

단상 하프브리지 인버터를 이용한 오존발생시스템 전원장치

유두희*, 박종문*, 정강률*, 문세호**
*순천향대학교 전자정보공학과, **오존웍스(주)

Power Supply of Ozone Generator using the Single Phase Half-bridge Inverter

Doo-Hee Yoo*, Jong Moon Park*, Gang-Youl Jeong*, Seho Moon**
*Dept. of Electronic Information Engineering, SoonChunHyang University
**OzoneWorks Co., Ltd.

요 약

본 논문은 오존발생시스템의 전원장치에 관한 것으로, 산업화가 가속화 되면서 이에 따른 오염물질을 정화하기 위해 오존(O₃)의 활용이 점차 증가하고 있으며, 오존발생시스템의 전원장치 또한 많은 연구가 진행되고 있다. 제안된 전원장치는 직류전압으로부터 교류전압을 얻는 가장 간단한 구조인 단상 하프브리지 인버터를 이용한다. 제안한 시스템의 이론적 해석과 동작원리를 보이며, 컴퓨터 시뮬레이션으로 구현하여 이론적 특성과 일치함을 통해 시스템의 성능을 증명한다.

1. 서론

최근 산업발전이 가속화 되면서 환경오염이 중요한 문제로 부각되었다. 특히 화석연료가 연소 시에 발생하는 오염물질로 인해 대기오염과 각종 하수도에 의한 수질오염들은 국민의 건강에 심각한 위협을 초래하고 있다. 이러한 오염물질들을 정화하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있는 가운데, 강한 산화력을 가지고 있어 오염물질을 산화하는데 이용되며 냄새나 색깔을 남기지 않는 오존(O₃)은 위와 같은 장점으로 그 활용범위가 증가하고 있다. 이에 따라 오존을 발생하기 위한 오존발생기 전원장치의 연구도 활발히 진행되고 있다. 하지만 종래의 장치는 회로가 복잡하고, 대형화로 인해 취급이 불편하고, 가격면에서도 증가하는 단점이 있다^[1-2].

본 논문에서는 종래의 시스템을 개선한 단상하프브리지 인버터를 이용한 오존발생시스템 전원장치를 제안한다. 간단한 구조인 단상하프브리지 구조를 가져 시스템의 크기를 소형화하여 또한 가격적인 면에서도 장점을 갖는다.

제안한 전원장치를 컴퓨터 시뮬레이션으로 구현하였고 이론적 특성과 일치함으로 시스템의 성능을 증명하였다.

2. 단상하프브리지 인버터의 동작 원리

단상하프브리지 인버터는 2개의 직류전압으로부터 교류전압을 출력으로 내보내어 부하에 공급하는 기능을 함으로써 DC전원에서 AC전원을 만드는 인버터로서의 기능을 갖는다. 그림 1은 이론적 단상하프브리지 인버터의 구조를 보인다. 두 개의 스위치 S₁과 S₂가 서로 상보적으로 스위칭하며 이것은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

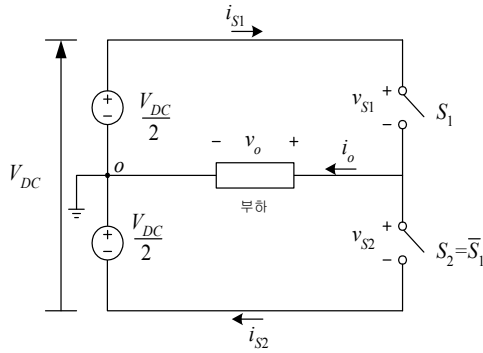
$$S_2 = \overline{S_1} = 1 - S_1 \quad (1)$$

그림 2는 단상하프브리지 인버터의 이론적 동작과형을 나타낸다. 스위치 턴온 상태에 따라 부하에 공급할 수 있는 출력전압의 크기는 다음과 같다.

$$v_o = \begin{cases} \frac{V_{DC}}{2} (S_1=1) \\ -\frac{V_{DC}}{2} (S_2=1) \end{cases} \quad (2)$$

위의 식(1), (2)을 사용하면 출력전압은 다음과 같이 나타낸다.

$$v_o = S_1 \left(\frac{V_{DC}}{2} \right) + S_2 \left(-\frac{V_{DC}}{2} \right) \\ = V_{DC} \left(\frac{1}{2} - S_2 \right) \quad (3)$$

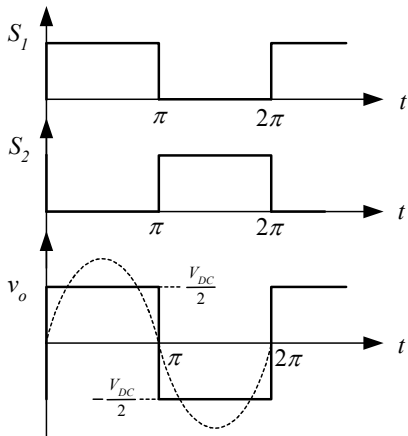


[그림 1] 기본적 단상하프브리지 인버터의 구조

부하에 공급되는 출력전류는 커패시터 C_1, C_2 의 병렬 접속을 통해서 흐르기 때문에 정상상태에서 직류 성분이 포함되지 않는다. 그림 1에서와 같이 스위치 S_1 턴 온 시 $i_{S1} > 0$ 값을 가지며 반대로 스위치 S_2 가 턴 온 시 $i_{S2} < 0$ 값을 갖게 되고 다음과 같이 나타낸다^[3].

$$i_{S1} = S_1 i_o \quad (4)$$

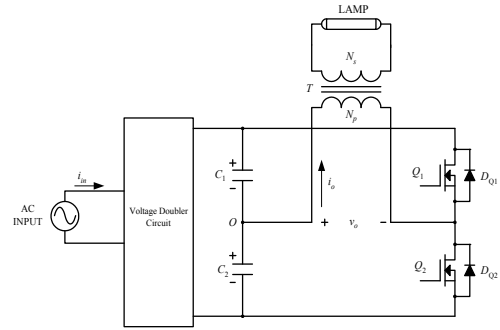
$$i_{S2} = S_2 (-i_o) \quad (5)$$



[그림 2] 단상하프브리지 인버터의 이론적 동작과형

3. 제안된 단상하프브리지 인버터

그림 3은 제안된 단상하프브리지 인버터를 이용한 오존발생시스템 전원장치의 회로도를 보인다. 종래의 오존발생 시스템의 전원장치는 입력전압을 고전압으로 승압하기 위한 고압변압기의 2차측 권선수를 증가시켜 동작하므로 전체시스템의 크기가 커지고 복잡해지는 단점이 있다. 이런 단점들을 개선하기 위해 상용 AC 전원에서부터 입력을 받아 인버터 전원을 형성하는 DC 전압을 승압시켜 고압변압기의 권선수를 감소시킨다.



[그림 3] 제안된 단상하프브리지 인버터 회로도

AC 220V/60Hz인 입력전압이 인가되고, 전압채배기(Voltage Doubler)를 이용하여 전압을 승압한다. 승압된 전압은 커패시터 C_1 과 C_2 에 분압 충전된다. C_1, C_2 는 점 O 에서의 전위가 항상 일정하게 유지된다고 말할 수 있을 만큼 용량이 충분히 커야한다. Q_1, Q_2 는 전력반도체스위치이며, D_{Q1}, D_{Q2} 는 바디다이오드이다. 1차측 전압은 변압기 T 를 통해 2차측으로 유도된다^[4].

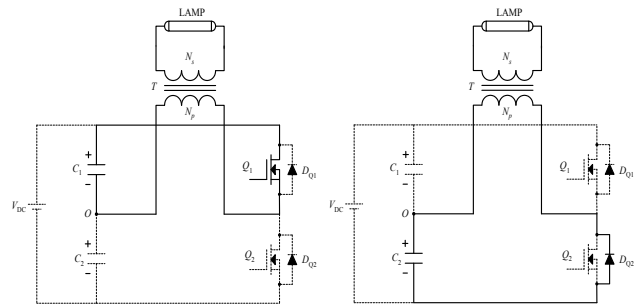
그림 4는 제안된 단상하프브리지 인버터의 간략한 동작모드를 보인다. 스위치 Q_1, Q_2 의 제어상태와 부하 전류의 방향에 따라 4가지 동작모드를 갖는다. 각 모드설명은 다음과 같다.

모드 1 : 스위치 Q_1 이 턴온되며, 출력전압은 $V_{DC}/2$ 가 인가되고이고, 출력전류 $i_o > 0$ 이므로 에너지는 C_1 에서 출력으로 전달된다.

모드 2 : 스위치 Q_1 이 턴오프되고, i_o 는 모드 1과 같은 방향으로 흐르며, Q_2 는 역방향전류가 흐르지 못하므로 Q_2 의 바디다이오드 D_{Q2} 가 도통된다.

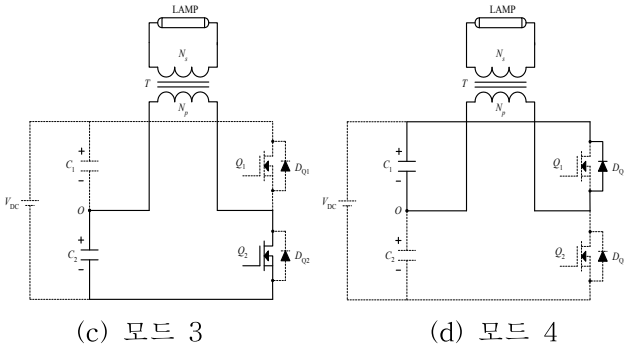
모드 3 : 스위치 Q_2 가 턴온되면서 출력전류 $i_o < 0$ 으로 전류의 방향이 바뀌게 되고, 에너지는 C_2 에서 출력으로 전달된다. 출력전압은 $-V_{DC}/2$ 가 인가된다.

모드 4 : 스위치 Q_2 가 턴오프되고, Q_1 에는 역방향의 전류가 흐르지 못하고 바디다이오드 D_{Q1} 이 도통되어 흐르게 된다.



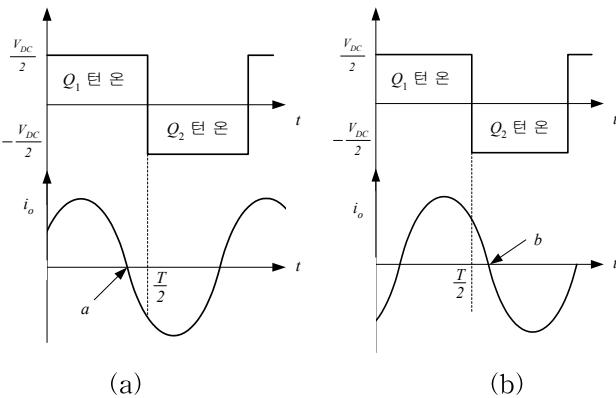
(a) 모드 1

(b) 모드 2



[그림 4] 제안된 단상하프브리지 인버터 동작모드

모드 1과 3은 전력공급모드이며, 모드 2와 4는 스위치의 바디다이오드를 통하여 전력이 회생되는 회생모드가 된다. 또한 모드 2와 모드 4는 스위치 Q_1, Q_2 가 모두 턴오프되어 제어불능인 상태가 되므로 이 기간을 가능한 작게 설정해야 한다. 그리고 그림 5와 같이 출력전류는 내부의 커패시턴스나 인덕턴스로 인해 지상(Lagging)이거나 진상(Leading) 상태가 나타난다.



[그림 5] 스위치 Q_1, Q_2 턴온/턴오프시 흐르는 출력전류파형

그림 5(a)의 경우는 진상전류가 나타나며 a점에서 역전류가 흐르게 된다. 그리고 $T/2$ 일 때 출력전압이 음의 전압이 나타나게 되므로 a점에서 $T/2$ 까지는 스위치 Q_1 의 바디다이오드 D_{Q1} 을 통해 전류가 흐르게 된다. 그림 5(b)의 경우는 지상전류가 흐르며, b점에서 역전류가 흐르게 되며 출력전압이 $T/2$ 일 때 양의 전압이 인가되므로 $T/2$ 에서 b점까지 Q_2 의 바디다이오드 D_{Q2} 를 통해 전류가 흐르게 된다. 위와 같이 출력전압 v_o 가 부하에 인가하면 부하의 특성에 따라 부하전류 i_o 가 정해진다.

그림 6은 단상하프브리지 인버터 출력측 시스템의 모델링 회로를 보인다.

[그림 6] 하프브리지 인버터 출력측 시스템 모델링 회로

위의 그림에서 고압변압기의 인덕턴스와 등가저항 및 직렬로 접속되어 있는 용량성 부하를 사용하여 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$L \frac{di_o}{dt} + Ri_o = v_o - v_c = v_L \quad (6)$$

$$C \frac{dv_c}{dt} = i_o - i_L \quad (7)$$

$$i_o = i_c + i_L \quad (8)$$

$$v_c = Z_L i_L \quad (9)$$

여기서, L, R 은 출력측 필터의 인덕턴스와 등가저항이며 C 는 용량성 등가 커패시턴스를 나타낸다. v_o 와 i_o 는 고주파 펄스 출력전압과 전류이며, i_L 과 Z_L 은 부하전류와 에너지를 나타낸다.

4. 컴퓨터 시뮬레이션 결과

제안한 시스템의 동작특성을 확인하기 위해 다음과 같은 조건으로 다음의 조건에 따라 INTUSOFT사의 IsSPICE를 사용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 하였다.

[표 1] 제안된 시스템의 설계사양 및 각 회로 파라미터

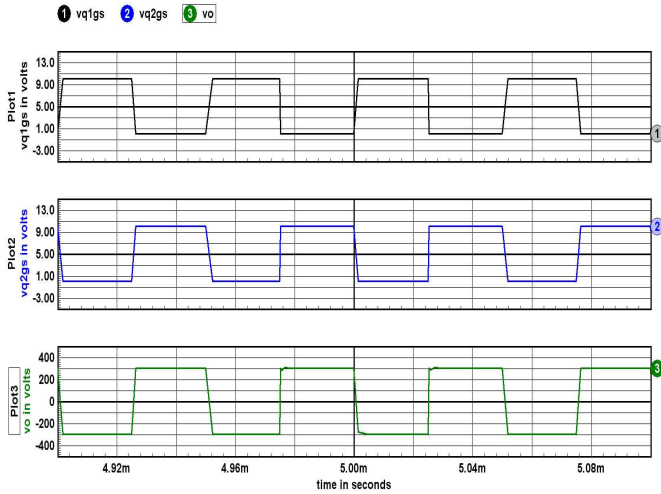
항목	값
AC 입력전압 $V_{in,rms}$	220V/60Hz
출력전압 $V_{o,rms}$	2kV
스위칭주파수 f_s	20kHz
권선비 $n (=N_s/N_p)$	10

그림 7은 저항부하일 경우를 설정하여 입력전압인가 시 스위치와 출력전압파형을 보인다. 출력전압이 구형파 형태로 인가된다. 그리고 실제의 오존발생시스템의 고압변압기와 필터인덕터를 앞의 그림 6과 같이 모델링하여 시뮬레이션 한 결과, 그림 8과 같이 정현파에 가까운 고압변압기 2차측 출력전압파형을 보인다.

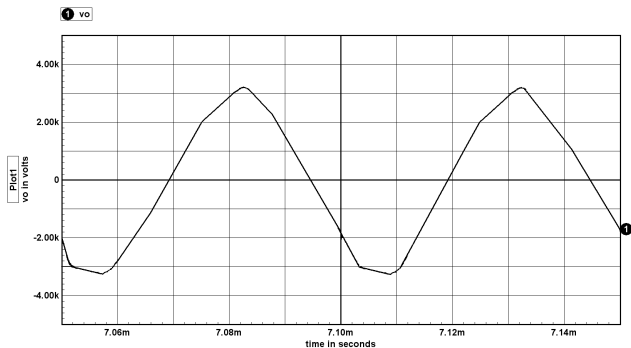
5. 결론

본 논문은 단상하프브리지 인버터를 이용한 오존발생시스템 전원장치를 제안하였다. 종래의 전원장치의 대형화와 높은 가격 면에 있어서의 단점을 개선하기 위한 제안된 단상하프브리지 인버터는 구조

가 간단하여 구현하기 쉽고 제작단가적인 면에서도 장점을 가진다. 제안된 시스템을 컴퓨터 시뮬레이션으로 구현하였으며, 이론적 파형과 일치함으로 시스템의 성능을 증명하였다.



[그림 7] 스위치 Q_1 , Q_2 의 게이트-소스와 드레인-소스 전압 및 출력전압 시뮬레이션파형



[그림 8] 제안된 오존발생시스템 전원장치의 고압변압기 2차측 출력전압 시뮬레이션 파형

참고문헌

[1] Blanco, C., Villegas, P.J., Lopez, E., Alonso, J.M.; Gonzalez, A., Fernandez, I., Rico, M., "An improved electronic transformer for low power halogen cycle lamps", Industry Applications Society Annual Meeting, Vol. 3, pp. 1979-1983, Oct, 1993

[2] Ben-Brahim, L. "The analysis and compensation of dead-time effects in three phase PWM inverters", Industrial Electronics Society, Proceedings of the 24th Annual Conference of the IEEE, Vol. 2, pp. 792-797,

Sep. 1998

[3] 노의철, 정규범, 최남섭, 전력전자공학, 문운당, 2003

[4] Alonso, J.M., Garcia, J., Calleja, A.J., Ribas, J., Cardesin, J., "Analysis, design, and experimentation of a high-voltage power supply for ozone generation based on current-fed parallel-resonant push-pull inverter", Industry Applications, IEEE Transactions on, Vol. 38, No. 5, pp. 1364-1372, Oct, 2005