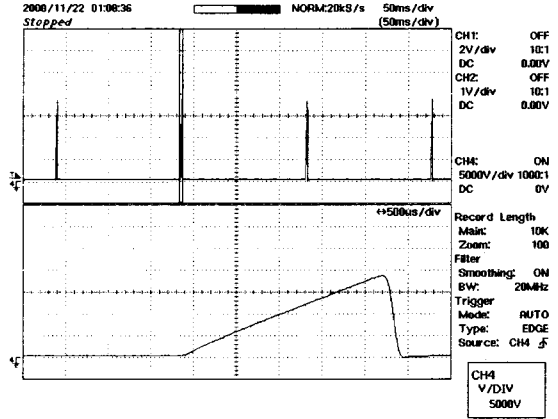


그림 5. 20kV 7pps 펄스충전시 출력전압, 전류 파형

## 4. 결론

본 논문에서는 국내외적으로 많은 관심을 끌고 있는 펄스파워용 캐패시터 충전장치에 대한 구성도와 20kV 20kW급 장치개발을 통해 얻어진 실험결과를 기술하였다. 이 분야는 미국 General Atomics(Maxwell)사가 가장 먼저 상품화에 성공하였으며 EMI社 등에서도 개발하였다. 주요 핵심기술로는 고압 고주파 변환을 통한 전원장치의 compact화, 고전압절연, soft switching 기술을 적용한 저손실화 설계기술 등이다. 아울러 냉각 방식은 대용량의 경우, 수냉식으로 고려하고 있으나 설비가 복잡해지기 때문에 한국전기연구원에서는 강제 공냉식으로 개발하였으며 10kV급으로는 160kVA까지 개발 완료하였다.

## (참고 문헌)

- [1] M. Souda, F. Endo, C. Yamazaki, K. Okamura, and K. Fukushima, "Development of High Power Capacitor Charging Power Supply for Pulsed Power Applications," in *Proc. 12th IEEE Int. Pulsed Power Conf.*, vol. 2, pp. 1414-1416, June 27-30, 1999.
- [2] 이성길, 박수강, 이강연, 조근배, 백형래, 임병욱, "인버터식 X선 발생장치용 고압변압기의 특성개선에 관한 연구," 추계전력전자학술대회 논문집, pp.77-80, 2000년 11월.
- [3] Y.H. Chung, H.J. Kim, and C.S. Yang, "MOSFET Based 20kV, 500A Pulse Generator with Energy Recovery Circuit," in *Int. Sympo. Pulsed Power and Plasma Applications*, pp. 116-123, October 26-27, 2000.
- [4] S. Katsuki, D. Takano, H. Akiyama, and T. Majima, "Repetitive Operation of Water-filled Blumlein Line," in *Int. Sympo. Pulsed Power and Plasma Applications*, pp. 101-105, October 26-27, 2000.