

20kV 10kW급 고전압 캐패시터 충전용 전원장치 개발

정인화, 김종수, 류명효, 김종현, 백주원, 임근희
한국전기연구원

Development of 20kV 10kW High Voltage Capacitor Charging Power Supply

In-Wha Jeong, Jong-Soo Kim, Myung-Hyo Ryu, Jong-Hyun Kim, Ju-Won Baek, Geun-Hie Rim
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract

본 논문은 20kV 10kW급 고전압 캐패시터 충전용 전원장치의 동작특성과 제어방식에 대하여 기술하고 있다. 단상 고주파 공진형 인버터 방식을 채용한 전원장치는 영전압 스위칭 기술을 적용하여 장치의 효율을 개선하였고 2대의 단상 고전압 변압기를 사용하여 출력용량을 고르게 분담하면서 다양한 출력조건에 적용 가능하도록 설계하였다. 또한 다양한 조건에서의 시뮬레이션과 실험을 통해 개발된 전원장치의 동작특성을 확인하였다.

1. 서 론

플라즈마를 이용한 환경설비와 같은 다양한 산업용 장치 등에 도입되고 있는 펄스파워 시스템에 있어서 전기에너지를 저장하는 소자로는 주로 캐패시터를 사용한다. 이때 캐패시터를 충전시키기 위한 고전압 전원장치는 안정성이 있고 소형화되어야 하며 높은 반복율로 재충전 가능해야 한다. 이와 같은 필요성에 의해서 개발된 본 전원장치는 최대전력 10kJ/s로 부하 캐패시터를 20kV까지 급속 충전할 수 있도록 설계되었으며 단상 고주파 인버터와 공랭식을 적용한 고전압 변압기를 사용하여 90%이상의 높은 효율과 우수한 유지보수성을 갖도록 제작되었다. 본 논문에서는 개발된 20kV 10kW급 고전압 캐패시터 충전용 전원장치의 구성과 주요 특징을 설명하고 다양한 조건에서의 시뮬레이션과 실험 결과를 통해 동작특성을 확인하였다.

2. 고전압 캐패시터 충전용 전원장치

2.1 전체 구성

개발된 전원장치는 그림 1과 같이 크게 인버터

부분과 고전압 부분으로 구성되어 있다. 인버터 부분은 3상 380/440V 전압을 외부전원으로부터 공급받고 있으며 입력필터와 입력정류부, 역률 개선용 인덕터, 제어회로부, 그리고 전원장치를 소형화시킬 수 있도록 내부 누설인덕턴스를 이용하는 직렬 공진형 방식의 단상 고주파 공진형 인버터로 이루어져 있다. 한편, 고전압 부분은 2대의 단상 고전압 변압기와 고압정류부, 출력전압 검출부 등으로 구성되어 있으며 최종적으로 부하 캐패시터에 정전류의 충전전류를 공급하게 된다. 또한 기존의 고전압 캐패시터 충전용 전원장치가 1대의 단상 고전압 변압기를 채용하여 전기적 절연문제 때문에 절연유를 사용하게 되는데 반해 본 전원장치는 2대의 단상 고전압 변압기를 사용하여 고전압 변압기와 고압정류부에 인가되는 전기적 절연내력을 낮출 수 있었고 공랭식에 의한 냉각방식을 통해 안전성과 유지보수성을 크게 향상시킬 수 있었다.

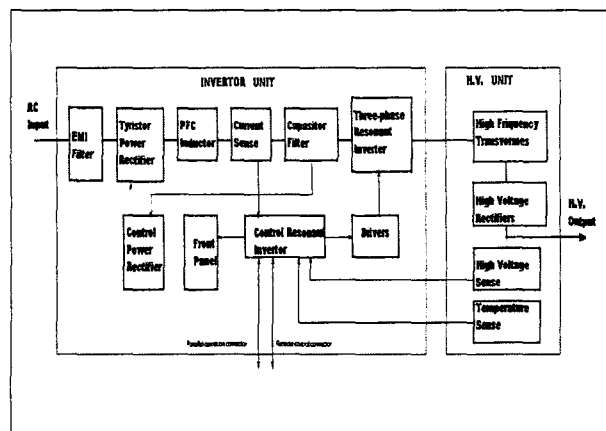


그림 1. 고전압 캐패시터 충전용 전원장치 구성도

2.2 단상 고주파 공진형 인버터

그림 2는 개발된 20kV 10kW급 고전압 캐패시터

충전용 전원장치의 설계 모델을 보여주고 있다. 단상 고주파 공진형 인버터의 입력전원은 IXYS사의 다이오드 모듈 FFPF10F150S를 통해 공급되었으며 인버터의 스위칭 소자는 1200V 300A의 IGBT 모듈을 사용하였다. 또한 소프트 스위칭 기법을 적용하여 인버터의 스위칭 주파수를 최대 100kHz까지 높일 수 있었으며 이를 통해 인버터 출력을 고전압으로 승압시켜주는 고전압 변압기를 소형화시킬 수 있었다. 아울러 전원장치의 효율을 증가시키고 크기와 무게를 감소시키기 위해서 추가적인 공진용 인덕터를 사용하는 대신에 고전압 변압기 자체의 누설 인덕턴스 성분을 이용하여 직렬 공진회로를 구성하였다.

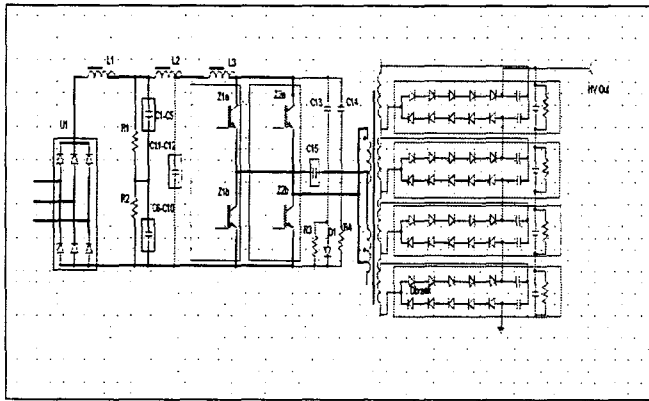


그림 2. 20kV 10kW급 캐패시터 충전용 전원장치 설계 모델

2.3 고전압 출력회로

단상 공진형 인버터에 연결된 고전압 변압기는 최대 20kV까지 부하 캐패시터를 충전할 수 있도록 1차측에 인가되는 인버터 출력전압을 승압시켜 준다. 본 전원장치에서는 고전압 변압기의 2차측 권선수를 줄이고 궁극적으로 전기적 절연내력을 낮출 수 있도록 2대의 단상 고전압 변압기를 사용하여 각각의 출력전압이 더해지도록 설계하였다. 제작된 고전압 고주파 변압기는 TDK사의 페라이트 코어를 사용하여 고주파 동작에서의 와전류손을 감소시킬 수 있었다. 이렇게 얻어진 고전압 출력은 고압 다이오드로 이루어진 고압정류부를 거쳐 최종적으로 부하 캐패시터에 출력된다.

2.4 제어 회로

전체 전원장치가 최대 20kV전압까지 안정되게 동작하기 위해서는 제어회로와 인버터 구동회로 설계에 있어서 세심한 주의가 필요하다. 고전압 출력과 같은 전기적 상태값과 전원장치 내부소자의 온도변화 등을 계속해서 감시하여 문제가 발생하였을

경우, 고속차단과 보호기능이 정확히 작동되도록 최우선적으로 설계하였다. 또한 반복 충전동작에서의 안정성을 고려하여 부하 캐패시터가 외부에 연결된 고전압 스위치에 의해 개폐되는 동안 전원장치가 부하 캐패시터를 재충전시키는 것을 막기 위해서 반복 충전동작 사이에 약간의 지연시간을 두었다.

3. 시뮬레이션 및 실험 결과

그림 2에서 제시된 전원장치의 전기적 모델을 PSpice에 적용하여 얻어진 시뮬레이션 결과는 그림 3-4에서 보여지고 있다. 수행된 시뮬레이션에서 부하 캐패시터는 0.05μF, 충전전압은 20kV, 그리고 인버터의 스위칭 주파수는 50kHz로 설정되었다.

그림 3은 부하 캐패시터의 충전전압과 단상 공진형 인버터로부터 인가되는 고전압 변압기의 1차측 입력전류의 시뮬레이션 파형을 보여주고 있다. 시뮬레이션 결과에서 나타나듯 고전압 변압기 1차측에 흐르는 전류의 피크값은 약 200A임을 관측할 수 있다.

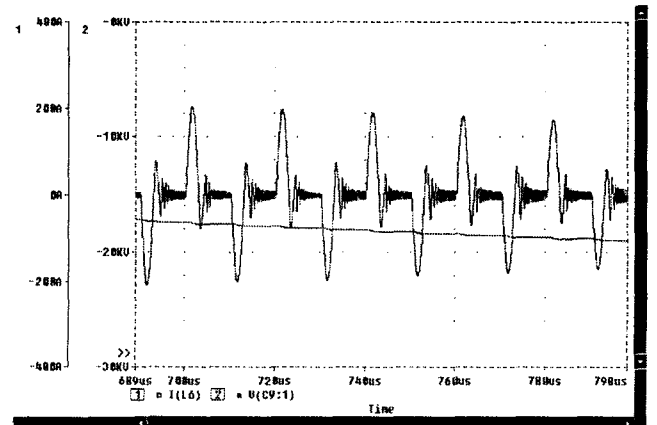


그림 3. 출력 충전전압과 고전압 변압기 입력전류의 시뮬레이션 파형

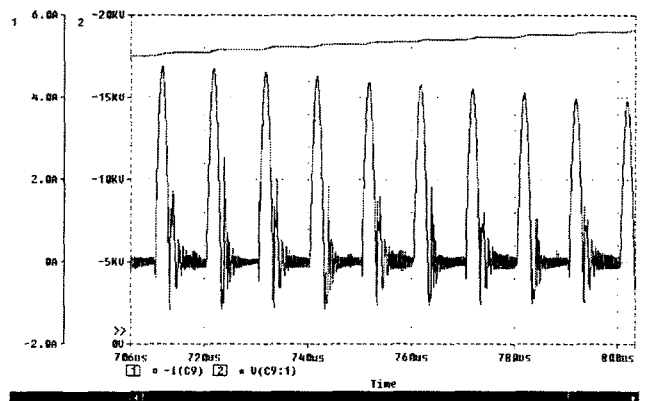


그림 4. 20kV 충전에서의 충전전압과 충전전류의 시뮬레이션 파형

그림 4는 부하 캐패시터를 최대 충전전압 20kV로 충전할 때의 충전전압과 충전전류의 시뮬레이션 파형을 나타내고 있다. 0.05 μ F의 부하 캐패시터를 20kV까지 충전하는데 충전전류의 평균값은 약 1A 정도이며 소요된 충전시간은 약 1ms임을 확인하였다.

그림 5는 제작된 20kV 10kW급 고전압 캐패시터 충전용 전원장치를 보여주고 있다. 전원장치는 인버터 부분과 고전압 부분으로 나뉘어 있으며 19인치 표준 랙에 실장이 가능하도록 설계되어 있다. 전원장치의 크기는 435(W)*428(D)*177(H)mm, 전체무게는 34kg이며 케이스 후면에 위치한 인버터 부분에 냉각팬을 설치하여 장시간의 연속운전에서 안정적으로 동작하도록 냉각구조를 단순화시켰다.

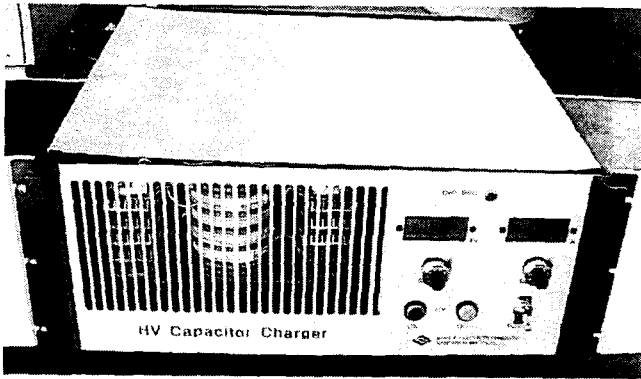


그림 5. 20kV 10kW급 고전압 캐패시터 충전용 전원장치

그림 6은 0.1 μ F의 부하 캐패시터를 충전전압 20kV로 충전할 때의 고전압 변압기 1차측 입력전류와 충전전압의 실험 파형을 보여주고 있다. 실험 결과에서 보듯 고전압 변압기 입력전류의 최대 피크값은 약 200A이며 인버터의 스위칭 주파수는 65kHz임을 알 수 있고 전체적인 동작특성 또한 시뮬레이션 결과와 일치함을 살펴볼 수 있다. 한편 실험 결과를 통해 전원장치의 전체 효율은 90%정도이고 역률은 0.85 이상임을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 논문에서는 20kV 10kW급 고전압 캐패시터 충전용 전원장치의 구성과 특징을 설명하고 시뮬레이션과 실험 결과를 통해 주요 동작특성을 확인하였다. 다양한 펄스파워 시스템에 적용하기 위해 개발된 본 전원장치는 기존 고전압 전원장치에 비해 크기와 무게를 대폭 감소시켰을 뿐만 아니라 대체

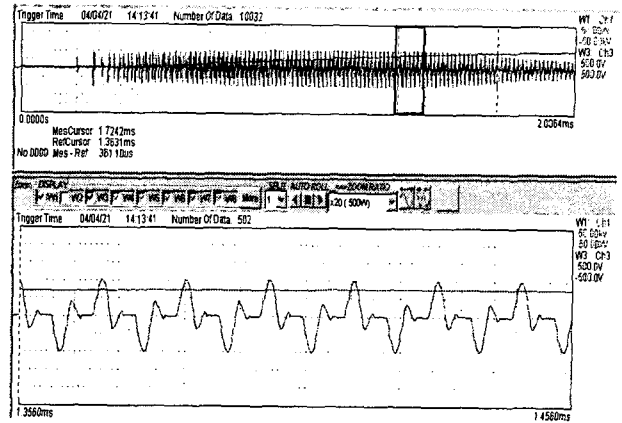


그림 6. 출력 충전전압과 고전압 변압기 입력전류의 실험 파형

적으로 독립된 절연유 탱크에 실장되는 고전압 변압기를 2대의 단상 고전압 변압기로 대체함으로써 전기적 절연내력을 낮출 수 있었고 이를 통해 절연유 탱크를 제거하고 전원장치의 케이스 바닥에 그대로 고정할 수 있었다. 아울러 냉각방식을 팬에 의한 공랭식으로 단순화하여 전원장치의 유지보수성을 크게 향상시킬 수 있었다. 전기적 특성측면에서 살펴보면 전원장치의 전체 효율은 90%수준 이상이며 10시간 이상의 연속운전에서도 안정된 동작 특성을 보였다.

참 고 문 헌

- [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] 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