

가포화 자기스위치를 이용한 탈황탈질 시스템의 전원장치에 관한 연구

김수홍, 이용덕, 김승모, 김병섭, 권병기, 최창호
 (주) 포스콘 기술연구소

A study on topology of the DeNOx, DeSOx using magnetic pulse compressors

Soo-Hong Kim, Young-Duck Lee, Seung-Mo Kim, Byung-Sub Kim, Byung-Ki Kwon, Chang-Ho Choi

POSCON CORPORATION R&D Center

Abstract

Generally, Capacitor charging power supply (CCPS) consist of the full-bridge inverter, LC resonant tank and capacitance load. The multi-connection systems are normally used for high voltage or high power application.

In this paper, conventional parallel operation resonant type and proposed series operation PWM type CCPS for pulse corona occurrence of DeSOx, DeNOx system using magnetic pulse compressor make a comparison. The effect of proposed CCPS is verified by circuit characteristics analysis of parallel operation resonant type and series operation PWM type, and it is confirmed by simulation result.

1. 서론

오늘날, 전세계적으로 산업화가 가속화 됨에 따라 많은 대기오염 물질들이 배출되어지고 있으며, 오염물질 배출을 제한하기 위한 규제가 강화되고 있다. 이러한 오염문제를 해결하기 위해 여러가지 방안들이 연구되어지고 있으며, 산업현장에 적용되어지고 있다^[1-2]. 그 중에서 다양한 공정에 적응력이 높으면서도 동시에 여러 유해가스를 처리할 수 있는 저온 플라즈마를 이용한 탈황탈질 시스템이 각광을 받고 있다. 저온 플라즈마를 이용한 유해가스 처리기술은 다음과 같은 장점을 가지고 있다. 첫째, 기존의 습식공법에 비해 설치면적이 적어 초기 투자비용이 적다. 둘째, 건식공정이므로 2차 폐수처리가 필요 없으며, 셋째, 기존에 설치된 설비의 규모나 공정에 영향을 크게 주지 않고서도 유해가스설비의 설치가 가능하다. 넷째, 여러 유해가스를 한 공정에서 동시에 처리할 수 있어 기술적용 대상이 다양하다^[3]. 플라즈마 처리 공정을 위해서는 높은 활동성의 전자를 대량으로 생성하여야 하므로 코로나 방전의 일종인 스트리머 방전이 필요하다. 이 같은 고압방전을 위해 자기펄스 압축기(MPC : Magnetic Pulse Compressor)가 핵심 장비로 사용되며, MPC시스템의 커패시터 충전을 위한 직류 고전압 발생장치로는 CCPS가 사용된다.

본 논문에서는 대출력 펄스발생기인 MPC시스템의 기본구조 및 개념을 설명하고, 직류 고전압 발생장치인 CCPS의 직렬운전 및 병렬운전 형태에 따른 운전특성을 비교하였다. 또한 각시스템의 파라미터 변동이 시스템에

미치는 영향을 분석하였다.

2. MPC 시스템

그림 1은 MPC 시스템의 기본 구조 및 출력파형을 보여준다. MPC 시스템은 기본적으로 직류 고전압 발생장치(CCPS), 커패시터 방전을 위한 고압 스위치, 펄스 트랜스포머, 자기스위치, 플라즈마 반응기로 구성되어 있다. 간단한 동작원리는 CCPS에 의해 발생된 직류 고전압은 충전커패시터(C_L)에 축적되고, 이 에너지는 고압스위치에 의해 커패시터(C_I)로 전달되며, 자기스위치에 의해 연속적으로 압축되어 반응기에 고전압 펄스형태로 전달된다. 그림에서 보듯이 기본 구성회로의 동작에 따라 출력전압과 전류파형이 아래와 같이 나타나게 된다. 본 연구에서는 반응기 최종 출력전압은 약 200kV, 전류는 12kA, 출력전류 펄스폭은 500ns, CCPS의 충전 시부터 반응기에 최종 펄스 압축이 일어나는 시간까지의 주기를 3.3ms로 설정하였다.

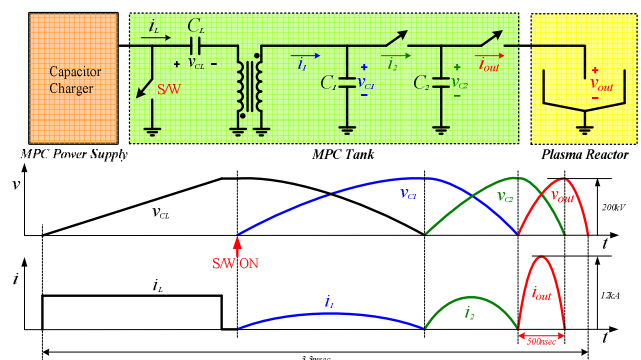


그림 1. MPC 시스템 및 출력파형
 Fig. 1 MPC system and output waveforms

3. CCPS 회로분석

MPC시스템을 이용한 집진기는 빠르게 커패시터를 방전함으로써 얻어지는 짧은 펄스폭의 집적된 에너지를 필요로 하는 전원장치가 커패시터를 충전하고, 이 커패시터가 부하에 방전을 하는 동작을 반복한다. 이 반복 과정은 시스템의 성능과 관계가 있으며 부하가 허용하는 한도내에서 전원장치는 반복율을 만족할 수 있도록 용량

설계가 되어야 한다. 이 같은 분야에 일반적으로 사용되는 전원장치가 커패시터 충전용 전원장치이며, 설계에 있어서 중요한 요소는 충전기의 반복율과 충전을 유지하고 있는 구간에서의 전압안정도이다. 충전기의 반복율은 시스템의 생산성과 연계되는 문제이며, 전기 집진기에서는 펄스하전방식이 DC하전방식보다 높은 집진 효율을 나타낸다. 전압안정도는 부하커패시터의 값과 운전 방식에 의해 결정된다. 그림 2는 CCPS의 회로 구성도와 동작과형을 보여준다. 그림에서 보듯이 CCPS의 동작은 크게 충전모드와 방전모드로 구분되며, 충전모드에서는 초기에 커패시터 (C1)가 방전되어 있고 CCPS는 이 커패시터를 설정 전압 까지 충전한다. 방전모드는 설정 전압까지 도달한 전압을 일정구간 유지한 후 설계된 반복율을 얻기위해 펄스 트랜스포머를 통하여 방전하게 된다.

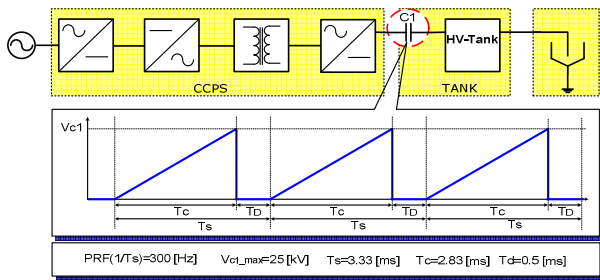


그림 2. CCPS 회로 및 동작과형
Fig. 2 CCPS circuit and operation waveforms

3.1 공진형 CCPS

그림 3은 LC공진탱크를 갖는 공진형 CCPS회로를 보여주고 있다.

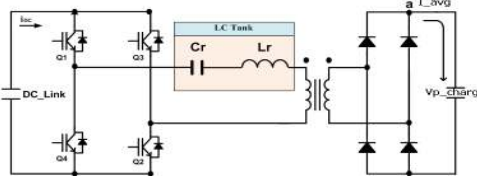


그림 3. 공진형 CCPS회로
Fig. 3 Resonant type CCPS circuit

변압기 1차측에 흐르는 최대전류는 공진성분 LC의 특성임피던스에 의해 결정된다. 공진 임피던스는 식(1)에 의해 계산된다.

$$Z = \sqrt{L_r / C_r} \quad (1)$$

식(1)을 이용한 공진 침두치 전류는 식(2)에 의해 계산되어진다.

$$I_p = V_{dc} / Z \quad (2)$$

1:N의 변압비를 통해 정류되어진 2차측 평균전류는 식(3)에 의해 계산된다.

$$I_{avg} = \frac{2}{\pi} I_p \cdot \frac{1}{N} \quad (3)$$

부하로 전달되는 평균에너지는 식(4)와 같다.

$$E_r = P_t / f_r [J] \quad (4)$$

식(2)에 의해 구해진 값은 충전시간을 계산하는데 중요한 파라미터가 된다. 충전시간을 알기위해 공진형 CCPS가 최대 에너지를 낼 때 부하 C에 충전되는 에너지는 식(5)와 같다.

$$E_c = \frac{1}{2} C_L V_T^2 [J] \quad (6)$$

식(4)와 (5)를 이용한 에너지 전달량은 식(6)과 같다.

$$E_{TQ} = E_c / E_r \quad (6)$$

식(6)의 에너지 전달량을 이용해서 충전 시간을 계산하게 되는데, 공진형 컨버터는 동작모드를 고려해야 한다. 공진형 컨버터는 연속모드와 불연속 모드로 나뉘고 이에 따라 에너지 전달량도 달라진다. 식(7)은 CCPS가 최대 출력을 낼 때의 충전시간을 계산했고, 모드에 따른 에너지 전달량을 고려했다.

$$T_C = E_{TQ} \cdot \frac{1}{f_r} + (E_{TQ} \cdot (\frac{1}{f_{sw}} - \frac{1}{f_r})) \quad (7)$$

식(7)에 의해 계산된 값을 바탕으로 목표전압의 충전 시간은 식(8)과 같이 계산된다.

$$T_{C_goal} = T_C \cdot (\frac{V_T}{V_P}) \quad (8)$$

공진형 CCPS회로는 일반적으로 공진주파수가 스위칭주파수보다 2배가 큰 경우인 불연속모드로 동작시키며 이때 ZCS동작을 하게 되므로 스위칭 손실을 감소시킬 수 있다. 그러나 적절한 LC파라미터를 선정하지 못할 경우 1차측 전류가 증가하는 단점을 가지고 있다.

3.2 PWM형 CCPS

그림 4는 PWM형 CCPS회로를 보여준다. 공진형 CCPS와 달리 1차측은 LC공진탱크가 없으며 전류제한을 위한 LL로 구성된다. 또한 전압-전류 피드백제어를 이용한 Robust한 제어가 가능하며, ZVS동작을 통하여 스위칭 손실을 감소시킬 수 있다. 그러나 변압기 양단의 구형파 인가 전류로 인해 열화현상이 발생하고, 공진형에 비해 큰 용량을 가진 변압기가 요구되며 추가적인 인덕터와 센싱이 필요한 단점을 가지고 있다.

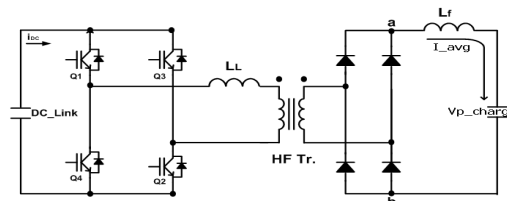


그림 4. PWM형 CCPS회로
Fig. 3 PWM type CCPS circuit

3.3 병렬운전 공진형과 직렬운전 PWM CCPS비교

CCPS의 운전형태는 병렬운전 공진형과 PWM, 직렬운전 공진형과 PWM의 4가지로 구분할 수 있으며, 이 중에서 직렬운전 공진형과 병렬운전 PWM의 형태는 구조상 사용이 어려우므로 본논문에서는 병렬운전 공진형과 직렬운전 PWM 형태를 비교하였다. 그림 5의 (a)와 (b)는 각각 병렬운전 공진형과 직렬운전 PWM CCPS 회로구조를 보여준다. 표 1은 2대의 CCPS로 구성된 병렬운전 공진형과 직렬운전 PWM CCPS의 시스템 파라미터를 보여주고 있다. 비교를 위해 두 시스템의 기본파라미터는 동일한 값으로 설정하였다. 그림 6은 병렬운전 공진형 CCPS회로의 부하 출력전압 및 전류 과형을 보여준다. 부하전압 출력과형 하단에 나타난 과형은 CCPS 1, 2의 출력과형을 보여준다. 충전이 진행됨에 따라 스위치 freewheeling다이오드를 통하여 흐르는 전류가 점차적으로

감소되어 부하단 전류 출력 파형은 증가하는 형태로 나타나게 된다. 그림 7은 직렬운전 PWM CCPS의 부하 출력전압 및 전류파형을 보여준다. PWM 펄스폭 제어 통하여 충전시간 조절이 가능하고, 출력전류는 공진형에 비해 일정하게 제어됨을 알 수 있다.

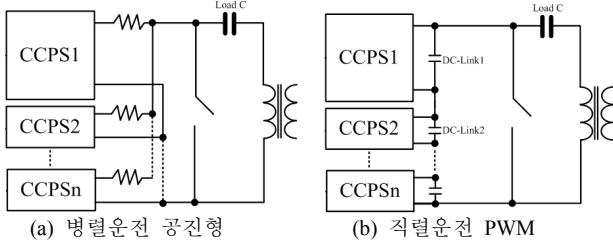


그림 5. CCPS 운전형태
Fig. 5 CCPS operation type

표 1. 시스템 파라미터
Table 1. System parameter

Parameter	병렬운전	직렬운전
V_{dc}	650	650
L_r	30 [μ H]	30 [μ H]
C_r	0.7 [μ F]	-
Load C	216 [nF]	216 [nF]
f_s	17 [kHz]	17 [kHz]
V_o unit	20 [kV]	10 [kV]
I_o unit	63.21 [A]	102.84 [A]
P total	16856 [W]	16616 [W]

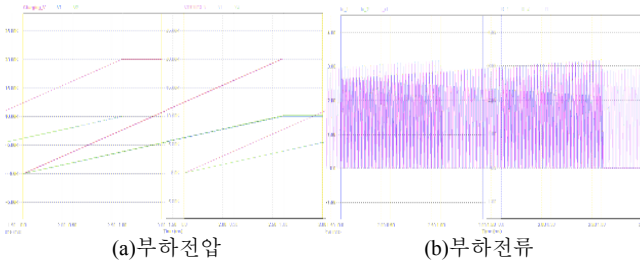


그림 6. 부하 출력파형
Fig. 6 Load output waveforms

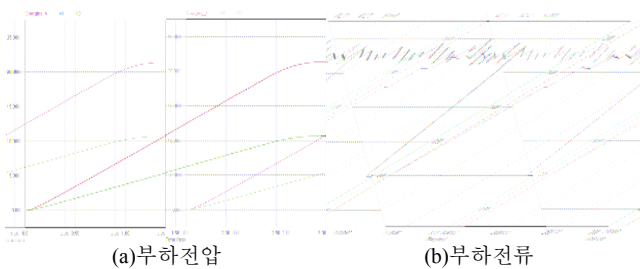


그림 7. 부하 출력파형
Fig. 7 Load output waveforms

그림 8은 병렬운전 공진형에서 하나의 CCPS에 파라미터 변동이 발생된 경우에 따른 특성 그래프를 보여주고 있다. Case1과 Case2는 L(+10%, +10%), C(-10%, +10%)의 변동이 발생된 경우이며, Case 3와 Case4는 L(-10%, -10%), C(-10%, +10%)의 변동이 발생된 경우를 가정하였다. 분석결과 공진주파수와 특성임피던스의 변화에 의해 충전시간 및 동작모드의 변화가 발생한다. 공진주파수나 특성 임피던스가 커지게 되면 불연속구간의 증가로 에너지 전달효율과 전류주입량이 감소한다. 반대로 공진주파수가 낮아지면 연속모드로 동작하며 스위칭 손실이 발생하게

됨을 알 수 있다. 직렬운전형 PWM CCPS의 경우는 파라미터 변동이 발생할지라도 피드백제어를 통해 부하전압 및 전류가 제어되므로 충전시간 및 시스템 출력파형에 큰 영향을 미치지 않음을 확인하였다. 표 2는 회로구조에 따른 비교를 보여준다. 직렬운전 PWM형태 다이오드 역회복 문제 및 제어방법, 부가성분을 제외한 면에서 좀더 우수한 특성을 가지고 있다.

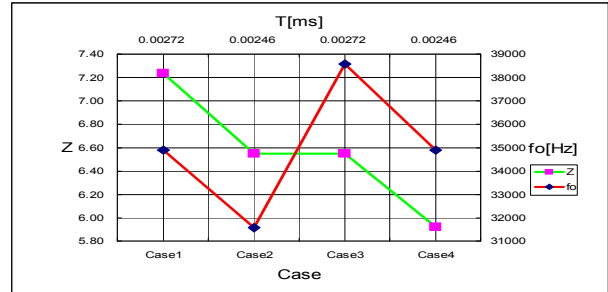


그림 8. LC변동에 따른 특성 그래프
Fig. 8 Characteristics graph by LC variation

표 2. 회로구조에 따른 비교
Table 2. Comparison by circuit structure

Parameter	병렬+공진형	직렬+PWM
스위칭 소자 전류정격	큼	작음
출력단 다이오드 전압정격	큼	작음
다이오드 역회복 요구사항	보통	역회복특성이 우수해야 함
제어방법	간단	복잡
전압제어	불가능	가능
각 CCPS변압기 턴수비	큼	작음
CCPS출력단 부가성분	R	C, L, R

4. 결론

본 논문은 탈황탈질을 위한 MPC시스템의 기본회로 구성 및 동작원리를 분석하였다. 또한 탈황탈질 시스템의 펄스 코로나 발생을 위한 CCPS의 병렬운전 공진형과 직렬운전 PWM형태를 비교하였다. 각 시스템의 출력특성 비교결과 파라미터 변동에 따른 안정성과 스위칭 소자의 전류정격, 출력단 다이오드 전압 정격, 피드백 제어에 의해 제어가 가능하므로 시스템의 신뢰성 및 대용량 확장성면에서 직렬운전 PWM형태가 좀 더 우수함을 알 수 있었다.

Reference

- [1] J. H. Joung, "A study on the pulse voltage and cascading ratio of compact pulse generator using cascading method," presented at the KIEE, vol. 50C, pp. 329-333, 2001.
- [2] 이유수, 정종환, 정현주, 김문환, 김희제, "가포화 자기스위치 MPC 를 적용한 저온 플라즈마 펄스에너지 전송효율 특성," 대한전기학회 논문지 52C, pp. 383-387, 2003.
- [3] 조무현, 이용환, 오종석, 최창호, 김민호, "고전압 나노 펄스시스템을 이용한 소각로메가스 탈황-탈질 동시 처리 시스템 실용화 연구," 전력전자학회지 제 8 호, pp. 21-26, 2003.