

Plasma Burner 구동을 위한 무손실 단일 스위치 인버터

강경수, 김상연, 김세민, 이정준, 노정욱
국민대학교 전자공학과

Lossless Single-Switch Inverter for Plasma Burner Drive Application

Kyung Soo Kang, Sang Yeon Kim, Se Min Kim, Jeong sun Lee, Chung Wook Roh
Dept. of Electronics Engineering, Kookmin Univ.

ABSTRACT

기존 Plasma Burner용 인버터 구동회로의 경우, Full Bridge Inverter를 사용하기 때문에 소자수가 많고 스위칭 손실이 큰 문제점이 있다. 본 논문은 Plasma Burner 구동을 위한 무손실 단일 스위치 인버터를 제안한다. 기존 Full Bridge Inverter를 사용하는 Plasma Burner 구동회로의 경우에는 4개의 스위치를 사용하기 때문에 스위치 손실이 매우 크고, Heat sink 크기가 커지는 단점이 있다. 반면 제안된 Plasma Burner 구동을 위한 무손실 단일 스위치 인버터는 1개의 스위치를 사용하고, 스너버의 전력 손실이 최소화되기 때문에 전력 손실이 매우 작고 Heat sink 최소화 및 고효율화가 가능한 장점을 갖는다. 본 논문에서는 제안된 Plasma Burner 구동을 위한 무손실 단일 스위치 인버터의 이론적인 특성을 분석하고 모의실험을 통해 확인하였으며, 15W급 Plasma Burner에 적용하여 실험을 통해 우수성을 검증하였다.

1. 서론

최근 석유·천연가스 같은 화석 연료를 사용하여 발생하는 환경문제를 해결하기 위해 여러 분야에서 많은 연구가 진행되고 있다. 산업계에서는 화석 연료를 사용하여 발생하는 유해물질을 없애거나 줄이는 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는데, 특히 배기가스 및 유해물질을 다량 함유하고 있는 자동차 매연을 줄일 수 있는 매연 저감 장치에 관심을 기울이고 있다. 최근 매연 저감 장치에서는 Plasma Burner를 사용하여 매연 배출을 최소화 하고 있다. 따라서 Plasma를 발생시킬 수 있는 Plasma Burner 구동 인버터에 대한 많은 연구 개발이 이루어지고 있다. 현재 전장용 Plasma Burner 구동 인버터는 Full Bridge Inverter 회로가 주로 사용되고 있다. 하지만 스위치 4개를 사용하는 회로의 특성상 소자수가 많으며, 스위칭 손실이 커지기 때문에 효율이 감소되고 제작단가를 높이는 단점이 있다.

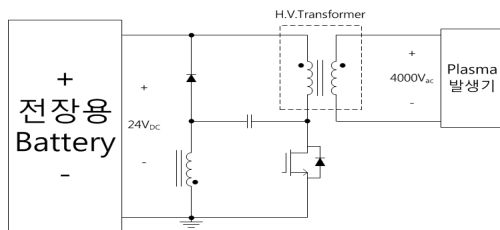


그림 1 제안된 Plasma Burner 구동용 무손실 단일 스위치 인버터 회로도
Fig. 1 Proposed Plasma burner driver lossless snubber Single-Switch Inverter circuit

따라서 본 논문에서는 스위치를 1개만 사용하여 스위칭 손실을 줄이고, 스너버 손실을 최소화 하였으며, Heat sink 크기를 최소화 하여 제작 단가를 낮출 수 있는 Plasma Burner 구동용 무손실 단일 스위치 인버터 인버터를 제안한다.

2. 제안된 Plasma Burner 구동용 무손실 단일 스위치 인버터

그림 1은 제안된 Plasma Burner 구동용 무손실 단일 스위치 인버터 회로이다. 제안된 회로는 1개의 MOSFET, Snubber Diode 1개, Snubber Capacitor 1개, High Voltage Transformer (H.V.Trans) 1개로 구성되어 있으며 High Voltage Transformer를 통해 고압의 인버터 출력 전압을 발생시킨다. 아울러 제안된 무손실 Snubber를 적용한 Plasma Burner 구동 인버터는 전력 손실을 최소화 할 수 있기 때문에 낮은 입력 전력으로 최대 출력 전압을 발생시킬 수 있고, Heat sink 크기가 작아지기 때문에 시스템의 소형화와 저가 구현에 유리한 장점이 있다.

2.1 제안된 Plasma Burner 구동용 무손실 단일 스위치 인버터 동작 원리

그림 2는 스위치 상태에 따른 전류 도통 경로를 보이고 있다. 각 모드별 회로 동작은 다음과 같다. 그림 2(a)는 스위치 Q가 도통되는 경우이다. 이때 1차측 L_m , 스위치 Q를 통해 3차측 Trans로 +출력 전압을 발생시킨다. 그림 2(b)는 스위치 Q가 차단되는 경우이다. 이때 L_m 에 충전된 에너지를 3차측 Trans로 출력 전압을 발생시킨다. 또한 2차측 Trans, 스너버 다이오드 D, 스너버 캐패시터 C를 통해서 스위치의 전압을 스너버 시킨다. 그림 2(c)는 스위치 L_m 에 충전된 에너지만 방전되는 경우이다. 이때 L_m 에

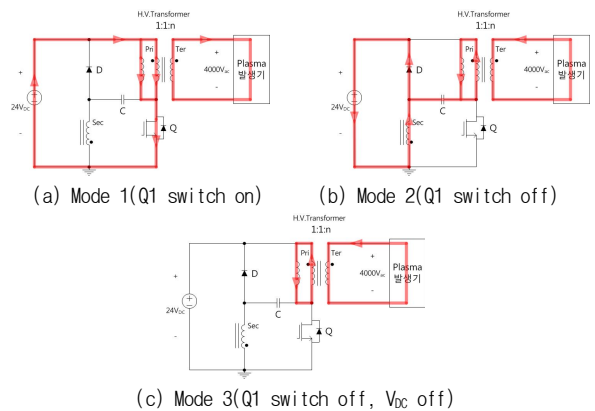


그림 2 스위치 상태에 따른 도통 경로
Fig. 2 Conductive path according to switch status

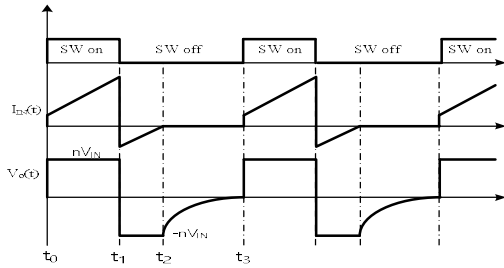


그림 3 스위치 상태에 따른 주요 동작 파형
Fig. 3 Main operation waveform to switch status

충전된 에너지를 3차측 Trans로 방전하면서 출력 전압은 0으로 상승한다. 그림 3은 제안된 회로의 주요 동작 파형이다. 제안회로의 최대 출력 전압은 식(1)과 같고 출력 전력은 식(2)와 같다.

$$V_{o,max} = nV_{in} \quad (1)$$

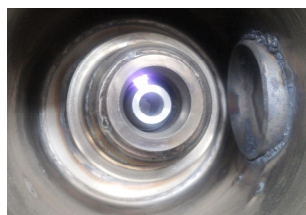
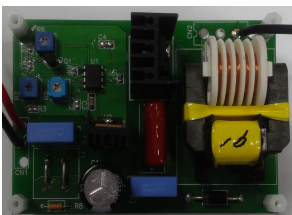
$$P = \frac{V_o I_o}{T_s} \left[(D + D_1) T_s + \frac{L}{R} \left(1 - e^{-\frac{R}{L}(1-D-D_1)T_s} \right) \right] \quad (2)$$

2.2 제안된 Plasma Burner 구동용 무손실 단일 스위치 인버터 실험 결과

Plasma Burner 구동용 무손실 단일 스위치 인버터의 타당성 및 우수성 검증을 위해 15W급 Plasma Burner 구동 인버터를 위한 시작품을 제작하여 다음과 같은 실험결과를 제시한다. Plasma 구동용 무손실 단일 스위치 인버터 동작을 위해 UC3845 Gate Driver를 사용하였으며 설계를 위한 입출력 사양과 실험에 사용된 주요 파라미터는 다음과 같다.

- 입력 전압 : 24V_{DC}
- 최대 출력 전력 : 15W
- 스위칭 주파수 : 50kHz
- MOSFET : FQP16N25(250V/16A)
- Gate Driver : UC3845(Maximum duty=0.5)
- Snubber Diode : SB3100(100V/3A)
- Snubber Capacitor : 470nF
- H.V.Transformer Turn ratio: 16 : 16 : 1350

그림 4는 제안 Plasma Burner 구동용 무손실 단일 스위치 인버터의 주요 결과물이다. 그림 4(a)는 15W급 Plasma Burner 구동용 무손실 단일 스위치 인버터 PBA이고, 그림 4(b)는 실제 Plasma 발생 모습이다. 기존 Plasma Burner 구동 인버터 회로와 동일한 Plasma 발생을 확인하였으며, 기존에 비해 50% 정도의 회로 부피를 감소시켰으며, 40% 정도의 원가가 감소되었다. 그림 5는 무손실 단일 스위치를 적용한 Plasma Burner 구동 인버터의 주요 파형이다. 무손실 단일 스위치 인버터의 이



(a) 무손실 단일 스위치 인버터 PBA (b) Plasma 발생
그림 4 무손실 단일 스위치 인버터 회로 및 Plasma 발생
Fig. 4 Lossless single-switch inverter and occur Plasma

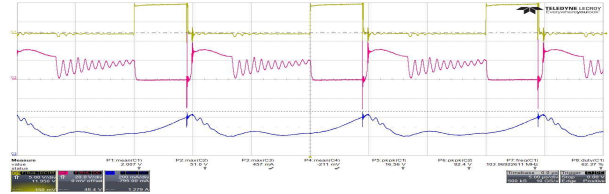


그림 5 무손실 단일 스위치를 적용한 Plasma Burner 구동 인버터 주요 파형
Fig. 5 Main waveforms to Plasma Burner drive inverter applying lossless single-switch

론적 분석과 동일하게 스위치의 전압 스트레스가 감소되었음을 확인할 수 있었다. 또한 스위칭 손실이 최소화 되어 Heat sink 크기를 최소화 하였으며 이때, 스위치의 온도는 약 40°C로 측정되었다. 따라서 위의 실험 결과를 통해 제안된 회로는 최소한의 낮은 전력으로 Plasma 발생이 가능하고 저가형 고밀도 회로구현이 가능함을 확인하였으며, Plasma Burner 구동용 인버터뿐만 아니라 고압 발생 전력 변환 회로가 적용되는 다른 전자 제품 및 다양한 분야에서도 적합할 것으로 예상된다.

3. 결론

기존의 Plasma Burner 구동용 인버터의 경우 주로 Full Bridge 인버터로 스위치 4개를 사용해야하기 때문에 스위칭 전력 손실이 많은 문제가 있다. 또한 각 스위치별로 Gate Driver를 사용하기 때문에 회로 구현의 어려움이 있으며 소자의 발열이 많고 Heat sink 크기가 증가하며, 전체 회로의 부피 증가 및 제작 단가가 증가하는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 기존 인버터와 동일한 전압을 출력하여 Plasma 발생이 용이하고, 고효율 및 저가형 구현이 가능한 Plasma Burner 구동용 무손실 단일 스위치 인버터를 제안하였다. 이론적 분석과 모의실험을 통해 제안회로의 타당성을 검증하였으며, 15W급 Plasma Burner 구동용 무손실 단일 스위치 인버터 회로 시작품을 제작하여 실험을 수행하였다. 실험 결과 제안된 회로는 기존 회로와 동일한 Plasma가 발생됨을 확인하였으며 무손실 단일 스위치를 통해 스위치의 전압 스트레스 및 스위칭 전력 손실을 최소화 하였다. 또한 스위치의 발열량 감소를 통해 Heat sink 부피 최소화, 회로의 부피 및 원가를 최소화 하였으며, 효율 또한 우수함을 확인하였다. 최종적으로 제안된 Plasma Burner 구동용 무손실 단일 스위치 인버터는 Plasma 발생 회로에 매우 적합할 뿐만 아니라, 고압 발생 전력 변환 회로가 적용되는 다른 전자 제품에도 적용 가능할 것으로 기대된다.

본 연구는 2014~2015년 환경부 주관 친환경자동차기술개발사업의 연구비 지원으로 수행되었음

참고 문헌

- [1] 강경수, 김상언, 이준환, 노정욱 “3상 전원 조건의 모터 구동 인버터 내압 저감을 위한 공진 강압형 DC/DC 컨버터”, 전력전자학회, 전력전자학회논문지 19 5, pp. 391 398.
- [2] 김정삼, 조익현, 윤동한 “Plasma Lighting System용 고전압/고전류 인버터 전원장치에 관한 연구”, 대한전기학회, 2003 대한전기학회 정보 제어 학술회의 논문집, pp. 51 54.
- [3] 김주용, 박진민, 문상필, 이현우, 서기영 “플라즈마 발생을 위한 인버터의 출력 제어 방식”, 대한전기학회, 2004년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 1229 1231.