

출력전압제어가 용이한 비대칭 펄스형 DC 플라즈마 전원장치에 관한 연구

유성환, 추대혁, 윤대식, 김준석
국립인천대학교 전기공학과

A Study On The Asymmetry Pulse Type DC Plasma Power Supply With Easiness To Voltage Control

SeongHwan Yoo, DaeHyeok Choo, DaeSik Yoon, JoohnSheok Kim
Incheon National University

ABSTRACT

최근 각 중 산업 분야에서 박막증착 공정의 다양화, 고품질화, 고속화 추세에 대응하기 위하여 고밀도의 대용량 DC 플라즈마 전원장치에 대한 관심이 커지고 있으며, 아울러 DC 플라즈마 전원장치의 고질적인 문제인 아크 방지회로의 중요성이 부각되고 있다. 효율적인 아크 방지 기법의 하나인 비대칭 펄스형 DC 플라즈마 전원장치에서는 짧은 기간 동안 ()전압을 부하에 인가하여 아크에너지를 감소시키는 방법을 사용하고 있으며 이를 위해 매우 부피가 큰 트랜스포머가 사용되고 있다. 본 연구는 펄스형 DC 플라즈마 전원장치에서 나타나는 승압효과를 억제하고 전체 효율을 향상시킴과 동시에 상호 인덕턴스가 작은 트랜스포머를 사용하여 부피를 크게 감소시킨 진보된 형태의 비대칭 펄스형 DC 플라즈마 전원장치를 제안한다.

1. 서론

스퍼터링(sputtering)은 진공을 이용하여 이루어지는 대표적인 물리증착(Physical Vapor Deposition; PVD) 기술의 하나이며 재현성이 우수하고 사용이 편리하여 그 응용이 점차 확대되고 있다. 통상적으로 스퍼터링 공정에서는 균등의 우수한 플라즈마 상태를 유지하는 DC 출력의 플라즈마 전원장치가 사용되고 있으며, 우수한 증착 특성을 얻기 위해서는 플라즈마 상태의 아크전이를 억제하는 기능이 필수적으로 요구되고 있다.

비대칭 펄스형 DC 전원장치에서는 출력단에 트랜스포머를 사용하여 매우 짧은 기간동안 간헐적으로 ()전압을 부하에 인가함으로써 아크에너지의 감소를 유도하고 균질의 플라즈마를 유지하는 방식을 사용하고 있다. 이러한 방식은 매우 효율적으로 아크 방지가 가능할 뿐만 아니라 회로적으로 매우 간단하게 구현할 수 있는 경쟁력을 지니고 있다. 그러나, 출력에 ()전압을 인가하는 과정에서 필연적으로 트랜스포머의 상호 인덕턴스에 에너지가 축적이 되고 이러한 에너지는 출력전압의 승압이라는 원하지 않는 결과로 나타나며, 안정적인 출력전압 제어를 위해 트랜스포머의 상호 인덕턴스를 크게 함으로써 파워스플라이의 부피 및 무게가 매우 커지는 단점을 지니고 있다.

본 연구에서는 비대칭 펄스형 DC 플라즈마 전원장치에서 출력단 트랜스포머의 상호인덕턴스를 크게 줄이면서 상호 인덕턴스에 축적되는 에너지를 전원에 반환하는 기법을 적용하여 ()전압 인가시에 나타나는 출력전압의 승압효과를 효율적으로 억제하고 파워스플라이의 전체효율을 상승시킬 수 있는 새로운 형태의 DC 전원장치를 제시한다.

2. 본론

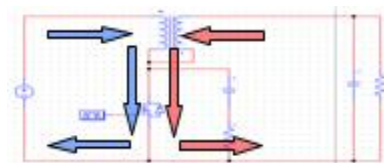


그림 1 기존 전원장치 스위치 온 시 등가회로

Fig. 1 Equivalent circuit of the conventional power supply at the switch-on state

그림 1.에 통상적인 비대칭 DC 플라즈마 전원장치의 일반적인 구조를 도시하였다. 출력단에 상호 인덕턴스가 매우 큰 트랜스포머가 설치되어 있으며 스위치의 동작에 따라 그림에 나타난 바와 같이 부하에 ()전압이 인가되어 부하에 축적된 에너지가 방전되는 구조를 가지고 있다.

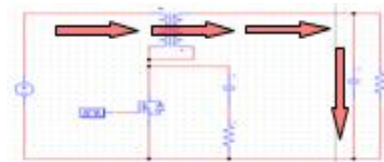


그림 2 기존 전원장치 스위치 오프 시 등가회로

Fig. 2 Equivalent circuit of the conventional power supply at the switch-off state

스위치가 Off되면 그림 2와 같이 트랜스포머의 상호 인덕턴스에 축적된 에너지가 부하로 전이되어 출력전압이 약간 상승하며 축적된 에너지가 모두 소진되면 입력전원의 DC 전압이 부하에 인가되어 플라즈마 상태를 유지하도록 구성되어 있다.

아래의 그림에 제안한 전원장치의 구성도가 도시되어 있다.



그림 3 제안한 전원장치 스위치1 오프 & 스위치2 온 시 등가회로

Fig. 3 Equivalent circuit of the proposed power supply at the switch1-off state & the switch2-on state

위의 기존회로에는 도시되어 있지 않지만 실제 플라즈마 전원장치에는 DC 입력단을 출력과 분리하기 위한 스위치가 직렬로 연결되어 있다. 이 스위치를 펄스 출력에 활용하면 효과적으로 트랜스포머에 축적된 에너지를 희생하는 회로를 구축할

수 있다. 그림1.은 통상적인 DC전원공급이 이루어지는 경우이다.

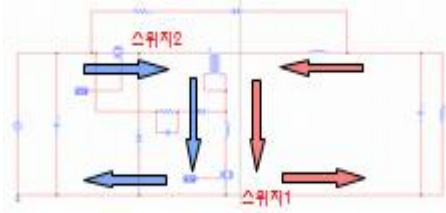


그림 4 제안한 전원장치 스위치1,2 온 시 등가회로
Fig. 4 Equivalent circuit of the proposed power supply at the switch1-on state & the switch2-on state



그림 5 제안한 전원장치 스위치1,2 오프 시 등가회로
Fig. 5 Equivalent circuit of the proposed power supply at the switch1-off state & the switch2-off state

그림 4.는 그림 1과 동일하게 ()전압을 부하에 인가하는 과정이며, 그림 5.는 모든 스위치를 Off함으로써 트랜스포머에 축적된 에너지가 전원으로 반환하는 상태를 표시한 것이다.

3. 시뮬레이션

기존의 전원장치 동작특성을 알아보기 위해 PSIM을 사용한 시뮬레이션을 분석하였다. 표 1은 전원장치의 시뮬레이션 조건 및 파라미터를 나타낸다.

표 1. 기존 전원장치 시뮬레이션 조건 및 파라미터
Table 1. Equivalent circuit of the conventional power supply at the switch-off state

Parameter	Value	Parameter	Value
입력전압	800[V]	스위칭 주파수	200[KHz]
출력부하	100 [Ω] (6.4kW)	트랜스포머	1차:9[turn] 2차:3[turn] 100[μH]

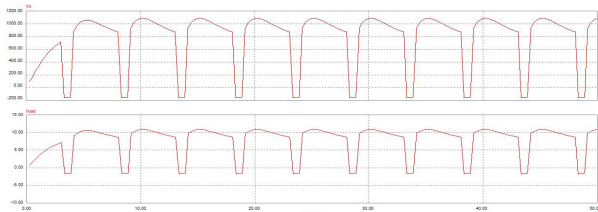


그림 6 에너지회생회로가 없는 경우의 출력전압 및 전류 파형
Fig. 6 Output current and voltage waveform without energy recovery circuit.

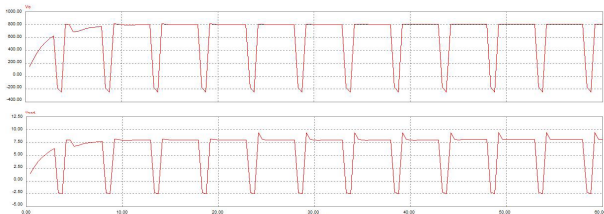


그림 7 에너지회생회로가 있는 경우의 출력전압과 전류 파형
Fig. 7 Output current and voltage waveform with energy recovery

circuit.

그림 6은 에너지회생회로가 없는 경우의 출력 특성을 보이고 있으며, 그림 7은 제안한 전원장치에 대한 시뮬레이션 결과 파형을 나타낸다. 에너지회생회로를 부가한 경우 트랜스포머의 상호 인덕턴스를 100uH수준으로 유지하면서도 안정된 출력특성이 나타남을 볼 수 있다.

4. 실험장치구성 및 실험결과

제안된 펄스형 DC 플라즈마 전원장치의 효율성을 입증하기 위해 실제 전원장치인 5kW/800V급 펄스 전원장치를 실험실 수준의 1.4kW/200V급으로 축소 실험하였다.

다음 표2.에는 실험에 사용된 장치의 파라미터이다.

표 2. 실험용 전원장치 파라미터
Table 2. Parameters of the experimental power supply

Parameter	Value	Parameter	Value
입력전압	200[V]	스위칭 주파수	100[KHz]
출력부하	28 [Ω] (1.4kW)	트랜스포머	1차:9[turn] 2차:3[turn] 100[μH]

그림 8은 제안한 전원장치의 실험결과파형을 보여주고 있다.

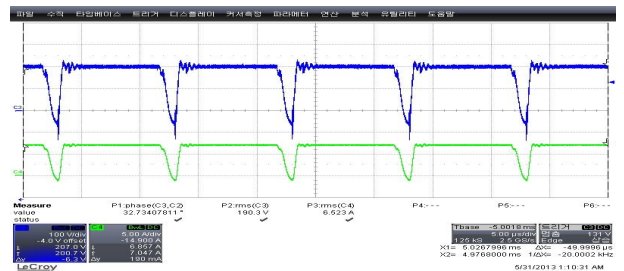


그림 8 제안된 전원장치 출력전압(100V/div)과 전류(5A/div) 결과파형
Fig. 8 Experimental Output Voltage and Current waveforms of the proposed power supply

시뮬레이션과 동일한 안정된 출력파형을 확인 할 수 있으며 제안한 전원장치의 실제 구현가능성을 증명하였다.

5. 결론

본 논문에서는 비대칭 펄스형 DC 플라즈마 전원장치의 입출력간의 비선형성 및 부피/무게 증가의 문제를 해결하기 위한 에너지 회생회로에 대하여 연구를 진행하였다. 에너지 회생회로를 부가함으로써 출력단의 승압효과를 억제하고 부피가 작은 트랜스포머에서도 안정된 출력 특성을 얻을 수 있다. 제안한 전원장치 효율성 및 실현 가능성을 시뮬레이션과 실험실 수준의 실험을 통해 입증하였다.

참고 문헌

- [1] Jung Hyun Ban, "A Study on Energy Recovery Circuit in Sputtering Plasma Power supply for arc Discharge Prevention", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 61P, No. 3, pp. 116~121, 2012
- [2] Nobom Kuriyama, Yutaka Yatsu "POWER SUPPLY UNIT FOR SPUTTERING DEVICE" U. S. Patent 6,416,638 B1 , Jul, 9, 2002
- [3] Geoffrey N. Drummond, Richard A.Scholl "ENHANCED REACTIVE DC SPUTTERING SYSTEM" U. S. Patent 5,718,813, Feb. 17, 1998