

무부하 조건의 LLC 공진 컨버터 제어에 관한 연구

권민준, 이우철
한경대학교

A Study on Control of LLC Resonant Converter in No-load Condition

Min Jun Kwon, Woo Cheol Lee
Hankyong National Univ

ABSTRACT

최근 높은 효율을 달성할 수 있는 LLC 공진 컨버터가 다양한 산업분야에 적용되고 있다. 응용분야에 따라 플라즈마 공정과 같이 특수전원장치를 필요로 하는 분야에서는 LLC 공진 컨버터의 무부하 동작을 요구하기도 한다. LLC 공진 컨버터는 부하 조건과 달리 무부하 조건에서 비선형적인 동작 특성을 보이는 것을 확인할 수 있었고, 그에 따른 제어가 필요하다는 것을 알 수 있었다. 이에 본 논문에서는 무부하 조건의 LLC 공진 컨버터 제어에 관한 연구를 진행하였다. 분석을 통해 동작 특성을 확인하고 컨버터를 무부하 조건에서 제어하기 위한 방법에 대하여 설명한다. 분석내용 및 제어방법은 시뮬레이션 및 실험을 통하여 확인할 수 있었다.

1. 서론

다양한 산업분야에서 LLC 공진 컨버터가 전원장치로 적용되고 있다. LLC 공진 컨버터를 전원장치로 적용하기 위해서는 공정 특성에 맞는 동작특성을 필요로 하며 그에 따른 연구가 진행되고 있다[1]. 플라즈마 공정의 경우 초기 플라즈마를 생성하기 위해 무부하 조건에서 전원장치를 동작시킬 필요가 있다. 때문에 LLC 공진 컨버터를 플라즈마 전원장치로 적용하기 위해서는 무부하 동작에 대한 연구를 필요로 한다. LLC 공진 컨버터는 무부하 조건에서 기생성분에 의한 영향으로 기존의 LLC 공진 컨버터 특성과는 다른 특성을 보여 제어에 어려움을 겪는다. 이에 본 논문에서는 무부하 조건의 LLC 공진 컨버터에 관한 연구를 진행하였다. LLC 공진 컨버터의 무부하 조건에서 비선형적인 동작특성을 분석하였으며, 그에 따른 제어방법에 대하여 설명한다. 제안한 제어방법은 시뮬레이션 및 실험을 통하여 확인할 수 있었다.

2. 본문

2.1 LLC 공진 컨버터 무부하 특성

LLC 공진 컨버터의 특성을 분석하기 위한 방법 중 가장 대표적으로 사용되는 방법은 FHA (First Harmonic Approximation) 분석방법이다. FHA 분석방법이란 고조파 성분을 제외한 기본과 성분만으로 분석하는 방법으로 부하조건에서의 LLC 공진 컨버터의 특성을 잘 보여준다는 특징을 갖는

다. 하지만 실제 무부하조건의 LLC 공진 컨버터 동작 특성과는 상이한 결과를 보이게 된다. 이에 LLC 공진 컨버터의 무부하 특성을 보다 정확하게 얻어내기 위해 무부하 특성에 영향을 주는 기생성분을 고려하고 시간영역에서 분석할 필요가 있다. 또한 실제 하드웨어구성을 통한 컨버터는 완전한 무부하 상태가 아니기 때문에 매우 낮은 경부하 조건으로 분석해야 한다.

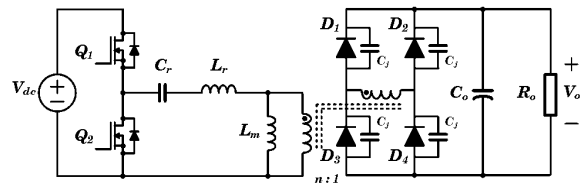


그림 1 LLC 공진 컨버터의 회로
Fig. 1 LLC resonant converter circuit

그림 1은 LLC 공진 컨버터의 회로 그림이다. 앞서 설명한 것과 같이 무부하 특성에 영향을 주는 다이오드 기생커패시턴스를 고려하게 된다[1].

회로를 통하여 LLC 공진 컨버터의 무부하 특성을 분석할 경우 다음과 같은 이득특성곡선을 얻을 수 있다.

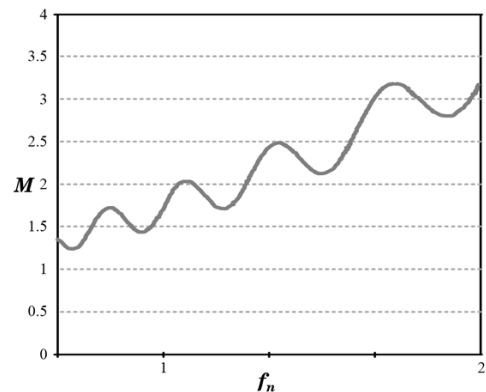


그림 2 LLC 공진 컨버터 무부하 특성곡선
Fig. 2 No load characteristic curve of LLC resonant converter

그림 2는 시간영역에서 분석한 LLC 공진 컨버터의 무부하 특성곡선이다. 곡선은 스위칭 주파수 f_s 와 공진주파수 f_r 를 정규화한 비 f_n 에 따라 이득 M 을 나타낸 것으로 기존의 FHA 분석을 통해 얻을 수 있는 특성곡선과는 상이한 결과를 보여준

다.

2.2 LLC 공진 컨버터 무부하 제어

분석내용과 같이 LLC 공진컨버터는 무부하 조건에서 스위칭 주파수 f_s 에 따른 이득 M 은 선형적이지 않기 때문에 일반적인 부하조건과는 다른 추가적인 제어를 필요로 한다.

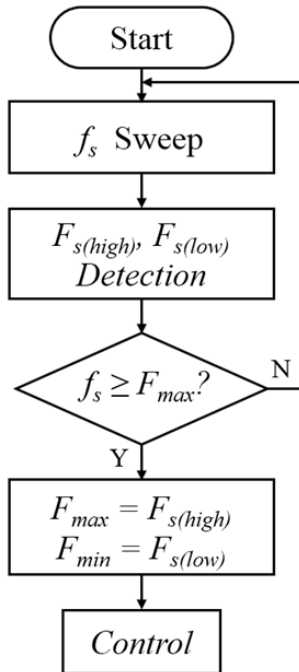


그림 3 LLC 공진 컨버터 무부하 제어 알고리즘
Fig. 3 Control algorithm in no load condition

그림 3은 본 논문에서 설명하는 무부하 조건의 LLC 공진 컨버터 제어 알고리즘이다. LLC 공진 컨버터는 초기 기동시 동작범위만큼 스위칭 주파수를 Sweep 하면서 최대이득을 갖는 스위칭 주파수 $F_{s(high)}$ 와 그 점에 가장 가까운 낮은 이득을 갖는 스위칭 주파수 $F_{s(low)}$ 를 찾게 된다. 찾아진 $F_{s(high)}$ 와 $F_{s(low)}$ 는 각각 최대 스위칭 주파수 F_{max} 와 최소 스위칭 주파수 F_{min} 으로 설정되며 그 주파수영역 안에서는 LLC 공진 컨버터는 선형적으로 이득을 제어할 수 있게 된다.

2.3 시뮬레이션 및 실험

시뮬레이션 및 실험을 통하여 LLC 공진 컨버터의 무부하 동작 제어를 확인하였다.

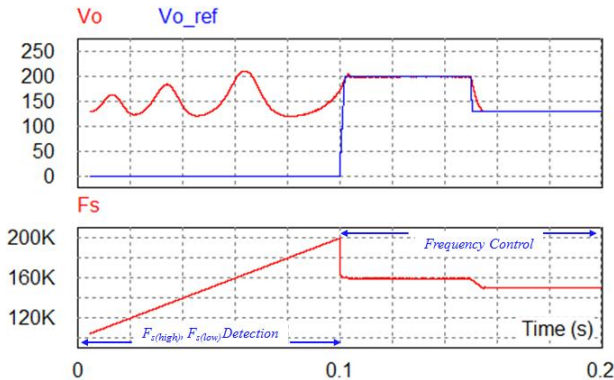


그림 4 시뮬레이션 결과
Fig. 4 Simulation results

그림 4는 LLC 공진 컨버터 무부하 제어 시뮬레이션 결과이다. 시뮬레이션 파형은 출력전압 V_o , 출력전압 지령치 $V_{o,ref}$ 그리고 스위칭 주파수 F_s 를 나타낸다. 초기 기동시 스위칭 주파수를 Sweep 하면서 $F_{s(high)}$ 와 $F_{s(low)}$ 를 판단하게 되며 Sweep 이 끝나면 결정된 주파수범위안에서 제어하게 된다. 0.15s 전압 지령치를 변경해도 출력전압이 지령치를 따라 제어가 잘 되는 것을 확인할 수 있다.

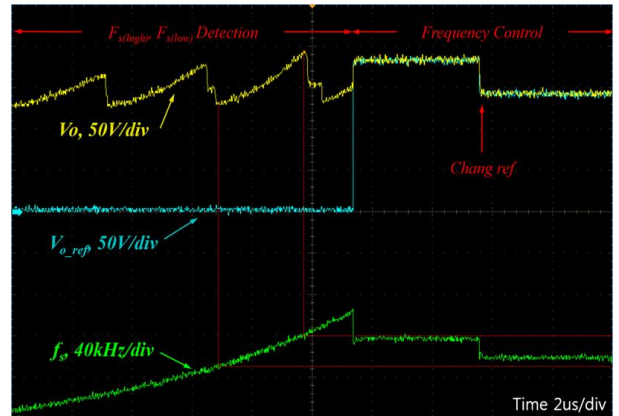


그림 5 실험 결과
Fig. 5 Experiment results

그림 5는 실험 결과 파형이다. 파형은 출력전압 V_o , 출력전압 지령치 $V_{o,ref}$ 그리고 스위칭 주파수 f_s 를 측정하였다. 시뮬레이션 파형과 마찬가지로 초기 기동시 낮은 주파수에서부터 스위칭 주파수를 Sweep 하여 최대 이득과 낮은 이득을 갖는 스위칭 주파수점을 찾으며, 결정된 주파수 영역 안에서 전압제어를 실시하게 된다. 중간에 지령치를 변경해도 제어가 잘 되는 것을 확인할 수 있었다.

3. 결론

LLC 공진 컨버터는 무부하 조건에서 일반적인 부하조건과는 다른 특성을 보이는 것을 확인할 수 있었다. 때문에 플라즈마 공정과 같이 무부하 조건을 필요로 하는 공정에 LLC 공진 컨버터를 적용하기 위해서는 무부하 특성에 맞는 제어동작을 필요로 하게 된다. 본 논문에서는 무부하 조건에서 LLC 공진 컨버터의 동작특성을 분석하고 그에 따른 제어방법에 대하여 설명하였다. 무부하 조건의 LLC 공진 컨버터 제어방법은 시뮬레이션 및 실험을 통하여 그 동작을 확인할 수 있었다.

이 논문은 2017년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단 기초연구사업의 지원을 받아 수행된 연구임
(No. NRF 2017R1D1A1B03031532)

참고 문헌

- [1] B. H. Lee, M. Y. Kim, C. E. Kim, K. B. Park and G. W. Moon, "Analysis of LLC Resonant Converter Considering Effect of Parasitic Components" in *Proc. INTELEC'09*, pp.1 6, Oct. 2009.