

DBD 플라즈마 공기청정기를 위한 펄스 전원 입력 인버터 회로 개발

황훈하, 전형근, 오현준, 이용휘, 노정욱
 국민대학교 전자공학과

Development of a pulse input inverter circuit for plasma air cleaner

Hoon Ha. Hwang, Hyeong Geun. Jeon, Hyeon Jun. Oh, Young Hwi. Lee, Chung Wook. Roh
 Dept. of Electronics Engineering, Kookmin Univ.

ABSTRACT

차량 또는 실내에서 사용되는 대부분의 공기청정기는 미세먼지(PM 또는 PM)를 필터만 이용해서 정화하기 때문에 일정 시간 사용하게 되면 필터를 교체해야 하고, 필터를 청소한다고 해도 점점 성능이 저하되어 교체만 한다. 이러한 점이 개선된 플라즈마 공기청정기의 경우 필터 공기청정기에 비해 소비전력이 크다는 문제가 있다. 본 논문에서는 기존 플라이백 컨버터를 이용한 플라즈마 구동이 아닌 단일 스위치 무손실 인버터(국민대 보유기술)와 펄스 전원(맥동 전압) 인가를 통한 플라즈마 구동 방식을 제안하고, 기존 DBD 플라즈마 방식이 아닌 자력을 이용한 DBD 플라즈마 리액터의 사용을 제안한다. 그리고 실제 실험 및 측정을 통해 제안 방식의 실효성을 검증하였다.

한 오존이 많이 생성되는 문제점이 있기 때문에 DBD 플라즈마 방식을 채택하여 오존 생성량을 적게하고 살균, 탈취 효과를 크게 증가시킨다. 그리고 DBD 플라즈마는 펄스 입력으로 구동하는데 이는 같은 소비전력 대비 출력 전압의 최대치가 높아서 효과가 좋은 장점이 있다. 따라서, 본 논문은 DBD 플라즈마 공기청정기를 구동하기 위한 펄스 회로를 부스트 컨버터와 타이머555를 이용하여 만들고, 이를 단일 스위치 무손실 인버터^[5]를 입력으로 인가하여 2~4kV의 펄스 전압으로 DBD 플라즈마 리액터를 구동하는 회로를 제안하고자 한다. 그래서 DC 입력으로 사용하여 구동했을 때보다 소비전력 대비 출력 전압의 최대치를 크게 만들어 청정 능력의 향상을 검증한다.

1. 서 론

대기 중에 떠다니거나 흩날려 내려오는 입자상 물질을 먼지라고 하며, 입자의 크기에 따라 총먼지(TSP, Total Suspended Particles)와 입자크기가 매우 작은 미세먼지(PM, Particulate Matter)로 구분된다. 미세먼지는 입자의 크기가 10 μ m 이하인 먼지 PM-10과 입자의 크기가 2.5 μ m 이하인 PM-2.5로 구분된다.

미세먼지(PM₁₀, PM_{2.5})와 관련된 건강 장애 관련 연구가 진행 중이며, 다양한 방법을 통해 진행된 연구는 사망률의 증가, 심혈관계 영향, 호흡기계 영향, 암의 증가 등에 대한 관련성이 공통적으로 나타나고 있다^[1-3].

또한, 우리나라 및 동아시아 국가들의 급격한 산업화로 인해, 미세먼지 발생과 함께 빈번한 시계의 장애 현상이 나타나, 미세먼지에 관심이 더 커지고 있고^[4], 문제를 해결할 필요가 있다. 또한, 2019년 국내 자동차 대수는 2300만 대를 돌파했고, 인구 2.2명당 1대꼴로 자동차가 등록되어있다. 그만큼 자동차 이용 인구가 많아졌기 때문에 차량 실내로 유입되는 미세먼지를 관리가 필요하다. 차량/실내의 공기를 정화 시키기 위해 다양한 연구가 진행되고 있으며, 많은 방식은 필터만 이용한 방식을 채택해 미세먼지를 대비하고 있지만, 필터를 주기적으로 교체해줘야 하고 세균과 곰팡이 등의 살균에는 영향을 못 미치는 문제가 있다. 따라서, 고안된 방법으로는 코로나 방전을 통해 음이온을 생성시킴과 함께 차량 내부에 존재하는 오염원을 이온화 시켜 집진하고, 미량의 오존을 발생시켜 냄새 제거를 하는 방법이 있다. 하지만, 자외선 생성량이 적고 인체의 유해

2. 펄스 전원 입력 단일 스위치 무손실 인버터

2.1 펄스 전원 공급을 위한 전력변환회로

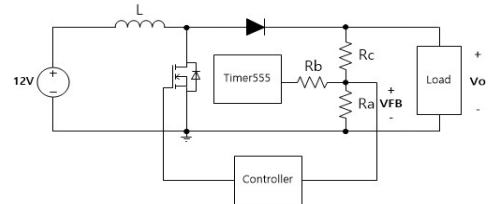


그림 1 부스트 컨버터를 이용한 펄스 전원 생성 회로

펄스 전원 공급 회로는 부스트 컨버터와 타이머 555를 이용하여 그림1과 같이 구성되어있다. 입력은 12V이고, 출력은 펄스를 만들기 위해 부하에 병렬로 저항과 타이머 555를 연결하여 펄스 전원을 공급한다. 따라서, Vo를 펄스로 만들기 위한 R_a , R_b , R_c 의 관계를 알아보면 식(1-3)과 같다. 여기서 V_{max} 는 타이머 555의 출력이 High일 때 출력 전압, V_{min} 은 타이머 555의 출력이 Low일 때 출력 전압이다.

$$K_{MAX} = V_{MAX} - V_{FB}, K_{MIN} = V_{MIN} - V_{FB} \quad (1)$$

$$R_a = \left(1 + \frac{V_{FB} - V_{FB}}{K_{MIN} - K_{MAX}}\right) \frac{R_c V_{FB}}{K_{MAX} + \left(\frac{V_T - V_{FB}}{K_{MIN} - K_{MIN}}\right)} \quad (2)$$

$$R_b = \frac{V_{FB} + \frac{V_T - V_{FB}}{K_{MIN} - K_{MIN}}}{\frac{V_{FB} - V_{FB}}{K_{MIN} - K_{MIN}}} R_c \quad (3)$$

2.2 펄스 전원 공급을 위한 전력변환회로 실험

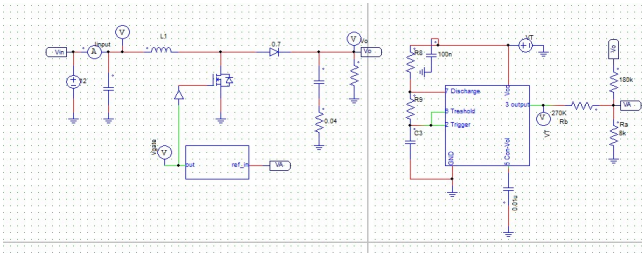


그림 2 부스트 컨버터를 이용한 펄스 전원 생성 회로[PSIM]

그림2는 부스트 컨버터와 타이머 555를 이용하여 펄스 전원 생성 회로를 시뮬레이션으로 구현한 것이다. 식(1)-(3)을 바탕으로 R_a , R_b , R_c 를 설계하여 파라미터를 정해주었다. 파라미터는 아래의 표1에 표시했다.

표 1 시뮬레이션에 사용된 파라미터
Table 1 Values of the system parameters for simulation

실험 조건			
Input Voltage		12V DC	
V_{max}	30V DC	V_{min}	20V DC
R_a	8.2k Ω	R_b	160k Ω
R_c	180k Ω	V_T	9 DC

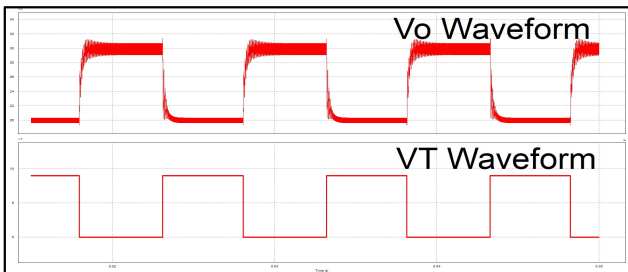


그림 3 펄스 전원 생성 회로 모의실험 파형

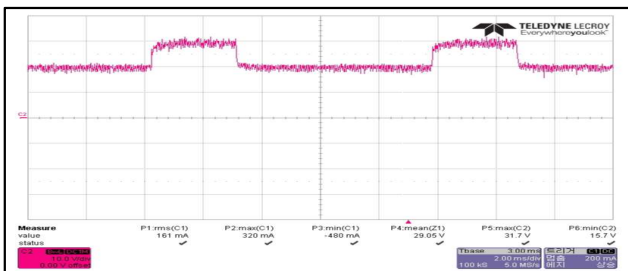


그림 4 펄스 전원 생성 회로 실험 파형

그림(5)-(6)을 통해 식(1)-(3)에서 설계한 저항 값으로 실제 /PSIM 부스트 컨버터의 출력 전압이 20V에서 30V의 펄스 전압으로 출력되는 것을 확인했다. 타이머555의 스위칭 주파수는 100Hz로 동작했고, 듀티는 시뮬레이션은 50%, 실제 실험은 30%로 실험했다.

2.3 펄스 전원 입력 단일 스위치 무손실 인버터

그림7은 펄스 전원 입력 단일 스위치 무손실 인버터 회로이다. 입력 전원을 펄스로 2.1-2.2절에서 설계한 펄스 전압이 이 회로의 입력으로 인가된다. 출력은 2~4kV로 펄스 입력이 Low일 때 2kV가 나오고, 펄스 입력이 High일 때 4kV가 나온다.

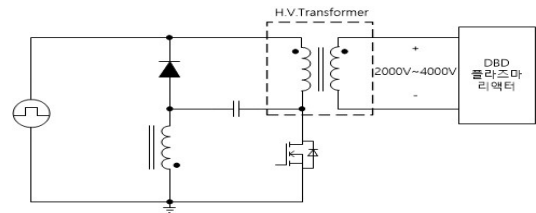


그림 5 펄스 전원 입력 단일 스위치 무손실 인버터 회로

2.4 펄스 전원 입력 단일 스위치 무손실 인버터 모의 실험

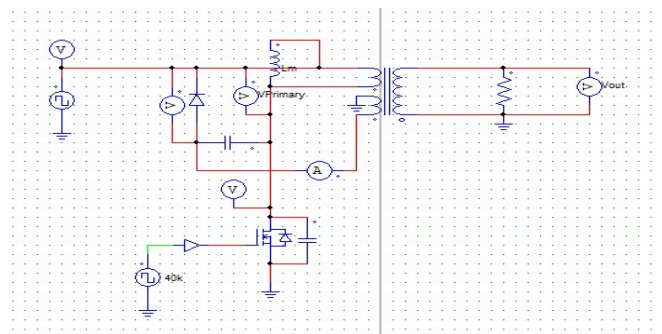


그림 6 펄스 전원 입력 단일 스위치 무손실 인버터

그림8은 펄스 전원 입력 단일 스위치 무손실 인버터 회로를 PSIM 시뮬레이션으로 나타낸 것이다. 모의실험 파라미터는 아래 표2에 나타내었다.

표 2 시뮬레이션에 사용된 파라미터
Table 2 Values of the system parameters for simulation

실험 조건			
Input Voltage		20V - 30V Pulse	
Trun ratio	8 : 8 : 1350	fsw	40kHz
Switch Duty Cycle	0.4	V_o	2kV - 4kV

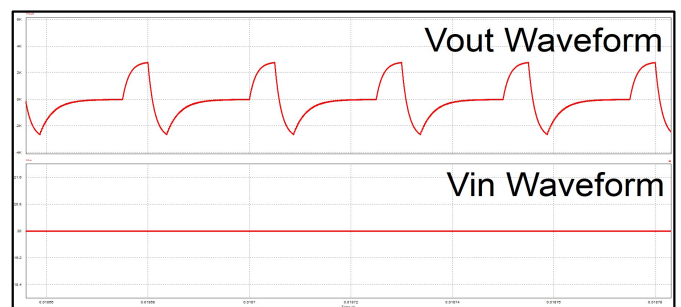


그림 7 $V_{in} = 20V$ 일 때 단일 스위치 무손실 인버터 출력 전압 파형

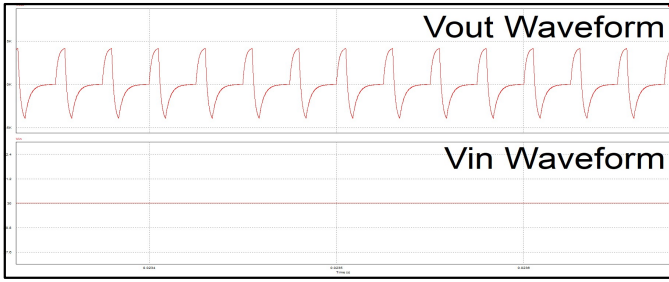


그림 8 Vin = 30V일 때 단일 스위치 무손실 인버터 출력 전압 파형

그림9, 10을 통해 단일 스위치 무손실 인버터의 출력 전압이 2kV - 4kV 범위의 맥동전압으로 나오는 것을 확인하였다.

2.5 PBA 구현 및 실험 결과

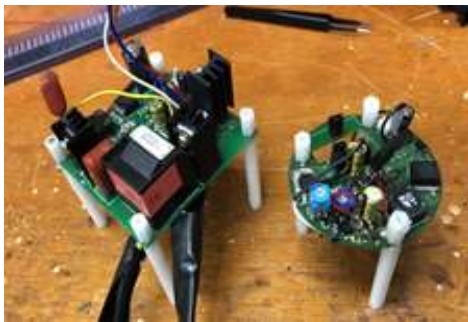


그림 9 펄스 전원 입력 단일 스위치 무손실 인버터

표 3 실험을 통해 측정된 입력 전류
Table 3 Input current measured by experiment

실험 조건			
DC 조건		Pulse 조건	
18V DC	0.53A	14.5V - 26V	0.54A
19V DC	0.58A	16V - 29.3V	0.56A
20V DC	0.63A	18V - 26V	0.63A
26V DC	0.74A	19.5V - 31.5V	0.78A

그림9는 본 논문에서 제시한 회로를 제작한 것이다. 표3은 같이 입력 전압에 따른 입력 전류를 표시한 것이다. 실험 조건은 타이머 주파수 100Hz, 타이머 듀티 50%, 스위칭 주파수 40kHz, 스위칭 듀티 20%로 진행했다. 같은 줄에 표시된 것은 입력 RMS가 같으며 입력 전류가 비슷한 것을 볼 수 있다. 따라서, 소비전력은 비슷하지만 출력 전압의 최댓값이 크기 때문에 플라즈마 생성량에 차이가 있어 정화 능력에서 차이가 있다.



그림 10. DC 전원 인가 후 실험 시행



그림 11. 펄스 전원 인가 후 실험 시행

3. 결 론

기존의 DBD 플라즈마 공기 청정기는 DC 전압을 인가하여 사용하였고, 적당한 양의 플라즈마 생성을 위해서는 소비전력이 커지는 단점이 있었다. 그 점을 보완하기 위해 본 논문에서는 펄스 전원 입력 단일 스위치 무손실 인버터를 제안했고, DC 전압 입력 대비 소비전력이 동일한 조건에서 단일 스위치 무손실 인버터의 출력 전압의 최댓값이 더 크게 나오기 때문에 미세먼지, 악취, 세균 등 대기 오염물질을 제거하는데 더 큰 효과를 얻을 수 있었다. 이러한 부분을 차량 및 실내 공기 청정기에 적용하면 같은 소비전력 대비 정화 능력을 향상시키고, 차량 및 실내 공기 질이 더욱 개선될 것이다. 또한, 많은 운전자들의 운전 환경이 개선되어 PM10, PM2.5, 악취, 오염물질등으로부터 운전자들을 보호할 수 있다.

본 연구 (주)가교테크의 연구비 지원과 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학CT연구센터지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2020-2018-0-01396). 또한, 본 연구는 'Non-Virus DBD플라즈마 소형 공기청정기' 이름으로 2020 기술사업화 역량강화 사업에 채택되었음 (A2020-0320).

참 고 문 헌

- [1] Dockery DW, Pope CA 3rd, Xu X, et al. An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *N Engl J Med* 1993;329:1753-1759.
- [2] Meng YY, Rull RP, Wilhelm M, Lombardi C, Balmes J, Ritz B. Outdoor air pollution and uncontrolled asthma in the San Joaquin Valley, California. *J Epidemiol Community Health* 2010;64:142-147.
- [3] Brook RD, Franklin B, Cascio W, et al. Air pollution and cardiovascular disease: a statement for healthcare professionals from the Expert Panel on Population and Prevention Science of the American Heart Association. *Circulation* 2004;109:2655 -2671.
- [4] 명준표 “미세먼지와 건강 장애” 대한내과학회지, 제91권 제 2호 2016
- [5] 강경수, 김상연, 김세민, 이정준, 노정욱 “Plasma Burner 구동을 위한 무손실 단일 스위치 인버터” 전력전자학회 학술대회 논문집, 2015.07, 201-202(2 pages)