

램프형 오존발생기용 Forward형 고압 펄스전원장치의 특성개선

김 경식*, 원 재선**, 김 동희**, 노 재균**, 남 승식*, 심 광열***
 경북전문대학*, 영남대학교**, 울산과학기술대학***

Characteristic improvement of the forward type high voltage pulse power supply for Lamp Type Ozonizer

Kyung-Sik Kim*, Jae-Sun Won**, Dong-Hee Kim**, Chae-Gyun Ro**, Seung-Sik Nam**, Kwang-Yeal Sim***
 Kyungbuk College*, Yeungnam University**, Ulsan College***

Abstract - This paper describes the forward type pulse power supply using a Power-MOSFET in the view of commercialization. The principle of basic operating and the operating characteristics of the forward type pulse power supply are estimated by the switching frequency, coupling factor and duty ratio. It is shown that theoretical and experimental results are in good agreement by comparing simulation and experimental results when a lamp type ozonizer can be used as a load. Also, experimental results indicate that the discharge and ozone concentration characteristics of the manufactured pulse power supply is more improved compare to the conventional pulse power supply(5). This proposed supply show that it can be practically used as a pulse power supply in various environment improvement facilities.

2. Forward형 고압 펄스전원장치

2.1 회로구성 및 회로해석

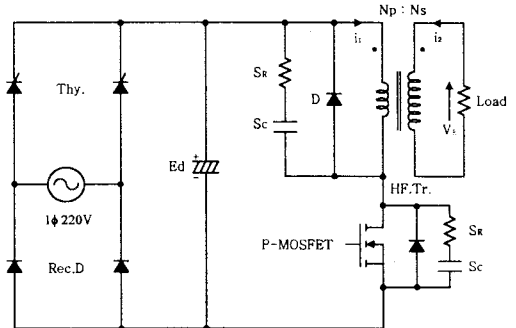


그림 1. Forward형 고압 펄스전원장치

1. 서 론

산업사회의 발달로 대기 및 수질오염 등이 리우환경 회의 이후, 심각한 국제환경 파괴 문제로 부각되고 있다. 국내에서도 화석연료의 연소시에 발생하는 대기 오염물질 등으로 인한 자연환경 파괴가 심각한 사회문제로 대두되고 있다. 환경오염물질의 제거나 발생저감을 위한 대책의 하나로 전기적 방전을 이용하는 오존화가스를 이용한 연구가 활발히 진행되고 있다[1-2].

전기적 방전을 발생시키기 위해서는 고압 펄스전원장치가 필요불가결하며 그 응용분야로는 환경정화뿐만 아니라 반도체의 고집적화에 따른 미세가공, 어류 양식분야 그리고 수술용 레이저 및 X-ray발생 등에 이르기까지 광범위하다[3].

고전압 대전류를 요구하는 종래의 고압 펄스 전원장치는 상용주파수 전원을 입력으로 하여 콘덴서의 충·방전 전압에 의한 고전압 발생기(Pulse Generator)가 일반적으로 사용되어 왔고, 이 장치는 외형이 크고 취급도 불편하고 가격면에서도 고가이다. 상술한 바와 같이 전기적 방전을 이용한 응용분야가 다양화 됨에 따라 펄스전원장치도 고전압·소전류용이 요구되고 있다.

최근에 전력용 반도체 스위칭 소자가 속속 개발 실용화 됨으로써 이를 이용한 고전압·소전류용 펄스전원장치도 소형·경량화가 가능하게 하였다

따라서, 본 연구는 상기의 연구배경을 기초로하여 상용화의 관점에서 회로구성이 간단하고 취급이 용이한 Forward형 펄스 전원장치를 제작하여 방전특성을 검토하였다. 또, Power-MOSFET를 스위칭 소자로 사용한 펄스 전원장치에 램프형 오존발생기(Lamp type Ozonizer)를 부하로 하였을 경우, 새롭게 제작한 장치의 방전전압 및 주파수 변화에 따른 오존생성농도 특성이 기존에 제작한 장치[5]에 비해 제특성이 개선되었음을 확인하였다.

그림 1은 본 논문의 연구대상회로인 Forward형 고압 펄스전원장치의 기본회로구성을 나타내고 있다. 회로구성은 스위치(Power-MOSFET), 스위치가 차단될 때 고주파변압기(HF.Tr.)의 축적에너지를 방출시켜주는 경로로 사용하는 환류다이오드(D) 그리고 입·출력 간에 절연뿐만 아니라 권선비에 의해서 출력전압값을 결정하는 고주파변압기로 구성되어 있다.

그림 1의 회로의 동작모드는 스위칭 소자와 다이오드의 온·오프에 따라 두 개의 동작모드로 분류되고 각 모드의 회로동작에 대한 회로상태방정식을 벡터-행렬 형태로 표현하면 식 (1)와 같다.

$$\frac{dX}{dz} = A \cdot X + B \cdot U \quad (1)$$

$$Y = C \cdot X$$

여기서, $X = [i_1(t) \ i_2(t) \ v_R(t)]^T$ $U = [1 \ 1 \ 0]^T$ 이고 각 모드별 A, B, C 는 다음과 같다.

Mode 1

$$A = \begin{bmatrix} \frac{L_2 R_1}{(M^2 - L_1 L_2)} & -\frac{M R_2}{(M^2 - L_1 L_2)} & -\frac{M}{(M^2 - L_1 L_2)} \\ -\frac{M R_1}{(M^2 - L_1 L_2)} & \frac{L_1 R_2}{(M^2 - L_1 L_2)} & \frac{L_1}{(M^2 - L_1 L_2)} \\ 0 & \frac{1}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix}$$

$$B = \left[-\frac{L_2 E_d}{(M^2 - L_1 L_2)} \quad \frac{M E_d}{(M^2 - L_1 L_2)} \quad 0 \right]^T$$

$$C = [0 \ 1 \ 0]$$

Mode 2

$$A = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{MR_2}{(M^2 - L_1L_2)} & -\frac{M}{(M^2 - L_1L_2)} \\ 0 & \frac{L_1R_2}{(M^2 - L_1L_2)} & \frac{L_1}{(M^2 - L_1L_2)} \\ 0 & \frac{1}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix}$$

$$B = [0 \ 0 \ 0]^T$$

$$C = [0 \ 1 \ 0]$$

그림 2는 출력펄스전압의 동작주파수(이하, f_{op} 로 칭함)가 3[kHz]인 경우, 이론해석을 통해서 얻은 무부하시 출력 펄스전압의 이론파형을 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이, 펄스출력전압은 14[kV]로 나타나고 있으며 스위치 턴·오프시에 링강현상이 일어나고 있다.

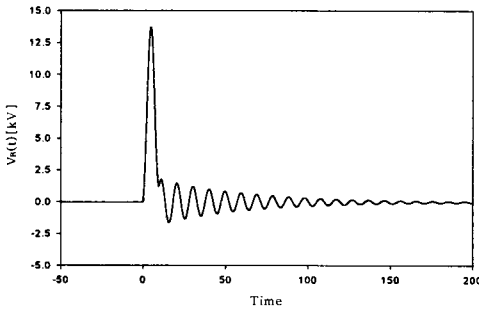


그림 2. 이론 파형

2.2 특성평가

그림 3은 f_{op} 를 3[kHz]로 고정하고 결합계수(κ)와 듀티비(D)를 변화시켰을때 스위치에 흐르는 최대 전류특성(i_{swmax} [A])을 나타내고 있다. κ 가 증가함에 따라서 스위치에 흐르는 전류가 증가하고 있음을 알 수 있다. 또한, 듀티비의 변화에 따라 스위치에 흐르는 전류가 증가하는 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이러한 특성은 주회로의 1차 전류는 $\frac{E}{L}t$ 로 주어지므로 듀티비가 증가하면 스위치의 도통기간이 길어지므로 스위치 전류에 흐르는 전류도 시간에 따라 비례적으로 증가하고 있다.

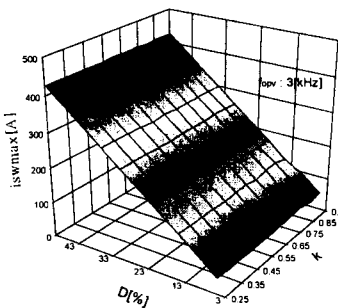


그림 3. 스위치 전류의 최대치 특성

그림 4은 f_{op} 를 3[kHz]로하고 결합계수(κ)와 듀티비 D[%]를 변화시켰을 경우의 무부하시 최대 출력 전압 특성을 나타내고 있다. 결합계수가 증가함에 따라서 출력전압이 증가함을 알 수 있다. κ 가 작아

짐에 따라 출력전압이 서서히 감소하는 것은 변압기 1차측으로 흐르는 전류에 의한 자계 에너지가 낮은 결합계수때문에 2차측으로 잘 전달하지 못하기 때문이다. 결합계수가 증가하면 밀결합 상태로 되어 누설자속이 감소하여 에너지 전달이 효율 좋게 되므로 출력전압은 증가하는 것으로 나타난다.

또한, 동일한 k일에 대하여 D[%]가 증가하여도 V_{Rmax} [V]의 변화는 거의 일어나지 않고 일정한 출력전압 값을 가지는 특성을 보여주고 있다.

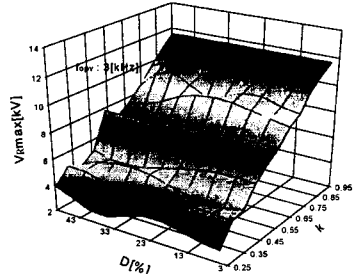


그림 4. 최대 출력 전압 특성

3. 고압 펄스전원장치의 제작

그림 1의 주회로 구성을 기본으로 하여 포워드형 고압 펄스전원장치를 제작하였다. 신호발생회로는 PLL 제어소자로써 VCO기능을 가진 MC14046을 사용하여 기준클럭을 발생시키고 있으며, MC14528의 $R_d \cdot C$ 시정수를 이용하여 듀티비를 변화시켰다. 드라이버회로는 High-Voltage control IC인 IR2110을 사용하여 구동신호를 증폭해 MOSFET의 온·오프 동작을 시키고 있다. 또한, 과전류로부터 스위치를 보호하기 위해 스위치에 흐르는 전류를 CT에 의해 검출하여, 기준값 (150[A])보다 클 경우에는 오차증폭기로부터 출력된 전압이 드라이버회로에 입력되어 Power-MOSFET의 게이트 신호를 발생하지 않도록 하였다. 고압펄스변압기의 권선배치는 1차권선은 병렬로 하여 대출력전류가 흐를 때 1차측의 누설인덕턴스를 격감할 수 있도록 하였고, 2차측권선은 직렬로 4분할설치하여 2차측의 표유정전용량을 최소화시켜 고속스위칭시 출력펄스전압의 링강현상을 가능한 억제시키는 구조로 하였다. 제작한 펄스전원장치에 사용한 소자 및 정격은 표 1과 같다.

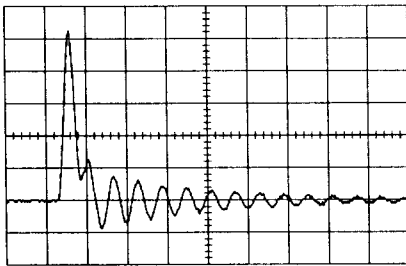
표 1 사용한 소자의 정격

	Using Devices	Rating
1	Power-MOSFET	600(V), 400(A)
2	Diode 600(V)	600(V), 100(A) × 4 (High speed)
3	Primary side	5T(3.5mm ²)
	Secondary side	195T(0.25mm ²)
4	Core	U type ferrite (High frequency)

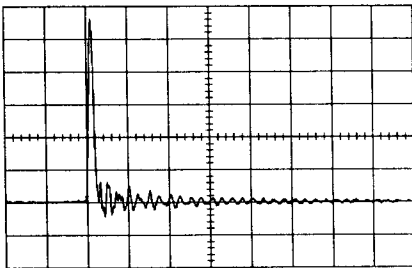
그림 5(a)(b)는 기존에 제작한 장치와 새롭게 제작한 장치를 통해 얻은 무부하시의 출력 펄스전압의 실측파형을 나타내고 있다.

그림 5(a)의 펄스출력전압의 퍼크치는 11[kV]로 나타나고 출력펄스전압이 최대값까지 도달하는 상승시간은 1.4~1.8[μs]이고 전압상승률(dv/dt)은 2~2.1(kV)/200(ns)이며 스위치 턴·오프시에 링강현상도 상당히 많이 일어나고 있으며 이는 변압기의 권선간의 표유정전용량에 기인한 것이다. 그림 5(b)의 출력펄스전압의 퍼

크치는 14[kV]이고, 출력펄스전압이 최대값까지 도달하는 상승시간은 0.48~0.65[μ s]이며, 전압상승률은 4.3~5.8(kV)/200(ns)로 양호한 펄스전압이 출력됨을 알 수 있다. 또한, 그림 5(b)의 부로 발생하는 최대출력 펄스전압도 1.1(kV)로 새로이 제작한 펄스전원장치가 효과적인 출력펄스전압을 나타내고 있음을 알 수 있다. 정의 고전압의 최대점에 이를때까지 생성되는 방전구간의 상승시간이 짧아지면, 기저상태로 돌아갈 가능성이 있는 여기 산소분자를 해리·전리하게 되어 그 결과 생성된 산소원자와 분자가 결합하여 오존이 생성된다. 그리고 부로 발생하는 전압의 크기가 감소하고 리셋타입이 짧아지면 오존의 재결합이 줄어들어 고농도·고효율의 오존을 얻을 수 있다. 무성방전에 의하여 발생된 전자가 산소원자, 산소분자 및 여기 산소분자와 충돌하여 오존을 생성하는 시간폭은 μ s로부터 ns로 갈수록 오존생성 효율이 높은 것으로 알려져 있다[3]. 또, 그림 2의 이론해석에 의한 이론 파형과 그림 5(b)의 실험파형이 동일한 경향을 보여주고 있으므로 이론해석의 정당성도 뒷받침하고 있다.



(a) 기존에 제작한 장치



(b) 새롭게 제작한 장치

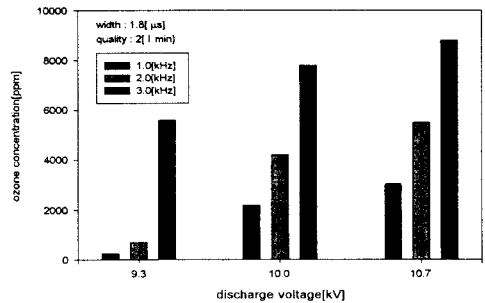
Voltage : 2500V/div, Time : 5 μ s/div

그림 5. 무부하시 출력 펄스전압

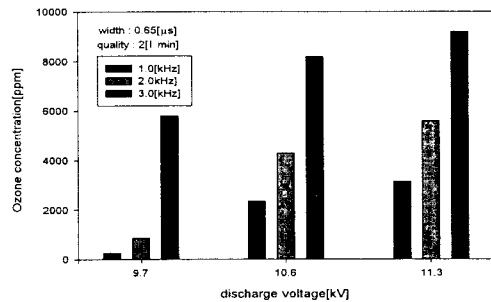
4. 오존 발생 시스템의 특성

제작한 고압 펄스전원장치와 응용부하로 사용한 램프형 오존발생기를 일체화하여 본 전원장치에서 출력되는 고압펄스전압의 주파수의 변화에 따른 오존생성농도특성은 기존에 제작한 장치를 이용하여 특성실험을 행할 경우와 동일한 조건하에서 검토하였다. 원료가스의 유량이 각각 2[l/min]일 때, 그림 6(a)는 기존에 제작한 장치와 새롭게 제작한 장치의 주파수 변화에 따른 방전 전압 및 오존생성농도 특성을 나타내고 있다. 그림 6(a)와 그림 6(b)를 비교하였을 때 각 주파수에서 방전 전압이 증가됨에 따라서 오존생성농도가 증가하고, 일정한 방전전압에 대해 주파수가 증가할수록 오존생성농도가 상승하는 경향을 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 이러한 경향은 주파수가 증가할수록 램프형 오존발생기의 gap에서 무성방전에 의하여 발생된 전자수는 무성방전의 발생빈도에 비례하게 되어 산소분자를 해리하여 오존을 생성하는 반응이 활성화되어, 오존 생성농도가 상승

하는 것으로 생각된다. 또한, 그림 6(b)가 그림 6(a)에 비해서 동일한 조건의 주파수에 대해서 방전전압이 증가하는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 고주파 고압 변압기의 설계 및 제작 시에 고압 변압기의 누설 인덕턴스와 표유 정전용량을 크게 줄일 수 있는 구조를 실현하였기 때문에 출력특성이 양호하게 나타난 것으로 생각된다.



(a) 기존에 제작한 장치



(b) 새롭게 제작한 장치

그림 6. 주파수에 따른 오존생성농도특성

5. 결 론

본 논문은 반도체 스위칭 소자인 Power-MOSFET를 사용하여 고전압·저전류용의 고압펄스전압을 발생하는 펄스전원을 상용화의 관점에서 제작하여 그 동작특성을 정량적으로 도식화 하였고 그 응용기술로는 오존발생기와 제작한 펄스전원장치를 일체화하여 출력펄스전압특성과 오존생성농도 특성 등에 대해 연구·검토하였다. 또한, 기존에 제작한 펄스 전원장치와 비교하여 하드웨어적으로 고주파 고압 변압기의 설계 및 제작 시에 고압 변압기의 누설 인덕턴스와 표유 정전용량을 크게 줄일 수 있는 구조를 실현하여 출력특성을 증대시켰다. 향후, 본 연구를 통해 개발한 펄스 전원장치는 대장균 살균, 표면살균, 탈색 및 NOx 가스제거 등과 같이 오존을 이용한 환경분야로의 활용이 가능할 것으로 기대된다.

(참 고 문 헌)

- [1] C. Blanco: "An Improved Electronic Transformer for Low Power Halogen Cycle Lamps", IEEE IAS, vol. 3, pp. 1979~1983, 1994
- [2] H. J. Song, K. S. Lee, "A study on the high voltage nozzle type ozonizer", 11th International Conference on Gaseous Discharge and Their Applications, vol. 2, pp. 320~323, 1995.
- [3] 杉光 英俊, "オゾン"의基礎と應用, pp. 281~316, 1996
- [4] 이형호, 김영배, "고전압·대전류 pulsed power의 이용기술", 전기학회 하계학술대회, DHO 14, pp.1678~1680, 1997
- [5] 김경식, 김동희, 이광식, 원재선, 송현직, "램프형 오존발생기용 Forward type 고주파 펄스 전원장치의 특성에 관한 연구", 한국조명·전기설비학회 논문지, pp.89~96, 3, 2000