

출력 커패시터를 고려한 플라즈마 공정용 LLC 공진컨버터에 관한 연구

권민준, 김태훈, 이우철
한경대학교

A Study on the LLC Resonant Converter for a Plasma Process Considering the Output Capacitor

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

ABSTRACT

고효율과 높은 전력밀도를 갖는 LLC 공진컨버터를 플라즈마 공정용 DC 전원장치로 사용하기 위해서는 공정의 특성상 출력 Filter 커패시턴스 값을 작게 설정해야 한다. 이때, 기존의 LLC 공진컨버터와 다른 동작특성을 보이게 되는데, 본 논문에서는 플라즈마 공정용 LLC 공진컨버터에서 출력 Capacitor를 고려한 LLC 공진 컨버터의 특성 및 변화를 분석하였으며 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

1. 서론

플라즈마 공정은 반도체, LCD(Liquid Crystal Display), PDP(Plasma Panel Display) 등 첨단 IT 산업에서부터 섬유 분야, 의료분야 등 많은 분야에서 사용되고 있는 산업기술이다. 플라즈마 공정에는 플라즈마를 생성하기 위한 전원장치를 필요로 하게 되는데, 높은 전력밀도와 ZVS(Zero Voltage Switching)를 통해 고효율을 달성할 수 있는 LLC 공진컨버터가 DC 플라즈마 공정용 전원장치로 적용될 수 있다^[1].

플라즈마 공정에는 플라즈마가 불안정할 경우 아크(Arc)가 발생할 수 있다는 문제점이 있다^[2]. 아크를 방지하기 위한 방법 중 하나로, 출력 커패시턴스 값을 작게 설정하는 방법이 있는데, 이때 LLC 공진 컨버터는 기존과 다른 이득특성을 보이게 된다.

본 논문에서는 출력 커패시턴스 값이 작은 경우 LLC 공진 컨버터에 미치는 영향을 분석하기 위해 출력 Capacitor를 고려한 LLC 공진 컨버터, 즉 LLC 공진컨버터에 대한 전압 이득특성을 유도하고 특성을 분석한다. 전압 이득특성은 기존의 LLC 공진컨버터의 분석에 사용되는 FHA(First Harmonic Approximation) 근사방법을 적용하여 해석한 뒤 이득특성을 분석하고 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

2. 본 문

2.1 LLC 공진컨버터의 기본구조

LLC 공진 컨버터는 넓은 부하조건에서 ZVS 달성을 통한 고효율과 높은 전력밀도로 다양한 응용분야에 적용되고 각광 받고 있는 토폴로지이다^[1].

그림 1은 LLC 공진 컨버터의 기본 회로로써 LLC 공진컨버터는 스위치를 이용한 구형파 발생회로(Square Wave

Generator), 공진 인덕턴스 L_r 과 공진 커패시턴스 C_r , 그리고 변압기 자화인덕턴스 L_m 으로 이루어진 공진 회로(Resonant Network), 그리고 정류기(Rectifier Network)로 구성이 되어있다.

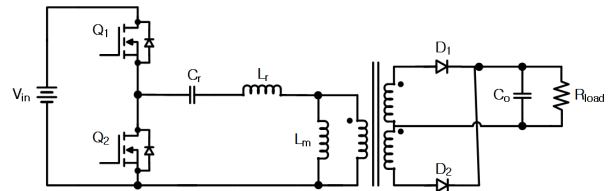


그림 1 LLC 공진컨버터의 회로

Fig. 1 LLC resonant converter circuit

구형파 발생회로는 그림 1에서는 Half bridge 로 구성이 되어있으며, 응용분야에 따라 Full bridge로 구성할 수 도 있다. 다이오드 정류기 회로는 Center Tapped, Full bridge, Voltage Doubler등 다양하게 적용될 수 있다.

2.2 LLC 공진컨버터 전압이득 특성

LLC 공진컨버터의 전압이득특성을 분석하기 위해서는 일반적으로 FHA 근사방법을 사용한다. FHA 근사방법은 구형파를 단일 기본파로 근사하고 모든 고차 고조파를 무시하여 해석하는 방식으로, 그림 2와 같이 FHA를 적용함으로써 LLC 공진 컨버터의 AC 등가회로를 얻을 수 있다.

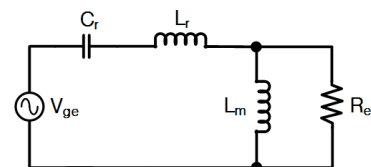


그림 2 LLC 공진컨버터의 AC 등가회로

Fig. 2 AC equivalent of LLC resonant converter

그림 2를 통해 LLC 공진컨버터의 전압이득을 도출하게 되면, 전압이득 M_y 는

$$M_y = \left| \frac{L_n \times f_n^2}{[(L_n + 1) \times f_n^2 - 1] + j[(f_n^2 - 1) \times f_n \times Q_e \times L_n]} \right| \quad (1)$$

이 된다. 이때, $L_n = \frac{L_m}{L_r}$, $f_n = \frac{f_{sw}}{f_0}$, $Q_c = \frac{\sqrt{L_r/C_r}}{R_e}$ 이다.

수식 (1)을 통해 그림 3과 같은 이득곡선을 얻을 수 있다. 그림 3은 일반적인 LLC 공진컨버터의 이득특성을 나타내는 곡선으로 부하특성에 따라 공진주파수 보다 낮은 스위칭 주파수에서 최대이득이 되는 점이 존재한다.

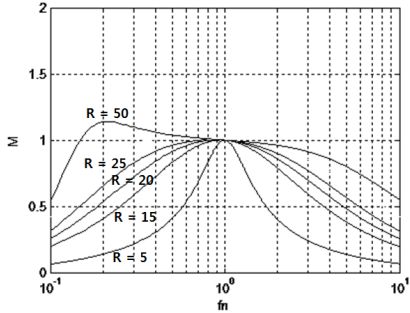


그림 3 LLC 공진컨버터의 전압이득 특성
Fig. 3 Voltage gain characteristics of LLC resonant converter

2.3 LLCC 공진 컨버터의 전압이득 특성

LLCC공진 컨버터의 전압이득 특성을 분석하기 위해서 기존의 LLC 공진 컨버터와 같은 FHA 분석방법에서 출력 커패시터 인 C_o 를 고려하여 분석하게 된다.

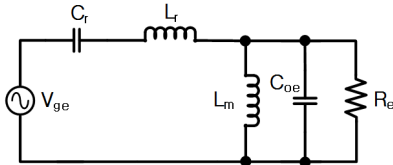


그림 4 LLCC 공진컨버터의 AC 등가회로
Fig. 4 AC equivalent of LLCC resonant converter

그림 4는 LLCC 공진컨버터의 C_o 를 고려한 AC 등가 회로이다. 등가회로를 통해 전압이득 M_y 를 도출하게 되면

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

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

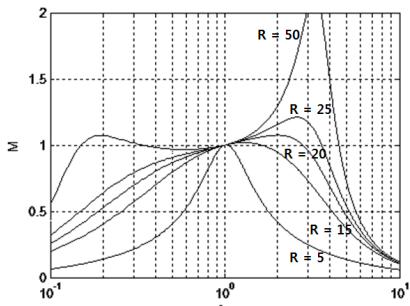


그림 5 LLCC 공진컨버터의 전압이득 특성
Fig. 5 Voltage gain characteristics of LLCC resonant converter

수식 (2)를 통해 이득곡선을 그리게 되면 그림 5와 같은 이득곡선을 그릴 수 있게 된다. 작은 값의 출력 Capacitor를 고려한 LLCC 공진컨버터의 이득곡선은 기존의 LLC 공진컨버터와는 다르게 부하특성에 따라 공진주파수 보다 더 높은 주파수에서 이득이 최대가 되는 점이 존재하는 것을 알 수 있다.

2.4 시뮬레이션 결과

분석내용은 시뮬레이션을 통해 확인해 보았다. 시뮬레이션은 플라즈마 공정용 LLCC 공진컨버터의 모델로 출력 필터 커패시터를 0.03uF로 설정하고 스위칭 주파수를 150kHz에서 50kHz까지 Sweep하면서, 최대 이득이 되는 점을 확인해 보았다.

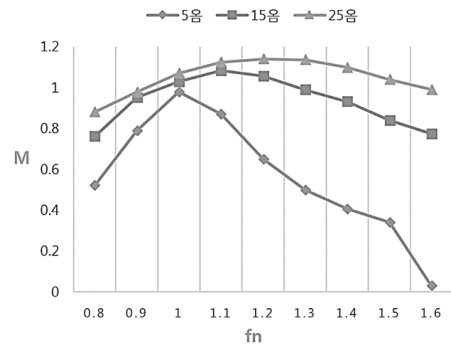


그림 6 시뮬레이션 결과
Fig. 6 Simulation results

그림 6은 시뮬레이션 결과로 C_o 값이 작을 경우 부하특성에 따라 최대이득이 되는 주파수점이 높아지며, 앞에서 해석한 이득특성 결과와 유사한 것을 확인하였다.

3. 결론

일반적인 LLC 공진컨버터를 플라즈마 공정에 사용하기 위해서는 출력 커패시턴스 값을 작게 설정하는 LLCC 공진컨버터를 사용하게 된다. 이때, 기존의 LLC 공진컨버터의 이득특성과 달라진다. 이에 본 논문에서는 출력 Capacitor를 고려한 플라즈마 공정용 LLCC 공진컨버터에 대한 이득 특성을 기존의 LLC 공진컨버터의 해석에 사용되는 FHA 방법 통하여 분석하였으며, 시뮬레이션을 통해 전압이득 특성의 분석내용을 검증하였다.

본 연구는 경기도의 경기도지역협력연구센터(GRRC) 사업의 일환으로 수행하였음.
[[GRRC한경2011-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] Noborn Kuriyama, Yutaka Yatsu "POWER SUPPLY UNIT FOR SPUTTERING DEVICE" U. S. Patent 6,416,638 B1, Jul, 9, 2002.