

140kV, 20mA급 전기집진기용 고압 펄스 발생장치 개발

김원호, 김종수, 강유리, 임근희, *김철우
한국전기연구소, *부산대학교

Development of A High Voltage Pulse Generator for EP

W. H. Kim, J. S. Kim, I. Kang, G. H. Rim, *C. U. Kim
KERI, *Pusan national university

Abstract - With the increasing demands for clean environment, development of air cleaning systems has been received increasing attention. EP is usually used for air cleaning in the coal power plant. One of the key technology in the EP is high voltage pulse power supply, which affects the performance of the overall system.

In this study, high voltage micro pulse power supply for the pilot EP is developed.

The power supply has a dc source and a pulse one. The ratings of the dc and pulse source are 60kV and 70kV respectively.

1. 서 론

Micro-Pulse Concept^{[1]-[2]}(이하, MPC)를 적용한 집진 방식은 종래의 dc 하전 방식이나 semi-pulse 하전 방식^{[3]-[4]}에 비해 최근에 개발된 첨단 하전 방식으로서 집진 효율과 역전리 발생 억제 등 그 성능 면에서 탁월한 장점을 지니고 있는 것으로 보고되고 있다.

본 연구에서 제안한 MPC 방식의 주회로는 각기 다른 형태의 전압을 발생하는 두 가지 부분⁽⁵⁾⁻⁽⁷⁾으로 나누어진다. 먼저, 전압을 일정한 값으로 집진기에 연속적으로 인가하면서 집진 된 분진의 탈리를 방지하는 가변 직류 전압 발생부 및 순간적인 고압을 인가하여 코로나 발생을 균일하면서도 강력하게 발생하도록 하는 펄스 전압 발생부로 나누어지며 집진기에 최종적으로 인가되는 전압은 이 두 개의 장치에서 출력되는 전압이 중첩된 형태이다. 본 연구 과정을 통해 최종적인 실험 결과로 도출한 전압값은 직류 전압이 60kV이며 펄스전압의 피크치는 70kV이다. 그리고, 펄스 전압의 최소폭은 140 μ sec 정도이며 펄스의 주기와 폭은 설계치 조정에 의해 가변적이다.

본 논문에서는 새로이 개발한 전기집진기용 MPC 주전원 회로를 기초로 하여 이를 제어하기 위한 제어회로 및 주회로가 내장된 고압 변압기 등을 설계하여 그 특성을 살펴본다. 새로이 제안하는 주회로의 특징은 직류 고전압에 고압 펄스 전압을 중첩시킨 전원장치를 구성하였는데 펄스 변압기와 공진 회로를 이용하여 고압 펄스를 발생시며 펄스의 피크치 크기, 펄스 주기 및 펄스 폭 등을 원하는 대로 조절하기가 손쉬운 장점이 있다.

2. 새로운 MPC 주전원 회로

제안한 회로는 각기 다른 형태의 전압을 발생하는 두 가지 부분으로 나누어진다. 먼저, 가변 직류 전압을 일정한 값으로 부하에 연속적으로 인가하는 직류 전압 발생부 및 순간적인 고압 펄스를 발생하여 부하에 공급하는 펄스 전압 발생부로 나누어지며 부하에 최종적으로 인가되는 전압은 이 두 개의 장치에서 출력되는 전압이 중첩된 형태이다. 또한, 펄스 발생 후에 펄스 변압기에

존재하는 자기 성분을 일정하게 하기 위해 펄스 전압 발생부에 펄스 변압기 감자 전원이 별도로 구성된다.

고압 펄스 전압 발생회로는 일반적으로 공진 방식 또는, 고압 스위치 제어에 의해 얻어지는데 본 발명에서 제안하는 방식은 이 공진회로의 구성을 달리하여 펄스 전압 발생 회로의 낮은 전압을 사용한 순간 공진과 펄스 변압기에 의해 고압 펄스 파형을 얻을 수 있으므로 제작 시에 기존의 회로와 비교하여 절연 공간이 줄어들어 크기와 무게가 감소하며 부하에 인가되는 직류 전압과 펄스 전압의 피크치의 크기 및 펄스의 주기를 사용자가 필요에 따라 조정을 할 수 있으며 펄스 폭 등의 값은 회로에 사용되는 소자들의 설계치 조정에 의해 가변적이다. 또한, 공진 발생을 위한 반도체 스위칭 소자로 싸이리스터 다이오드 스위치(thyristor diode switch : 이하 TDS)를 사용하여 제어가 간단하며 시스템의 구성을 단순화하여 제작 생산적인 측면에서 우수한 특성을 얻을 수 있다.

고압 펄스를 발생시키는 회로의 구성은 교류 전원부로부터 정류기를 사용하여 직류 전압을 얻고 이 직류 전압을 전원으로 하는 회로로 구성되며 공진 회로 구성은 고주파 변압기를 기준으로 1차측에 공진 인덕터와 2차측에 공진 커패시터가 연결되며 TDS의 동작은 임의 주파수에 따라 싸이리스터를 온(on)하면 공진 전류가 흐르기 시작하며 공진 전류의 흐름이 바뀌는 순간부터는 TDS의 다이오드로 역전류의 흐름이 생기므로 별도의 복잡한 스위칭 동작이 필요없다.

입력 직류 전원에 부가적으로 구성된 펄스 변압기 감자용 전원은 펄스가 발생된 이후에 펄스 변압기에 존재하는 잔류 자기 성분을 제어하여 펄스 변압기의 포화를 피할 수 있다.

고압을 스위칭하기 위해서는 스위칭 소자의 제한된 전압, 전류 정격 때문에 여러 개를 직렬로 연결하여 전체적인 전압 분담율을 높여야 한다. 본 발명에서는 전력용 반도체 소자 스위치인 싸이리스터(thyristor)와 이 싸이리스터에 역병렬로 연결된 다이오드(diode)가 1개의 스위치를 이루는 TDS를 직렬로 여러개를 연결하여 고압 제어를 행하였다. 또한, 부하에 인가되는 직류 기저 전압은 별도의 가변 직류 전원 회로에서 공급되고 펄스 전압은 TDS, 1차측 공진용 인덕터 및 2차측 커패시터에 의해 발생된다.

그림 1은 본 연구에서 개발한 새로운 MPC형 주회로의 간이화된 그림으로서 기본 구성은 다음과 같다.

- ◆ 입력 직류 전원을 온, 오프 동작으로 출력측에 단속시키는 TDS
- ◆ TDS와 직렬로 연결되어 LC 공진에 의해 펄스 전압을 발생시키는 펄스 변압기 1차측 공진 인덕터
- ◆ 입력측의 전압을 부하에 고압으로 변환시키는 펄스 변압기

◆ 펄스 변압기와 직렬로 연결되어 LC 공진을 일으키는 공진 커패시터

◆ 부하에 정해진 직류 전압을 인가하는 가변 직류 전압 발생부

◆ 펄스 변압기에 존재하는 잔류 자기 성분을 제어하는 변압기 감자용 전원

으로 구성된다.

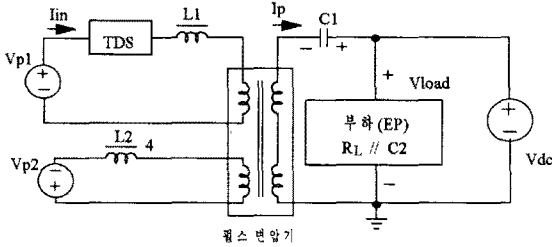


그림 1 MPC형 주회로의 간이화 도면

그림 2는 펄스 발생 시에 입력 전원측과 부하양단에 인가되는 전압 및 전류 파형을 나타내는 그림이다. 초기 상태에는 공진 커패시터가 가변 직류 전원 장치에서 공급하는 크기만큼의 전압으로 충전되어 있다. $T = t_0$ 인 순간에 TDS가 도통되면 공진 커패시터에는 가변 직류 전원에서 공급하는 전압이 충전된 상태에서 입력측에서 공급하는 전원에 의해 공진이 발생하기 시작한다. TDS가 도통된 상태에서 펄스 변압기 1차측 공진용 인덕터 및 펄스 변압기 2차측 공진용 커패시터 그리고, 부하를 따라 직렬 공진회로가 형성된다. TDS의 싸이리스터에 흐르는 전류가 0이 될 때 ($t = t_1$) 전류의 방향이 바뀌고 TDS의 다이오드를 통해서 역전류가 흐르기 시작한다. 이 때, 역전류의 흐름에 의해서 싸이리스터는 오프(Off)되며 이 상태가 TDS의 전류가 다시 0($t = t_2$)이 될 때까지 지속되며 전류가 다시 0이 될 때 공진이 종료된다. 위와 같은 과정이 원하는 펄스의 주기로 반복된다. 공진용 커패시터에는 다음과 같은 에너지가 충전된다. 최초 공진 시작점에서 공진용 커패시터에 충전된 전압 V_c 는 가변 직류 전압과 같은 크기로 충전되어 있다고 할 때, 이 상태에서 TDS를 도통시키면 공진 회로에 공진이 발생한다. 이 시간은 순환 전류가 정현 파형으로 다시 제로 값이 될 때까지 지속된다. 이 상태에서 공진에 의해 발생하는 펄스의 피크치는 다음과 같이 나타난다.

$$\text{만 일} \quad R_L \gg n\sqrt{\frac{L \cdot (C_1 + C_2)}{C_1 \cdot C_2}} = \rho$$

이 때, n 은 펄스 변압기의 1차측 턴(turn)수에 대한 2차측 턴(turn)수의 비, C_1 은 공진 커패시터, C_2 는 부하 커패시터, R_L 은 부하 저항을 나타내며 ρ 는 주회로의 등가 임피던스 성분을 나타낸다.

이 때, 고압 변압기 2차측에 흐르는 전류는

$$I_p = \frac{nV_{pl}}{\rho} \sin at$$

로 나타나며 $\omega = 1/n\sqrt{\frac{L \cdot C_1 \cdot C_2}{(C_1 + C_2)}}$ 이다. 그리고, 부하측에 인가되는 전압은

$$V_{load} = \frac{I_{max}}{C_2 \cdot \omega} (1 - \cos at)$$

이며 여기서, 펄스 전압의 피크치는

$$V_{p,peak} = 2nV_{pl} \frac{C_1}{(C_1 + C_2)}$$

로 나타난다.

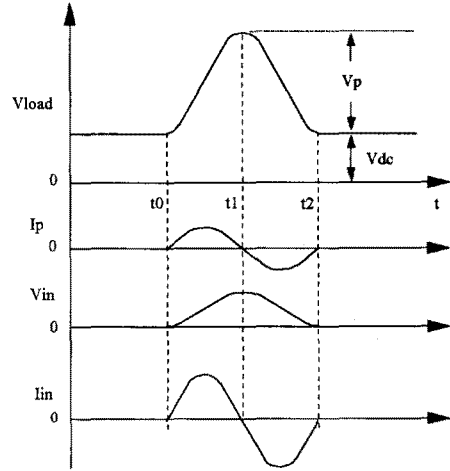


그림 2 MPC형 주회로의 각부 파형

그림 2에서 부하 전압(V_{load})을 보면 일정한 부의 직류값(V_{DC})을 가지다가 공진 순간에 펄스 전압(V_p)이 중첩됨을 볼 수 있다.

본 회로에서 이용된 펄스 발생장치는 종래의 방식에 비해 펄스 변압기가 사용되므로 절연 공간을 줄일 수 있어 더욱 소형화될 수 있다. 가변 직류 전원 장치는 인버터, 변압기, 정류기 및 펄스 유입 방지 다이오드로 구성되어 일정한 크기로 부하에 전압을 공급한다. 인버터는 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor : 후지 2MBI50L-060 600V, 50A)를 이용하여 일정한 주파수 (20kHz)로 듀티(Duty)를 조정하여 스위칭 함으로써 전압 크기(V_{DC})를 제어할 수 있다.

3. 시스템 구성 및 시험

그림 3은 새로이 개발한 EP용 고압 펄스 발생 장치를 기계연구소에 설치된 Pilot EP에 결선한 구성을 나타낸다. 고압 변압기에 들어가는 부분은 절연 오일에 담가지게 되므로 기관 제작이나 부품의 선정 과정에서 주의가 기울여야 한다.

고압 변압기의 정격은 직류 전압은 60kV, 펄스 전압은 70kV이며 집진기의 정격 전류 용량은 20mA이다.

그림 4는 집진기의 출력 전압(상부 파형) 및 전류(하부 파형)를 나타내는 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이 직류 40kV 및 펄스 전압 70kV가 중첩된 형태에서 최고 피크 전압이 110kV가 됨을 알 수 있으며 펄스 전압의 폭은 140μs가 됨을 알 수 있다. 그림 5는 펄스 발생 주기를 최대치인 200Hz까지 증가한 경우의 집진기 출력 전압 및 전류를 나타내는 그림이다.

그림들에서 보는 바와 같이 전압과 전류 파형은 예상한 결과와 아주 잘 부합됨을 알 수 있었다.

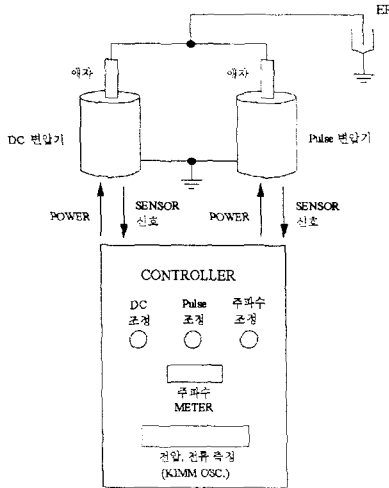


그림 3 Pilot EP와의 설치 구조도

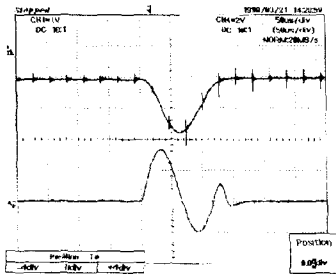


그림 4 집진기 출력 전압 및 전류 (40kV/div, 2A/div)

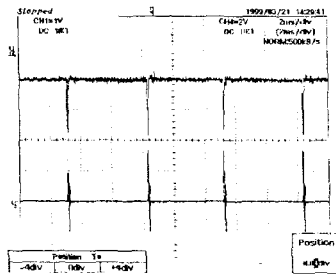


그림 5 집진기 출력 전압 및 전류 (200Hz, 40kV/div, 2A/div)

4. 결 론

본 연구의 최종 목표는 MPC 개념을 도입한 새로운 형태의 전기집진기용 전원장치 개발에 있다.

본 연구에서 제안한 새로운 MPC 방식 집진기 전원장치 주회로의 기대되는 장점을 살펴보면 다음과 같다.

- ◆ 펄스 전압은 저전압 전원으로 발생
- ◆ 펄스 주파수 증가 범위가 넓음
- ◆ 기존의 펄스 하전 방식에 비해 고압 장치 수의 감소로 가격의 저가화 및 소형화 가능

◆ 산업용 펄스 전원 장치에 응용

[참 고 문 헌]

- [1] 松井義雄, Kjell Porle, "Improvement of ESP's Performance Achieved with Microsecond Pulsing Energization", 火力原子力發電 vol. 41, no. 2, pp92~101, 1990
- [2] 火力原子力發電技術協會, "火力發電所環境保全技術, 設備", vol. 41, no. 6, pp779~794, 1990
- [3] "高速流電氣集塵裝置(HV-EP)의開發", 富松一隆외, 三菱重工業報 Vol. 29, No. 4, pp290~295, Jul. 1992
- [4] 富松一隆 외, "高速流電氣集塵裝置(HV-EP)의開發", 三菱重工業報, vol. 29, no. 4, pp290~295, 1992
- [5] R.M. Fhrlich at al, "AC Electrostatic Precipitation", IEEE Massachussetts Institute of Technology, Bambridge, MA, pp1211~1214, 1984
- [6] 임근희, 김원호 외, "전기집진기용 Pulse 하전식 전원장치", 대한전자공학회 추계합동학술발표대회 논문집, 1994.
- [7] 김종수, 김원호, 강유리, 임근희, 김종화, 조창호, "펄스하전 방식에 의한 전기 집진장치 성능 개선", '97 전기학회 하계학술대회 논문집, pp 2243-2245, 1997.