

플라즈마 전원장치용 공진 컨버터에 관한 연구

권민준, 김태훈, 이우철
한경대학교

A Study on the Resonant Converter for a Plasma Power Supply

Min Jun Kwon, Tae Hun Kim, Woo Cheol Lee
Hankyong National Univ

ABSTRACT

플라즈마 공정이 다양한 분야에 적용됨에 따라 플라즈마 전원장치에 대한 높은 관심과 다양한 연구가 진행되고 있다. 플라즈마 공정용 전원장치는 공정의 특성으로 인하여 아크가 발생할 수 있다는 문제점을 가지고 있으며, 또한 장치의 고효율화에 대한 요구가 늘어나고 있다. 이런 문제에 대한 해결과 요구조건을 달성하기 위한 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 플라즈마 전원장치에 공진 컨버터를 적용하여 높은 효율을 달성하고 아크 문제를 해결하기 위한 조건에 대하여 연구 및 적용하였다. 시뮬레이션 및 실험을 통하여 회로의 동작을 확인하였다.

1. 서론

플라즈마 공정은 산업기술로 다양한 분야에서 적용되고 있다. 적용분야가 늘어나면서 플라즈마를 제어할 수 있는 전원장치에 대한 연구와 관심이 증가하고 있는 추세이다. 플라즈마 전원장치는 공정의 특성상 아크 문제에 대한 방안과 함께 장치의 고효율화가 요구되고 있다.

본 논문에서는 이러한 요구조건에 따라 플라즈마 전원장치용 공진 컨버터에 관한 연구를 진행하였다. 공진 컨버터의 고효율과 높은 전력밀도를 달성할 수 있다는 장점을 적용할 수 있게 되며, 플라즈마 공정의 특성상 아크가 발생할 수 있다는 것에 대한 방안으로 아크 발생 시 그 피해와 직접적인 영향을 가지고 있는 출력커패시턴스 값을 작게 사용하게 된다. 하지만 이때 공진 컨버터는 기존과 다른 이득특성을 보이게 되는데, 이에 변화하는 이득특성에 대하여 분석을 실시하였다. 분석내용은 실험을 통하여 확인하였다.

2. 본문

2.1 LLC 공진 컨버터

LLC 공진 컨버터는 공진을 이용한 ZVS 달성을 통해 높은 효율을 달성할 수 있는 DC DC 전원장치이며, 공진에 필요한 인덕터를 변압기의 누설인덕턴스와 자화인덕턴스로 간단하게 회로가 구성된다는 장점을 가지고 있는 토폴로지이다. 이러한 LLC 공진 컨버터를 플라즈마 공정용 전원장치로 적용할 경우 높은 효율을 기대할 수 있을 것이다^[1].

그림 1은 LLC 공진 컨버터의 기본회로이다. LLC 공진 컨버터는 스위치를 이용한 구형파 발생회로(Square Wave

Generator), 공진 인덕턴스 L_r 과 공진 커패시턴스 C_r 그리고 자화 인덕턴스 L_m 으로 이루어진 공진 회로(Resonant Network), 그리고 정류기 회로(Rectifier Network)로 구성되어 있다^[2].

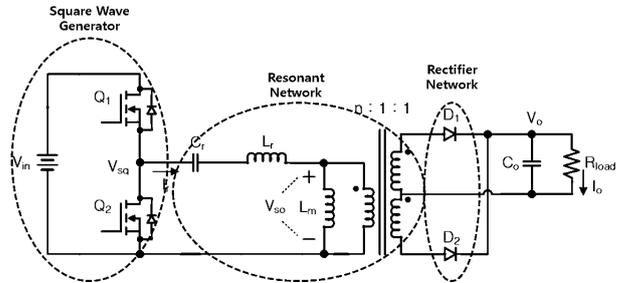


그림 1 LLC 공진컨버터
Fig. 1 LLC resonant converter

2.2 LLC 공진 컨버터 이득특성 분석

LLC 공진 컨버터의 전압이득 특성을 분석하기 위해서는 먼저 FHA 근사방법을 통해 모든 고차 고조파를 무시하고 해석하는 방식을 사용하게 된다. 이 과정에서 일반적인 LLC 공진 컨버터의 경우 출력 커패시턴스의 값이 충분히 크기 때문에 영향을 고려하지 않게 된다. 하지만 플라즈마 전원장치로 고려할 경우 아크문제에 대한 방안으로 출력 커패시턴스 값을 작게 설정하기 때문에 함께 고려해주어야 한다.

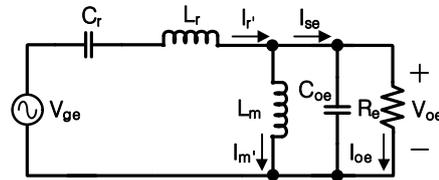


그림 2 LLC 공진컨버터의 AC 등가회로
Fig. 2 AC equivalent of LLC resonant converter

그림 2는 FHA 근사방법을 통해 근사화한 LLC 공진 컨버터의 AC 등가회로이다. 이때 출력 커패시턴스를 고려해야 하기 때문에 함께 등가화 되었다.

등가회로의 각 변수는 기본회로의 변수와 관계를 유도하는 것으로 LLC 공진 컨버터의 이득특성을 분석할 수 있게 된다. 입력전압과 출력전압의 기본과 전압은 각각 푸리에 급수정리를 통하여 얻을 수 있으며, 마찬가지로 출력 측 전류와의 관계를 함께 정리하는 것으로 부하와 출력 커패시터의 병렬 임피던스

합의 관계를 정리할 수 있게 된다.

그림 2 등가회로와 유도된 각 변수와의 관계를 통하여 다음과 같은 전압이득 식을 도출할 수 있게 되며, 전압이득 M_g 는

$$M_g = \left| \frac{jL_n \times f_n}{jf_n(1+L_n - \frac{1}{f_n^2}) + L_n(1-f_n^2) \sqrt{\frac{L_r}{C_r} \frac{1}{Z_{sc}}}} \right| \quad (1)$$

이다. 이때, $Z_s = \frac{1}{j\omega C_o} \parallel R_o$ 이다.

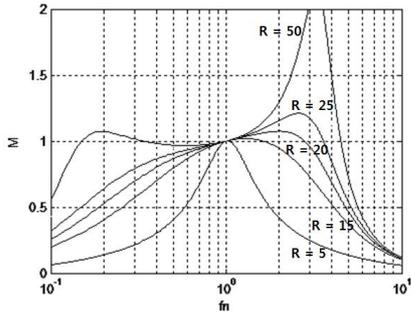
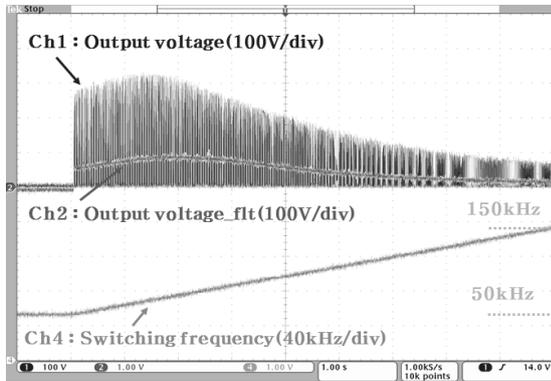


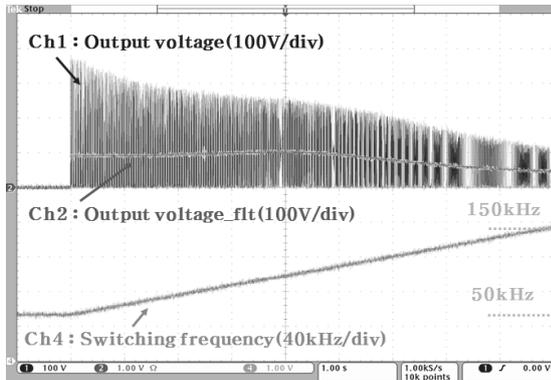
그림 3 이득특성곡선
Fig. 3 Gain characteristics graph

그림 3은 수식 (1)을 MATLAB 프로그램을 통해 그린 이득특성 곡선이다. 출력 커패시턴스 값을 작게 설정할 경우 기존의 LLC 공진 컨버터와 다른 이득특성을 보이는 것을 알 수 있다.

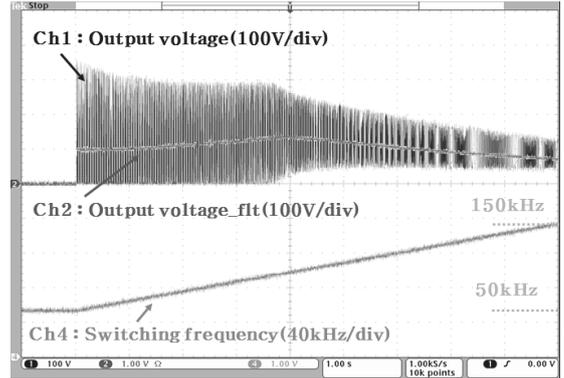
2.3 실험 결과



(a)



(b)



(c)

그림 4 실험 결과

Fig. 4 Experiment results

(a) 부하 5 Ω, (b) 부하 15 Ω, (c) 부하 25 Ω

그림 4는 플라즈마 공정용 LLC 공진 컨버터의 실험 결과 파형이다. 실험은 플라즈마 공정용 LLC 공진 컨버터로 회로를 구성하고 스위칭 주파수를 50kHz에서 150kHz까지 스위프 하면서 출력전압, 출력전압의 필터 값, 그리고 스위칭 주파수를 측정하였다. 실험파형은 각 부하조건에 따라 (a)는 부하 5 Ω, (b)는 부하 15 Ω, (c)는 부하 25 Ω 에서의 측정 파형이다. 실험결과 기존의 LLC 공진 컨버터와 다른 이득특성을 보이며 분석내용과 같은 결과를 보이는 것을 확인할 수 있었다.

3. 결론

플라즈마 공정용 전원장치의 고효율에 대한 요구와 공정의 특성으로 인한 아크문제에 대한 방안으로 높은 전력밀도와 고효율을 달성할 수 있는 LLC 공진 컨버터를 적용하고 아크가 발생할 경우 그로인한 피해와 직접적인 영향을 가지고 있는 출력 커패시턴스 값을 작게 설정할 수 있게 된다. 하지만 이때 출력 커패시턴스 값을 작게 설정하게 되면 기존의 LLC 공진 컨버터와 다른 이득특성을 보이게 되는 것을 확인하고 출력 커패시턴스를 고려한 컨버터의 이득특성을 분석하였다.

분석결과 기존의 LLC 공진 컨버터와 달리 부하조건에 따른 최대 이득점의 위치가 공진점 ($f_n=1$)인 지점보다 오른쪽(높은) 위치에 존재하는 것을 확인할 수 있었다. 분석내용은 실험을 통해 확인할 수 있었다.

본 연구는 경기도의 경기도지역협력연구센터(GRRC) 사업의 일환으로 수행하였음.
[[GRRC환경2011 B04], 물류 자동화 시스템의 에너지 절약을 위한 전력변환 기술개발]

참고 문헌

- [1] B. Yang, F. C. Lee, A. J. Zhabg, and G. Huang, "LLC Resonant Converter for Front End DC/DC Conversion," in *Proc. IEEE APEC'02*, pp. 1108-1112, 2002.
- [2] Jee Hoon Jung, Joong Gi Kwon, "Theoretical analysis and optimal design of LLC resonant converter." 2007 European Conference of Power Electronics and Applications pp.1-10, Sept 2007.