

구형파 및 PWM 인버터 조합에 의한 오존발생용 인버터

박 노식*, 박 성준*, 원 태현**, 안 진우***, 김 철우†
 전남대 전기공학과*, 동의공업대 전기과**, 경성대 전기공학과***, 부산대 전기공학과†

The Invert for ozone generator by mixed square_wave and PWM

Noh-Sik Park*, Sung-Sun Park*, Tae-Hyun Won**, Jin-Woo Ahn***, Cheul-U Kim†

*Chonnam National University, **:Dong-Eui Institute of Technology, ***Kungsung University, † : Pusan National University

Abstract - Ozone gas is one of the strongest oxidizing and bleaching agents which leave no residues harmful to the global environment. In recent years, the ozone generator has been widely utilized, However, it has been known that a broader application of ozone is hindered primarily because of its low efficiency of generation. Thus, it is more indispensable to improve actual system efficiency of the silent discharge type ozonizer using high frequency inverter. This paper presents a multi level resonant ozone power regulation by association of high frequency transformers and full bridge invert. And proposed resonant inverter system can generate continuous output voltage. can control linearly quantity of ozone gas. This invert that add PWM forms within square forms of output voltage about one level range. The power regulation characteristics and operating performances of silent discharge (SD)type ozone generating tube load driven by this load proposed inverter using FET modules are illustrated from a practical point of view, which can operate under stable conditions of basic level and PWM hybrid control strategy implemented DSP(2406). The effectiveness of propped invert type ozonizer is proved by experiment results.

1. 서 론

최근 산업 사회의 급격한 발달과 함께 진행되는 환경파괴는 국제적 문제로 심각하게 대두되고 있다. 이로 인하여 오염된 환경을 정화하기위해 여러 가지 방법을 사용하고 있다 그 중 불소 다음으로 산화력이 강한 천연물질 오존을 이용하는 응용기술이 광범위하게 이용되고 있으면 앞으로 그 응용범위가 상당할 것으로 예상되며 국내외적으로 연구가 활발히 진행되고 있다.[1][2] 오존을 얻기 위한 방법으로 기체방전원리를 이용해 비교적 효율이 좋고 고농도의 오존을 만들 수 있는 연면방전방식을 적용한 무성 방전형 오존발생기가 주로 사용되고 있으며 방전효과를 얻기 위해서는 고압 펄스전원장치가 반드시 필요하고 이들 전원장치는 반도체의 고집적화, 고정밀세 정작업 등 그 응용분야가 광범위하다.[3][4] 고압 펄스전원장치 중에서 고전압 대전류를 요구하는 대용량은 아직 일반적으로 콘덴서의 충, 방전을 이용한 고전압발생기가 많이 사용되고 있으나 고압변성트랜스의 외형이 크고 효율적인 측면이나 경제적인 측면 그리고 취급의 불편함 등이 많이 내재되어 있어 보다 경제적이면서 작고 취급이 용이한 전원장치를 개발하기위한 연구도 지속적으로 진행 되고 있다.[5][6][7]. 그 방편의 하나로 펄스전원회로의 고주파화인데 소용량 쪽에는 공진형등의 인버터를

사용하여 상용화 한 예가 있으나 대용량 쪽에는 아직 만족할 만한 전원장치가 상용화된 예는 아직 보고 되지 않고 있다. 본 연구에서는 대용량의 오존발생장치를 제작하는데 있어 필수적인 고압 대전류의 고압펄스전원장치인 인버터 회로의 방전주파수를 고주파화 하여 고압변성트랜스의 크기를 소형화 시키면서 오존발생량을 정밀하게 조절할 수 있는, 그리고 안정된 동작을 할 수 있는 회로를 새로이 구성하여 제안하고, 제안회로의 동작 및 성능을 실험을 통하여 그 타당성을 검토하고 검증하였다.

2. 구형파 및 PWM 인버터 조합에 의한 오존발생용 인버터

2.1 일반적인 오존발생기용 인버터

그림 1은 H-Bridge 인버터와 변압기 그리고 등가된 방전관이 결합된 일반적인 오존발생기용 인버터 회로를 나타낸 것이다. 인버터의 출력전압 V_t 는 스위치소자의 ON, OFF에 따라 $+Ev$, $0v$, $-Ev$ 의 3가지 전압으로 나타날 수 있으며 변압기는 주로 승압형 변압기가 사용되고 있다. 1차 측과 2차 측의 변압비가 a 이고 1차 측 권선저항과 누설인덕턴스가 무시될 정도로 작다면 V_t 는 $+aEv$, $0v$, $-aEv$ 가 될 것이며, 그림 1과 같은 등가회로를 가지는 방전관에서의 오존발생량(N_o)은 방전관의 Air Gap, 유리벽의두께, 폭, 방전관의 기하학적 구조 및 기체의 상태에 의해 결정되어지며 변압비 a 도 이와 같은 방전관의 복합적인 특성에 따라 결정되어진다. 이 상태에서 오존발생량(N_o)을 식을 나타내면 다음 식으로 주어진다.

$$N_o = KS \left(\frac{V_t}{K_g} - V_z \right) \quad (1)$$

- K : 실험적인 비례상수
- A : 전극의 유효면적
- K_g : Air Gap 및 유전체의 Gap
- V_t : 변압기의 2차 전압
- V_z : 방전유지전압

(1)식에서 보듯이 오존 발생량은 두 전압원을 사이에 둔 상태에서 고주파형 구형파 인버터로 오존 발생량을 선형적으로 제어하기는 쉬운 일이 아니다.[8]

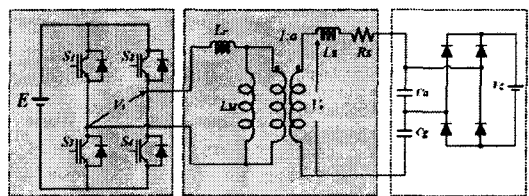


그림 1 일반적인 오존발생기용 인버터
 Fig 1 Conventional Invert for Ozone generation

2.2 제안된 오존발생기용 인버터

본 논문에서는 대용량하면서도 오존발생량을 보다 정밀하고 선형적으로 제어하면서 안정된 동작을 구현하기 위하여 구형파를 기본으로 PWM형태의 파형을 더하여 2차 방전전압을 제어하는 인버터를 제안하며 구성도를 그림 2에 나타내었다. 또한 고압트랜스제작에 있어 가장 큰 문제점인 2차동선간에 걸리는 내압을 줄이기 위하여 그림 2와 같이 5개의 트랜스로 나누어서 2 차동선 간에 걸리는 최대내압을 분할하여 고압트랜스의 최대불량요인을 감소시켰고 고압부위의 수지몰딩작업의 필요성을 없애 작업공정도 단순화 할 수 있게 될 것이다. 1차권선부도 대용량시 동선이 굵어 작업에 상당히 힘이 들었으나 트랜스별로 동일 권선비를 적용함으로써 부하분담이 이루어져 동선의 굵기가 줄어들어 권선작업 또한 용이하게 될 것이다.

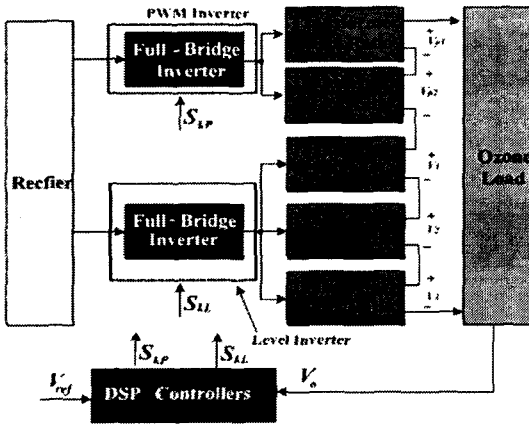


그림 2 제안된 구형파 및 PWM인버터의구성도
Fig 2 Block diagram of Proposed Inverter

그림 2에서 나타냈듯이 5개의 트랜스를 다시 2개의 H-Bridge를 사용하여 그림 3에서와 같은 형태의 제어신호가 될 수 있도록 Level Invert에는 방전관의 최소방전전압(V_2)을 유지할 수 있도록 펄스폭을 선택하여 반복적이면 일정한 구형파형태의 출력전압이 나올 수 있도록 구형파제어신호(S_{KL})를 보내 주고 1개 또는 2개의 트랜스를 사용하여 방전전압이 연속으로 유지 할 수 있도록 주어진 오존량을 생산하고자 하는 제어신호(V_{ref})에 맞추어 PWM신호(S_{KP})를 PWM Invert로 공급한다.

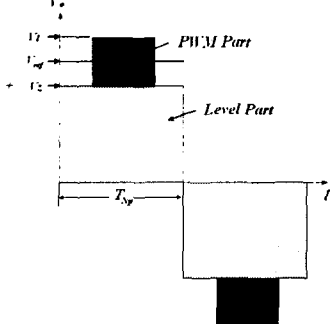


그림3 인버터의 지령전압 및 변압기 출력전압 파형
Fig 3 Reference and Output Voltage of Proposed Invert

그림 4는 본 실험에 사용한 방전관의 사진 및 구조도를 나타내고 있다. 압출한 알루미늄성형품 내부에 유리관을 넣어 알루미늄과 유리관사이에 공극이 생기도록 고정을

시켰으며 유리관 내부에 스프링형상의 텅스테 재질의 전극을 넣어 이 전극과 알루미늄몸체 사이에 고압펄스를 가하는 동축원통형 방전관으로 공극사이에 공기를 통과시키면서 고압펄스를 발생시키면 오존이 생산되는 고효율방식이며 실험에 사용된 방전관은 약 1kVA정도의 방전전력용량을 가지는 방전관이다.

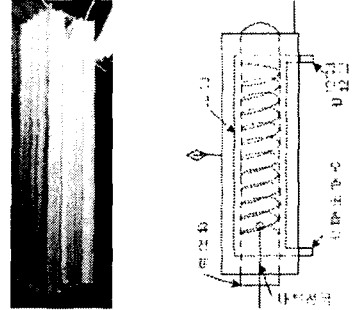


그림 4 방전관 사진 및 구조도
Fig 4 The structure of ozone generating tube

그림 5는 이번에 제안된 인버터의 간략한 회로도이며 회로도에 의하여 제작된 인버터가 그림 6에 사진으로 나타내었다. 회로는 단상 220V AC를 받아 브릿지 다이오드를 거쳐 정류된 DC전원이 두개의 H-bridge회로의 링크단 전원으로 사용되고 있으며 스위칭소자를 구동하기 위하여 방전에 의한 노이즈를 차단하기 위하여 Photo coupler를 사용한 Gate Drive단 있다. 이들 Gate신호는 DSP(2406)에 의해 제어된다. 고압펄스트랜스는 사진에서와 같이 U자형 페어라이트재질의 코어를 사용하여 1차는 병렬, 2차는 직렬로 구성되어 방전관의 양전극에 연결되었다. 콘트롤을 위한 전원은 노이즈에 강한 리니어 Type으로 설계하여 부위별로 절연된 전원을 공급하였다.

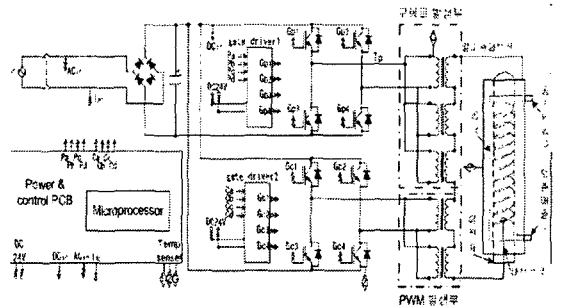


그림 5 제안된 인버터회로
Fig5 Proposed Invert circuit

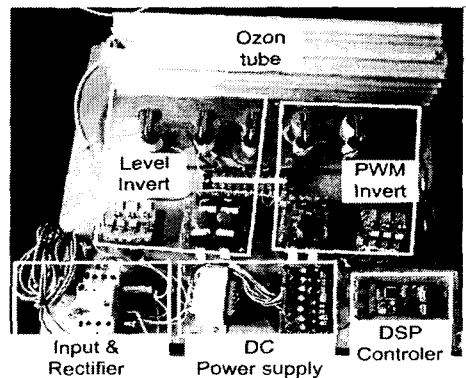


그림 6 실험용으로 제작된 제안된 인버터사진
Fig 6 The photographic of proposed invert for test

2.3 시뮬레이션 및 실험

그림 7은 본 논문에서 제안한 인버터 동작에 대하여 시뮬레이션 한 것으로 트랜스출력전압파형(a)을 보면 방전 유지전압 위에 PWM제어를 위한 파형이 나타나는 것을 알 수 있으며 방전이 시작된 방전관에 거리는 전압 및 전류를 보면 파형의 형태가 크게 변화되어 가는 것을 알 수 있다.

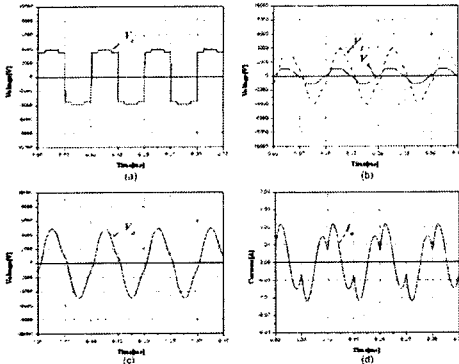


그림 7 시뮬레이션 결과

- (a) 변압기 출력전압 (b) 방전관내부 콘덴서 인가전압
- (c) 방전관 입력전압 (d) 방전관 전류

Fig 7 Simulation result

- (a) Output voltage of transformer
- (b) Apply voltage of capacitor at ozone tube
- (c) Input voltage of the ozone tube
- (d) Input voltage of the ozone tube

그림 8의 (a)는 Level Invert의 기본주파수를 5kHz로 고정시키고 PWM Invert를 제어함으로써 출력전압이 서서히 안정되게 증가되어 가는 것을 나타내 것이며 1 사이클에 두개의 봉우리가 나타나는 것은 방전관 내부이 C에 의해 공진이 되지 못하고 있는 현상을 나타낸 것이다. 즉 이방전관과 스위칭주파수가 맞지 않다는 것을 알 수 있었다. (b)는 Level Invert의 기본주파수를 10kHz로 고정한 상태에서 PWM Invert의 전압을 조정하여 방전전력을 조정한 실험파형이다. 파형에서 알 수 있듯이 전체 전압을 조정하지 않고도 방전전류가 거의 선형적으로 증가되어 감을 알 수 있으며 이는 방전전력이 증가 되고 방전관 내부에 방전개소가 증가한다는 것을 알 수 있게 한다. 육안 확인 시에도 방전 시에 발생하는 자색의 방전띠 색깔이 점점 짙어짐을 알 수 있었다. 또한 전압을 조정하는 과정에서도 파형의 일그러짐이나 흔들림이 전혀 포착되지 않아 안정적인 동작이 진행됨을 알 수 있었다.

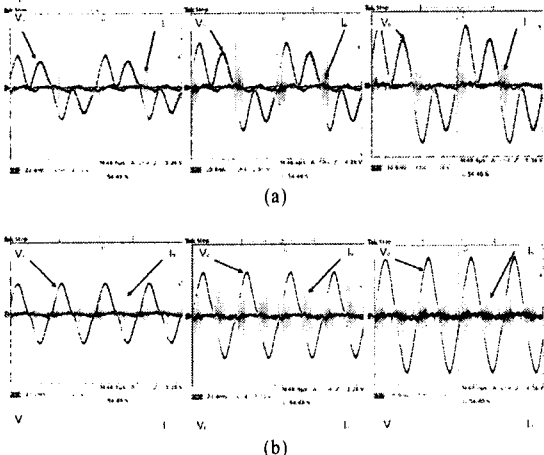


그림 8 PWM인버터의 조정에 의한 출력전압 및 전류

- (a) 기본스위칭주파수 : 5kHz
- (b) 기본스위칭주파수 : 10kHz

Fig 8 Output Voltage and Current by adjusted PWM Invert

- (a) Switching frequency of Level Invert : 5kHz
- (b) Switching frequency of Level Invert : 10kHz

3. 결 론

본 논문에서는 구형파 및 PWM 인버터를 조합한 새로운 방식의 고압펄스발생장치에 대하여 제안하였다. 제안된 인버터는 혼합형 인버터의 한 종류로서 큰 용량의 오존발생장치를 제작하는데 있어 고압펄스발생전원장치인 인버터를 보다 안정되게 쉽게 제작할 수 있어 상용화에 적합하다는 것을 시험을 통하여 그 타당성을 입증하였다.

1. 모든 전원장치가 그렇듯이 부하인 방전관의 구조나 특성에 따라서 방전에 관련된 제반 특성이 달라지기 때문에 적용되는 전원장치도 회로의 시정수가 많이 조정 되어야 한다. 그러나 제안된 회로의 경우 구형파발생부(Llevel Invert)에서 펄스폭과 주파수를 수동으로 조정하여 방전개시전압에 도달케 하고 전압제어는 PWM Invert부에서 함으로 사용되는 부하에 따라 세팅이 쉬워 방전관의 종류나 크기에 상관없이 적용범위가 넓어 질 것으로 생각된다.
2. 고압펄스트랜스의 2차권선부에는 용량이 높을수록 코일 간에 걸리는 내압에 대한 스트레스가 증가한다. 트랜스설계의 특성상 용량이 올라 갈수록 권회수가 작아지고 동선이 굵어지는 설계의 특성에 의한 것으로 제안된 인버터에서는 동일한 권선비로 동일하게 부하분담이 가능하도록 트랜스를 여러 개 사용함으로써 코일의 시간과 종단에 걸리는 전압을 낮추는 효과를 가져옴으로서 절연파괴 현상이 대폭 줄어들어 단락에 의한 트랜스 불량원인이 대폭 해소 될 것으로 기대된다.
3. 고압트랜스의 제작에 있어 고압부에 절연강화를 위한 수지몰딩작업의 필요성이 없어져 작업공정 환경이 개선되고, 제조의 용이성, 생산성향상, 제품성능의 균일화 등으로 전반적인 원가절감의 효과도 가져 올 것으로 기대된다.

[참 고 문 헌]

- [1] R. Ouellet, M. Barbier, and P. Cheremisinoff, "Low Temperature Plasma Technology Application." Ann Arbor, Mi : Ann Arbor Science Publ., 1980
- [2] U. Kogelschatz, "Industrial Ozone Production", Proc. of Int. Ozone Symp., Switzerland, pp. 253-265, 1999
- [3] 이광식, 이동민, "氣體放電에 의한 오존생성과 그 應用" 大韓電氣學會 放電·高電壓(研), 學術發表會論文集, pp.32-35, 1992
- [4] 이형호, 김영배, "고전압·대전류 pulsed power 의 이용기술", 전기학회 학술대회, DHO 14, pp.1678-1680, 1997
- [5] Shengpei Wang, "A Novel Silent Discharge Type Ozonizer using Pulse Density Modulated High Frequency Invert", Proc., of the 1999 IEEE Industry Applications Meeting Vol 2, pp.764-772, 1999.
- [6] Masanori Hara and Hidenori Akiyama, " High Voltage Pulsed Engineering", 1991
- [7] Jae Sun Won, Kyeong Sik Kim, Dong Hee Kim, Kwang Sik Lee, et al, "Characteristics of the forward type high voltage pulse power supply for lamp type ozonizer", IEEE PCC, Vol. 1 pp.100-103, April, 2002
- [8] R. Fang, G. S. P. and S. Jayaram "automated System for Power Measurement in the Silent Discharge," IEEE Trans on Ind App. Vol. 34 No 3, May, 1988