

플라즈마 살균용 전원장치에 관한 연구

°강욱중°, 김영문°, 문상필°, 권순걸°, 서기영°
 경남직업전문학교, 마산대학, 경남대학교

A study on power system for plasma sterilization

W.J.Kang°, Y.M.Kim°, S.P.Mun°, S.K.Kwon°, K.Y.Suh°
 Kyung-nam Junior College°, Masan College°, Kyung-nam University°

Abstract - A resonant type voltage source and power device and a control method using Pulse Density Modulation(PDM) power control and Pulse Width Modulation(PWM) voltage control for plasma sterilization are described. For the stability of discharge in the generating tube, it is desirable that the peak apply voltage is constant. The PDM power control is employed for sustaining the voltage constant at any generating tube input power. Moreover, to avoid the influence of input AC voltage fluctuation etc., PWM voltage control with generating tube peak voltage feedback is used. Both functions were confirmed by the experiment with 6.5[kHz], 1.8[kW] inverter and generating tube. The effect of input synchronous PDM method for input current stabilizing is confirmed also.

C_g 가 직렬회로로 구성되며, 인가전압이 높은 경우에는 GAP이 방전을 개시하고, 이때 GAP전압은 방전유지전압 V_z 에 클램프하게 된다. 일반적으로 발생관인가전압 V_p 가 저감하면 안정한 방전을 유지하지만 만일 전압이 높아지면 절연파손에 의해 관이 손상된다. 그러므로 발생관인가전압 V_p 를 적정치로 유지할 필요가 있다. 그리고 전력제어에는 전압제어로 되는 고조파 인가전압펄스의 밀도를 제어하는 펄스밀도변조(PDM : Pulse Density Modulation)가 제안되어지고 있으나 간단한 PDM을 할 경우에는 펄스의 발생이 끝나면 전력맥동에 의해서 교류입력전류의 맥동이 불규칙적으로 발생되어지며, 교류 입력전압변동에 의한 발생관 전압에는 영향을 주는 문제점이 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 PDM의 타이밍을 입력주파수와 동기시키고, 제어를 범용함으로서 발생관의 전압을 안정하게 발생시켜 제어장치에 적용함으로 발생장치의 성능이 향상되었다.

1. 서 론

최근 상하수도 및 산업용배수공급수의 살균처리, 냉장고 내의 살균처리, 음료수의 정화등을 살균, 표백처리 방법 등이 많이 연구되어지고 있다. 그 중에서 고온 처리 방법이 가장 일반적으로 이용되어지고 있지만 이 방법은 내용물을 파괴하므로 그 효과를 저하시키게 된다는 결점이 있다. 이러한 결점을 보완한 것이 방사선을 사용해서 박테리아를 제거하는 방법이 있으나, 이 역시 방사원의 보호, 사용의 불편성, 운반중의 오염, 높은 가격 등의 단점이 있어 전기적 에너지를 이용한 플라즈마 살균 처리장치를 이용한 방법이 강구되었다. 플라즈마 살균처리장치의 큰 장점으로는 화학적인 처리 과정을 통하지 아니하므로 2차적인 환경오염 문제를 일으키지 않는다는 점이다. 플라즈마 처리방법은 크게 열플라즈마법과 비열플라즈마 두 종류로 나눌 수 있다. 본 논문에서는 이중 비열플라즈마를 이용하였으며, 이에 사용되는 전원장치의 출력제어방식 및 특성을 연구하고자 한다. 그리고 본 논문에서 사용되는 비열플라즈마는 오존발생을 용이하게 할 수 있는 Barrier Discharge를 응용한 무성방전을 이용하였으며, 이러한 모든 사항은 시뮬레이션에 의해서 그 타당성을 증명하고자 한다.

2. 회로구성 및 동작원리

그림 1은 오존발생을 위한 플라즈마반응기(이하 오존 발생관 또는 발생관이라 칭한다.)의 간략도를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 동심원통형의 전극구조를 가지고 있으며, 전극간에 고조파 교류를 인가시킨 후 GAP에 산소 또는 공기를 통과시키면 오존이 생성하게 된다. 그림 2는 오존 발생을 위한 플라즈마 반응기의 등가회로를 나타낸 것이다. 그림에서 인가전압이 낮은 경우에는 GAP의 정전용량 C_g 와 유리 유전체의 정전용량

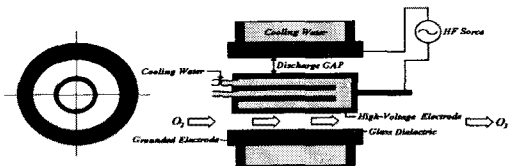


그림 1 플라즈마 반응기의 구조
 Fig. 1. Structure of Plasma Reactor

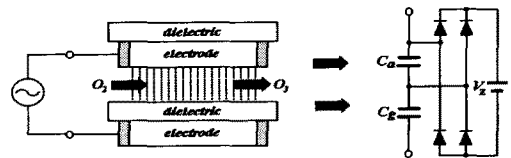


그림 2 플라즈마 반응기의 등가회로
 Fig. 2. Equivalent circuit of Plasma Reactor

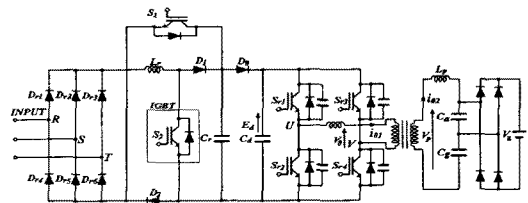


그림 3 플라즈마 반응기 전원장치의 주회로
 Fig. 3. A main circuit of power device for Plasma Reactor

그림 3은 본 논문에서 제안한 오존 발생기용 플라즈마 반응기의 전원장치도의 주 회로도이다. 그림 3의 주 회로는 상용 교류 220[V] 60[Hz]를 다이오드 정류기와 부분공진형 컨버터를 이용하여 맥동성분이 제거된 직류 전압을 발생시켜 전압형 인버터와 고주파용 변압기를 이용하여 6.5[kHz], 2[kV]까지 승압한 후 공진 리액터와 캐패시턴스로 구성된 직렬공진회로에 의해서 방전에 필요한 전압을 생성시키는 회로이다. 일반적으로 공진형 인버터에 있어서 출력전압은 주파수에 의해서 변화하므로 전력제어가 가능하지만 발생관의 인가 전압이 함께 변화하게 된다. 만일 인가전압이 낮아질 경우에는 출력 부하인 오존 발생관에 방전이 불안정하게 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 본 논문에서는 PDM 방식을 이용하여 문제점을 해결하였다. 그림 4는 PDM을 이용한 전력제어의 원리를 나타낸 것이다. 제어주기 T_0 이내로 일정전압이 정(+)_{주파수}로 동작하는 기간과 인버터 전압 V_0 를 0[V]로 하는 기간의 시비율을 조절하여 평균전력을 제어하였다. 그리고 상전류가 불균일하게 되는 현상을 막기 위해서 T_0 를 충분히 짧게 하여 T_0 중의 출력 펄스수를 적게 하고, 전력 제어량을 연속적으로 가변, 조정하므로써 펄스의 시작과 끝의 부분에서 생기는 과도현상을 무시할 수 있다.

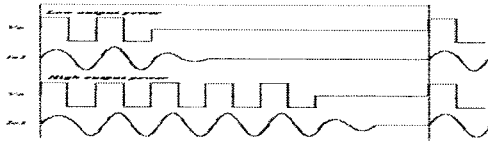


그림 4 PDM를 이용한 전력제어
Fig. 4. Power control using PDM

T_0 를 입력에 동기(同期)시켜 입력에 대한 전력의 제어 방법을 균일하게 하는 입력 동기 PDM 제어방식을 그림 5와 같이 나타낼 수 있다. 그림에서 T_0 는 입력의 한 주기에 따라 정(正)과 부(負)로 서로 대응하여 입력 1/2 주기의 정수분의 1로 설정하였으며, 각상에서 대칭으로 하기 위해 입력 1/3 주기의 정수분에 1을 만족하는 최대값으로서 입력주기의 1/6로 동작되어지는 것을 알 수 있다.

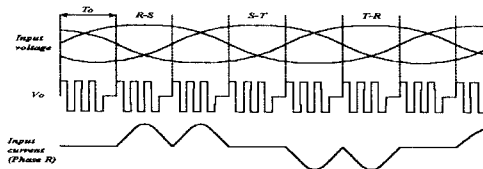


그림 5 입력전압에 대한 동기 PDM
Fig. 5. Synchronous PDM for input voltage

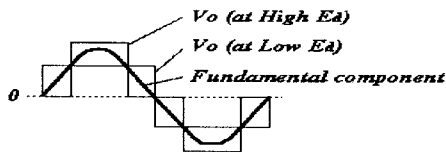


그림 6 PWM에 의한 전압제어
Fig. 6. Voltage control with PWM

PDM에 의한 전력제어를 하면 발생관 전압의 변동을 일정하게 유지하는 기능을 가지고 있지만 연속적이지 못하다. 하지만 펄스 폭변조 (PWM : Pulse Width Modulation) 제어를 이용할 경우 발생관 전압이 일정하면서 연속적으로 유지할 수 있다. 그림 6은 PWM제어를 이용한 전압제어를 나타낸 것이다. 그림 6에 나타난 것처럼 인버터 직류전압이 낮을 경우에는 출력전압의 펄스폭을 넓게 조절하며, 직류전압이 높을 때에는 펄스폭을 좁혀서 기본과 성분을 일정하게 할 수 있다. 그림 7과 그림 8은 본 연구에서 사용된 고주파 변압기의 기본 설계사항을 나타낸 것이다.

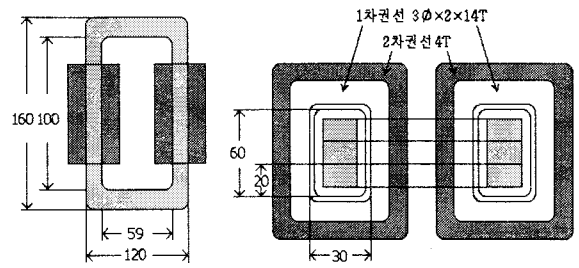


그림 7 고주파 변압기 철심 조립도
Fig. 7. Assembly drawing of iron core in high frequency transformer

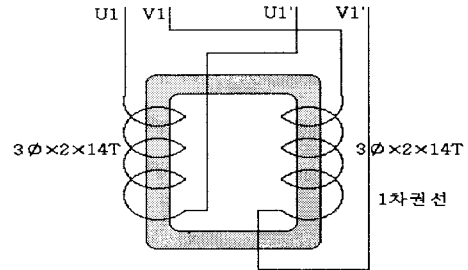
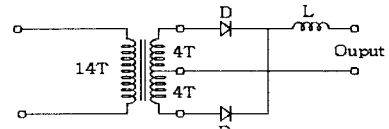


그림 8 1차권선의 권선방법
Fig. 8. method 1st

3. 시뮬레이션 파형 및 검토

제안한 회로의 시뮬레이션에 사용된 회로 정수는 표 1과 같다. 제어스위치는 가변저항 스위치로 가정하고, 그 외 소자는 이상적인 소자로하여 PSpice9.1에 의해 시뮬레이션 하였다.

표 1 시뮬레이션에 사용된 회로정수
Table 1 Circuit parameter using simulation

항목	값
3상 입력전압	180[V]~220[V]
관(Tube) 입력전력	0~1800[W]
출력 주파수	6.5[kHz]
변압비	263[V] : 2000[V]
캐리어주파수(f_r)	2,160[Hz]
변조도 $a (E_0/E_f)$	0.9
공진인덕터(L_r, L_p)	150[uH], 100[mH]
공진캐패시터 (C_r, C_w, C_g)	100[nF], 6000[pF], 9000[pF]
평활콘덴서(C_d)	2200[uF]
발생관 피크전압	7[kV]

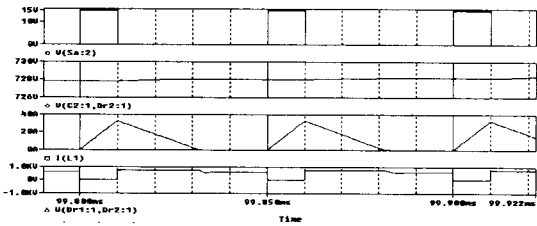


그림 9 직류 링크단의 부분공진 스위칭 파형
Fig. 9. The partial resonant switching waveform of DC-link

그림 9는 부분공진 승강압 스위칭시의 스위치에 흐르는 전류와 전압을 나타낸 것이다. 턴-온시 ZCS로 턴-오프시 ZVS로 동작하고 있음을 알 수 있다. 위상전이 풀브리지 인버터에서 고주파 변압기에 추가 삽입되어 있는 인덕터는 실제 불필요하지만 안정된 영전압 스위칭 동작 영역의 확보하기 위해서이다. 그림 10은 발생관 피크 전압지령값을 7(kV)로 설정하고 교류입력전압을 변화시켰을 때 인버터 출력 전압의 파형을 나타낸 것이다. 그림 11은 PDM 제어시 출력 전압 파형을 나타낸 것이다. 그림 12는 동기 PDM제어시의 입력 전압과 전류 파형 및 인버터 입력측의 전류 파형을 나타낸 것이다. 그림 13은 입력전압의 변화에 대한 발생관 전압의 값을 나타낸 것이다. 그림 14에서 알 수 있듯이 입력전압의 변환에 상관없이 발생관 피크전압은 거의 일정하게 유지된다.

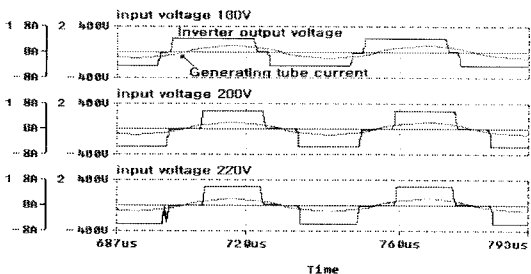


그림 10 인버터 출력전압의 파형
Fig. 10. Waveform of inverter output voltage

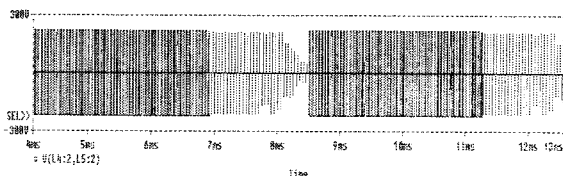


그림 11 PDM 제어시 출력파형
Fig. 11. Output waveform for PDM Control

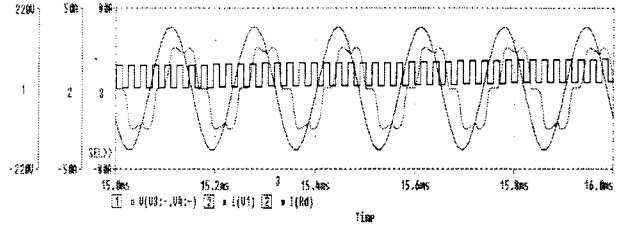


그림 12 동기PDM 제어시 입력전압과 전류 파형
Fig. 12. Input current waveform with synchronous PDM

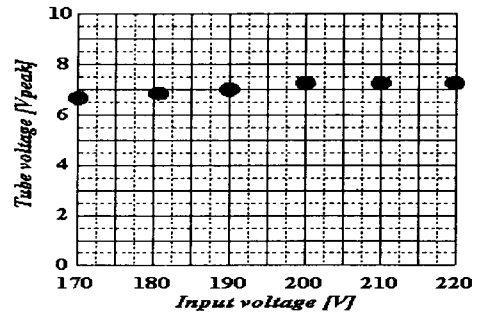


그림 13 입력전압에 대한 발생관 전압의 특성
Fig. 13. Characteristics of generation tube voltage for input voltage

4. 결 론

본 논문에서 제안한 시스템을 설계하여 적용하면 발생관의 파손사고에 의해 발생되어지는 과전류, 과전압을 억제하고 전기적으로 전 시스템의 보호제어, 고효율, 고역률 및 전자 노이즈 스위칭 손실의 저감화를 용이하게 할 수 있다. 그리고 고주파 고압트랜스를 소형화할 수 있다. 또한 오존 발생량에 상응하는 인버터의 출력전력을 넓은 범위에서 선형적으로 제어하여 비반전시에서 반전시로 이동할 때 회복전류펄스를 유지, 공급함으로써 오존 발생관의 전압상승의 응답속도를 높일 수 있다. 마지막으로 PDM과 PWM방식을 이용하여 전력 및 발생관 전압을 일정하게 제어할 수 있다. 이상에서의 모든 사항은 시뮬레이션에 의해서 그 타당성을 증명하였다. 그리고 제안한 회로를 오존발생을 위한 플라즈마 전원장치에 적용한다면 속성을 지닌 제어장치로 적절하게 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

이 논문은 2002년도 경남 대학교 부설 신소재연구소 연구비 지원에 의하여 씌어진 것임.

[참 고 문 헌]

- (1) K.Kit sum and Bruce W. Carsten, "Trends in High Frequency Power conversion", HFPC, pp.198~204, May, 1998
- (2) J.M. Meek, J.D. Craggs, "Electrical Breakdown of Gases", JOHN WILEY & SONS, 1978.
- (3) 日本電氣學會, "高周波用デバイス電力半導體 應用の技術動向" 電氣學會技術(II部) 第271號, pp.20~27, 1997
- (4) C. Blanco, "An Improved Electronic Transformer for Low Power Halogen Cycle Lamp", IEE IAS, Vol 1.3, pp, 1979~1983, 1944
- (5) 中村信幸 御所康七 遠藤正雄, "誘電體表面に現れるコロナ放電", ED-95-18
- (6) J.J. O'Dwyer, "The Theory of Electrical Conduction and Breakdown in Solid Dielectrics", Clarendon Press, Oxford, 1973