

펄스전원용 고압커패시터 충전기 시험

장성록*, 안석호*, 류홍제**, 김중수**, 김영배**, 김진성***, 이병하***, 김성호***
 *과학기술연합대학원대학교, **한국전기연구원, ***국방과학연구소

The Experiment of High Voltage Capacitor Charger for Pulsed Power Application

S.R Jang*, S.H Ahn*, H.J Ryoo**, J.S Kim**, Y.B Kim**, J.S Kim***, B.H Lee***, S.H Kim***
 *University of Science & Technology , **KERI , ***ADD

Abstract - This paper introduces the test a rapid pulsed power charging system for pulsed power application. The charger is designed based on three-phase series resonant inverter followed by air cooled step-up transformers. It has many advantages of lower weight, small size and high efficiency compared with large bulky traditional pulse power charging system. To apply 150kJ pulsed power system, detail test was carried out at various condition and its results shows 90% efficiency at full load condition. And additional experiments such as short, open, and self discharging during charging status are performed to verify reliable operation at abnormal condition and it was confirmed that developed capacitor charger showed very reliable operation all over the tests.

그림1에서 보는 바와 같이 충전기는 1차측에서 볼 때 직렬공진형구조의 3개의 상이 델타 구조로 연결이 되어있다. 그리고 각 상의 2차측은 두 개의 voltage doubled rectifier구조로 되어있어 최대 25kV까지 충전을 할 수 있게 설계 되었다. 또한 각 고압전류부의 출력단 결선을 바꾸어 12.5kV, 8kV의 출력전압과 전류를 바꾸어 다양한 응용 분야에 활용 할 수 있도록 제작 되었다. 전원장치의 사양은 아래의 표1과 같다.

| | |
|---------------|--|
| Input Voltage | 3phase 380Vac±10% |
| Output power | 35kJ/s (12.5kV, 2.8A) |
| Protection | Over Voltage, Over Current, Over temperature |
| Size / weight | 484(H) X 450(D) X 476(W) [mm] / 90kg |

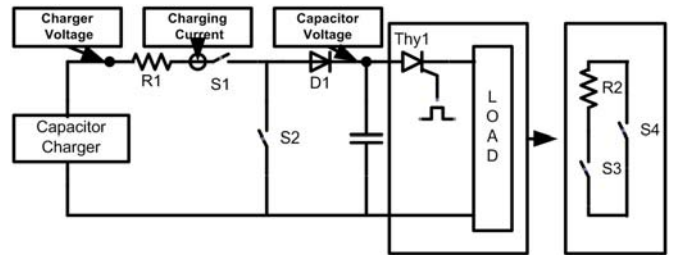
1. 서 론

펄스파워는 에너지를 저장하였다가 짧은 시간에 에너지를 부하단으로 전달하는 것을 말한다. 이는 부하와 에너지의 크기에 따라 군사, 의료, 환경 등 다양한 응용분야를 가지고 있다. 펄스 전원 시스템의 우수한 성능을 위해서는 빠른 시간 내에 고압커패시터를 충전할 수 있는 커패시터 충전장치가 요구되며, 응용분야의 다양한 조건에서 높은 신뢰성을 갖는 시스템이 요구된다. 이러한 응용분야에 적용되기 위한 커패시터 충전기의 고려 사항은 빠른 충전시간, 높은 효율, 오동작에 대한 보호 성능과 응용분야에 적합한 size등을 들 수 있다. 본 논문에서 제안하는 직렬공진형(Series Load Resonant) 컨버터 방식으로 설계된 충전기는 Zero Current Switching 방식을 이용하여 높은 효율(>90%)을 가지고 있고, 전류원으로 동작하는 특성으로 고압 전원장치에서 빈번히 발생하는 Arc에 대한 보호가 우수하다는 것이 장점이다. 또한 기존의 위상정류회로를 이용하여 충전하는 구조에 비해 size가 줄어들어 작은 부피의 전원장치로 더욱 빠른 충전이 가능하다고 할 수 있다. 본 논문에서는 [1]에서 소개된 전원장치를 이용하여 고압 커패시터를 충전하는 실험과 실험 및 응용 단계에서 발생하는 자발방전 및 충전 중 개방사고, 단락사고 등의 오동작시 보호기능 등에 대한 신뢰성 높은 시스템 테스트 방법과 그 결과에 대하여 기술한다.

<표 1> 전원장치의 사양

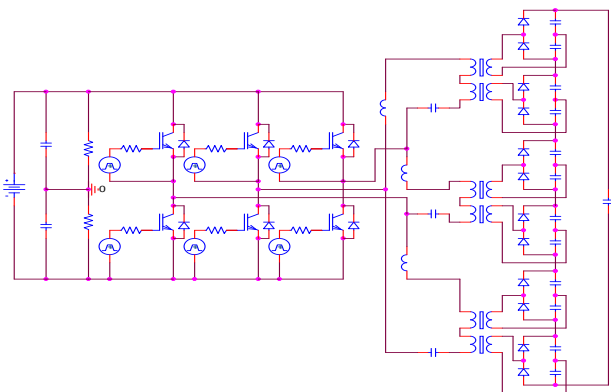
3. 고압충전기 실험

제작된 고압 충전기는 150kJ의 출력 에너지를 갖는 펄스파워 응용분야에 효과적으로 적용되기 위한 정상운전동작 조건과 비정상적인 동작 조건에 따른 다양한 시험을 실시하였으며, 이를 테스트하기 위한 회로는 그림2와 같다.



<그림 2> 150kJ 펄스파워 응용을 위한 충전기 실험 회로

2. 고압충전기의 기본 구조 및 사양



<그림 1> 충전기의 회로도

150kJ급 펄스파워 응용시스템에서 충분한 에너지를 커패시터에 저장시키고, Thy1을 트리거 시켜 에너지를 순간적으로 부하단에 전달하도록 되어있다. 본 논문에서는 위와 같은 과정에서 발생 될 수 있는 오동작 및 사고에서의 충전기의 내력과 보호기능에 대하여 기술 한다. 실험을 위하여 부하는 덤프저항 R2와 S3로 구성하였고, 충전 커패시터는 830uF(11kV)을 사용하였다.

먼저, 정상동작 조건을 위한 충전시험으로 충전장치의 충전전압을 7kV로 설정하고 830uF의 커패시터를 충전 하였으며 그 결과를 그림 3에 나타내었다. 충전시간은 약 1.3초가 소요되었다. 또한 펄스전원 응용과정에서 발생 가능한 3가지의 사고(충전 중단락, 개방, 자발방전)에 대한 모의시험을 스위치 S1, S2, S4를 사용하여 실시하였으며 상세한 결과를 기술하도록 한다.

3.1 충전 중 단락사고 실험

이 실험은 충전하는 도중에 커패시터 충전기 출력단이 단락되는 경우를 가정한 실험이다. S1을 통하여 전류를 충전하다가 S2를 단계 되면 충전기의 출력은 작은 발라스트 저항 R1을 통하여 단락되게 되고 이때 충전기의 소손 및 오동작이 발생하지 않아야 한다. 실험결과 전류원으로 동작하는 직렬 공진형 컨버터의

특징으로 인해 단락 이후에도 일정한 전류만을 출력하며 정상동작함을 확인 할 수 있었다. 이때의 실험파형을 그림 4에 도시하였다. 커패시터가 충전되고 있는 도중에 출력단이 단락이 되어 충전기의 출력전압이 급격히 떨어지고 출력전류는 일정하게 흐르는 것을 볼 수 있고, 충전된 커패시터의 에너지는 유지되는 것을 확인할 수 있다.

3.2 충전 중 개방사고 실험

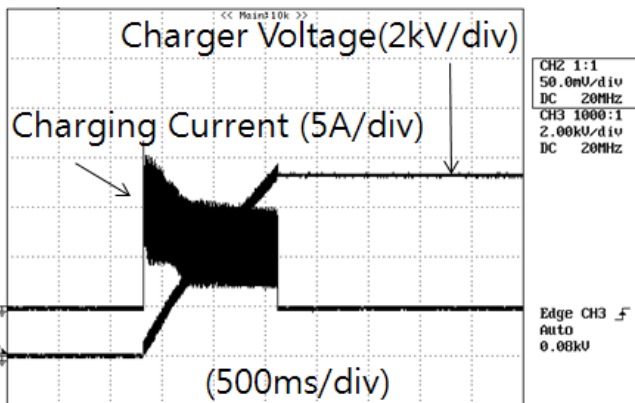
개방사고 실험은 충전도중에 충전기의 출력과 커패시터 사이의 연결이 끊어지는 경우를 가정한 실험이다. 이는 충전 도중에 S1 스위치를 열어 실험을 하였다. 그러나 기계적 스위치 S1을 개방하여도 높은 충전전류가 아크를 통해 경로가 형성되어 충전 중에 전류를 끊는 것이 불가능하였으며, 충전 완료 후 개방되는 형태로 동작하였다. 이는 그림 5의 실험파형을 통하여 확인할 수 있다.

3.3 충전 중 자발방전 실험

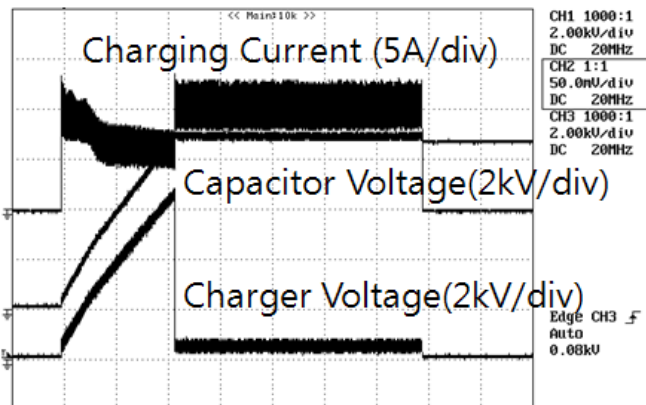
자발방전은 충전하는 도중에 부하단에서 arc등으로 인해 커패시터에 방전이 일어나는 경우를 말한다. 이 실험은 스위치 S4를 충전도중 단았다가 열어 모의실험 하였다. 그림 6의 파형을 보면 자발방전시 커패시터의 역전압으로 인하여 충전기 출력 전류에 침투전류가 발생되며 다시 충전이 시작됨을 볼 수 있다. 역충전된 전압은 충전기 출력단의 정류 다이오드를 통해 흐르게 되며, 정류다이오드 정격의 5-10 이내로 유지될 수 있도록 전류 제한 저항을 부착하여 충전기 시스템을 보호 할 수 있다.

4. 실험 결과 및 파형

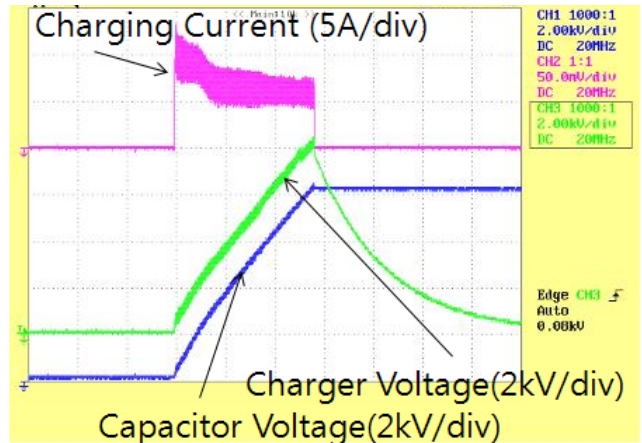
모의된 실험의 결과 파형을 정리하면 아래와 같다. 세 가지의 모의 사고 실험을 통하여 고전압 커패시터 충전기의 안전성 및 활용가능성을 검증 할 수 있었고, 본 응용분야에 효과적으로 사용가능함을 확인할 수 있었다.



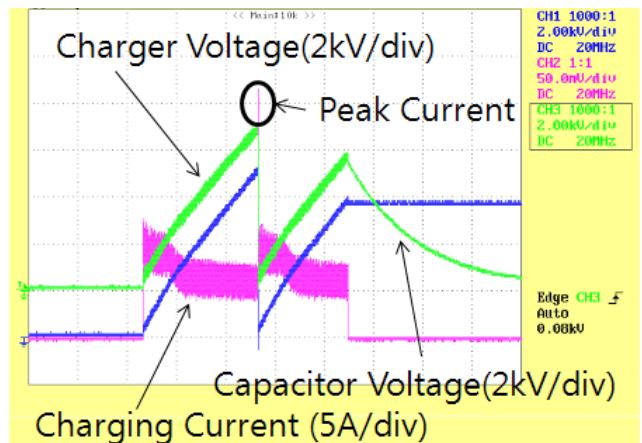
〈그림 3〉 충전기의 7kV 충전 파형



〈그림 4〉 충전 중 단락사고 실험 파형 (500ms/div)



〈그림 5〉 충전 중 개방사고 실험 파형 (500ms/div)



〈그림 6〉 충전 중 자발방전 실험파형 (500ms/div)

4. 결 론

본 논문은 펄스파워를 만들기 위해 주로 쓰이는 에너지 저장 소자인 커패시터를 충전하는 고전압 충전장치의 안정적인 동작을 위한 테스트 방법 및 그 결과에 대하여 소개하였다. 개발된 전원장치는 기존의 고전압 전원장치에 비해 크기와 무게를 대폭 감소시켰을 뿐만 아니라 전원장치의 전체 효율과 역률은 모두 90%수준 이상의 높은 효율을 가지고 있다는 장점이 있다. 또한 실험을 통하여 증명된 바와 같이 동작 중 단락 혹은 arc발생, 개방 등의 비정상적 동작 모드에서도 전원장치 면에서 우수한 내력을 가지고 있다는 것이 증명 되었다. 실험 결과에서 보여 지는 바와 같이 설계 제작된 고전압 커패시터 충전기는 다양한 분야의 펄스전원분야에 고압 충전을 위하여 효과적으로 사용가능함을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] S.R Jang, H.J Ryoo, J.S Kim. "The Development of 35kJ/s High Voltage Capacitor Charger", Proceeding of the 39th the KIEE Summer Conference 2008, pp988-989
- [2] A.C. Lippincott, R.M. Nelms, M. Garbi and E.Strikland, "A series resonant converter with constant on-time control for capacitor Charging application", Proc. of the 5th Annual IEEE Applied Power Electronics Conf., pp147-154, 1990
- [3] B.E. Strikland, M. Garbi, F. Cathell, S. Eckhouse and M. Nelms, "2kJ/sec 25kV high-frequency capacitor-charging power supply using MOSFET switches", Proc.of the 1990 19th Power Modulator Symp., pp531-534, 1990
- [4] A.C. Lippincott and R.M. Nelms, "A capacitor charging power supply using a series-resonant topology, constant on-time/variable frequency control, and zero-current switching", IEEE Trans. on Industrial Electronics, pp438-447,1991