

LED 전원컨트롤기어용 LLC 하프브리지 공진형 컨버터 구동특성

임홍우*, 홍민철*, 장용해**, 최연옥***, 조금배***, 백형래***
한국전기전자시험연구원*, 조선대학교**,

The Operating Characteristics of LLC Half Bridge Resonant Converter for LED Power Control Gear

Hong-Woo Lim*, Min-Cheol Hong*, Y.H. Jang**, Y.O. Choi***, G.B. Cho***, H.L. Baek***
Korea Electrical Testing Institute*, Gochang Polytechnic College**, Chosun University***

Abstract - LLC 하프브리지 공진형 컨버터는 세 개의 공진소자인 누설 인덕턴스, 자화인덕턴스, 공진 커패시터를 이용하여 영전압 스위칭을 실현 할 수 있고 낮은 전압, 전류 스트레스와 높은 효율을 기대할 수 있기 때문에 밀폐된 공간에서 동작해야하는 LED 전원장치로 적합하다. 특히 이동성의 편의를 위해 높은 전력밀도를 가져야 하는데 LLC 공진형 컨버터는 출력단에 인덕터가 없기 때문에 크기 면에서도 장점을 갖고 있다. 본 논문에서는 LED 전원공급용 컨트롤기어인 LLC 하프브리지 컨버터의 최적설계를 반영한 이론적 해석 및 시뮬레이션을 하여 시 제작한 컨버터의 특성을 분석하였다.

1. 서 론

전원장치의 전력변환 효율은 회로의 내부 손실과 밀접한 관계가 있고 손실 증가는 전원장치의 발열량에 비례하기 때문에 방열설계가 중요한 문제로 대두되고 있다. 전원장치의 효율을 높이면 장치의 신뢰성이 높아지고, 동작 수명이 길어지며, 방열을 효율적으로 운용할 수 있기 때문에 제품의 외형을 소형화 시킬 수 있다.

LLC 하프브리지 공진형 컨버터는 세 개의 공진소자인 누설 인덕턴스, 자화인덕턴스, 공진 커패시터를 이용하여 영전압 스위칭을 실현 할 수 있고 낮은 전압, 전류 스트레스와 높은 효율을 기대할 수 있기 때문에 밀폐된 공간에서 동작해야하는 LED 전원장치로 적합하다. 특히 이동성의 편의를 위해 높은 전력밀도를 가져야 하는데 LLC 공진형 컨버터는 출력단에 인덕터가 없기 때문에 크기 면에서도 장점을 갖고 있다.

본 논문에서는 LED 전원공급용 컨트롤기어인 LLC 하프브리지 컨버터의 최적설계에 있어서 고려되어야 할 사항은 경박단소와 열폭주를 해결하고 컨버터의 효율을 높이기 위하여 효율에 가장 큰 영향을 미치는 컨버터의 전력변환 트랜스포머는 최적으로 설계되어야 하며 효율과 관련된 변수들을 고려하여야 한다. 제작된 LED 전원공급용 컨버터의 입력전압은 상용 교류전압이며 PFC 회로를 통하여 약 DC 390V로 변환되고 LLC 하프 브리지 공진형 컨버터의 입력전압으로 링크되며 출력전압은 12V/250W로 설계하여 제작된 특성에 대하여 분석하였다.

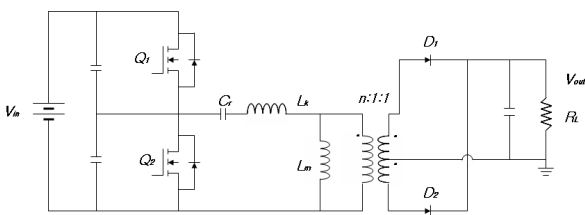
2. 본 론

2.1 LLC 하프브리지 공진형 컨버터

2.1.1. LLC 하프브리지 공진형 컨버터의 기본 동작

그림 1은 LLC 하프브리지 공진형 컨버터의 기본회로도를 나타낸 것이다. 회로는 두개의 주 스위치인 Q_1, Q_2 와 세 개의 공진소자인 누설 인덕턴스(L_k), 자화 인덕턴스(L_m), 공진 커패시터(C_r)로 구성되어 있다. 스위치 Q_1, Q_2 는 MOSFET와 내부 다이오드로 구성되어 있다.

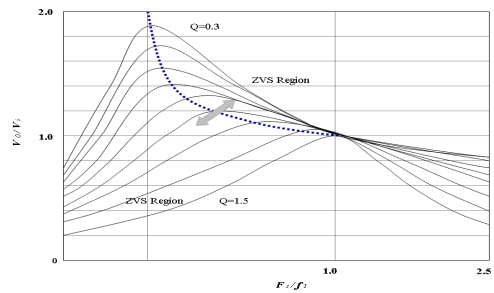
구동전압인 V_{GS1}, V_{GS2} 는 스위칭 주파수가 f_s 이고 시비율이 50%인 전압신호로서 두 스위치 Q_1, Q_2 를 교대로 턴온 시키며 변압기의 2차측은 중간 탭 정류기 D_1, D_2 로 구성되어 있다.



〈그림 1〉 LLC 하프브리지 공진형 컨버터 기본구성 회로
〈Fig 1〉 A elementary circuit of LLC half bridge resonant converter

2.1.2. LLC 하프브리지 공진형 컨버터 동작특성

그림 2는 LLC 하프브리지 공진형 컨버터의 동작특성을 나타낸 것이다. LLC 하프브리지 공진형 컨버터는 두 개의 공진 주파수를 가지고 있다. 하나는 누설 인덕턴스(L_r)와 공진 커패시터(C_r)에 의한 공진 주파수 f_1 이고 다른 하나는 자화 인덕턴스(L_m), 누설 인덕턴스(L_r), 공진 커패시터(C_r)에 의한 공진 주파수 f_2 이다. LLC 하프브리지 공진형 컨버터의 동작 영역은 f_1 과 f_2 사이의 ZVS(Zero Voltage Switching) 영역으로서 공진 주파수와 가까운 영역이다. Q 는 Load quality factor로서 부하가 작을 수록 Gain의 피크값은 커지면서 f_2 에 가까워지게 되고 출력전압은 커지게 되며 스위칭 주파수로 출력전압을 제어한다.



〈그림 2〉 LLC 하프브리지 공진형 컨버터 동작파형
〈Fig. 2〉 Waveform of LLC half bridge resonant converter

출력 전압의 직류전류특성은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$M_{vr} = \frac{1}{\sqrt{(1+A)^2 [1 - (\frac{\omega_0}{\omega})^2]^2 + \frac{1}{Q_L^2} (\frac{\omega}{\omega_0} \cdot \frac{A}{1+A} - \frac{\omega_0}{\omega})^2}} \quad (1)$$

각 변수들의 수식에 대한 설명은 다음과 같다.

저항 성분에 대한 등가 수식은 식 (2)와 같다.

$$R_i = \frac{\pi^2 n^2 R_L}{2n} \quad (2)$$

여기서, n : 턴수 비, R_L : 부하저항, η : 효율

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{(L_k + L_m)C}} \quad (3)$$

여기서, ω_0 : 공진 각 주파수, ω : 스위칭 각 주파수

$$A = \frac{L_k}{L_m} \quad (4)$$

여기서, L_k : 누설 인덕턴스, L_m : 자화 인덕턴스

$$Q_L = \frac{R_i}{\sqrt{\frac{(L_k + L_m)}{C_r}}} \quad (5)$$

여기서, C_r : 공진 커패시터, Q_L : Loaded quality

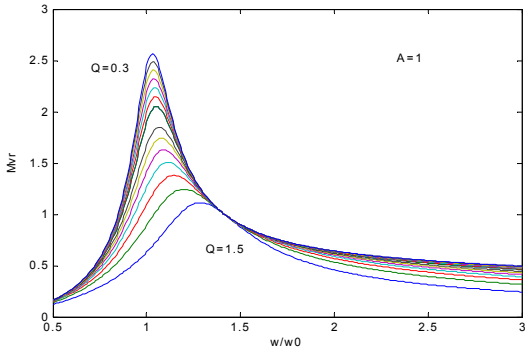
$$Z_o = \sqrt{\frac{(L_k + L_m)}{C_r}} \quad (6)$$

여기서, Z_o : 특성 임피던스

식 (4)의 출력전압의 변화율로 A 값이 작을 수록 M_{vr} 은 주파수 ω 의 영향을 작게 받으며 Q_L 값이 클 수록 M_{vr} 이 커진다는 것을 알 수 있다. M_{vr} 값이 커지면 전압 스트레스도 커지고 부품 선택에도 영향을 미치기 때문에 M_{vr} 값이 1이 되도록 파라미터를 선정할 필요가 있다.

2.2. LLC 하프브리지 공진형 컨버터의 시뮬레이션

그림 3에서는 출력전압의 직류전류특성에서 출력전압의 변화율을 시뮬레이션 한 그림이며 $A=1$ 일 때 출력전압 변화율을 나타낸 것이다. 출력 특성에서 알 수 있듯이 A 값이 작을수록 M_{vr} 은 주파수 ω 의 영향을 적게 받으며 Q 값이 클수록 M_{vr} 이 커진다는 것을 알 수 있다. 따라서 M_{vr} 이 커지면 전압 스트레스도 커지고 부품 선택도 전압 레벨에 맞게 설계되어야 하므로 M_{vr} 이 1에 가깝게 설계되어야 함을 알 수 있다.

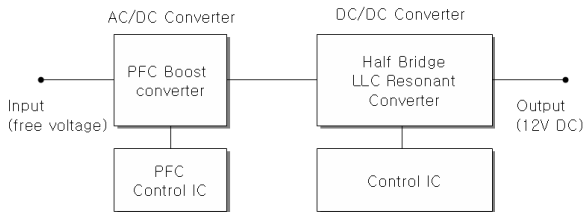


〈그림 3〉 $A=1$ 일 때 출력전압 변화율($Q=0.3 \sim 1.5$)
 〈Fig. 3〉 Output voltage ratio at $A=1(Q=0.3 \sim 1.5)$

3. 시스템 구성 및 실험 결과 고찰

3.1. LLC 하프브리지 공진형 컨버터 구성

그림 4는 시 제작된 LLC 하프브리지 공진형 컨버터의 블록다이어그램을 나타낸 것이다. 컨버터의 입력전원은 상용 AC 전압이며 PFC 회로를 거쳐 약 390V로 변환되어 공진형 컨버터의 입력전압인 DC 링크 전압이 되고 LLC 하프브리지 공진형 컨버터를 통하여 12V/500W를 출력한다.



〈그림 4〉 LLC 하프브리지 공진형 컨버터 블록도
 〈Fig. 4〉 Blockdiagram of LLC half bridge resonant converter

3.2. LLC 하프브리지 공진형 컨버터 제작

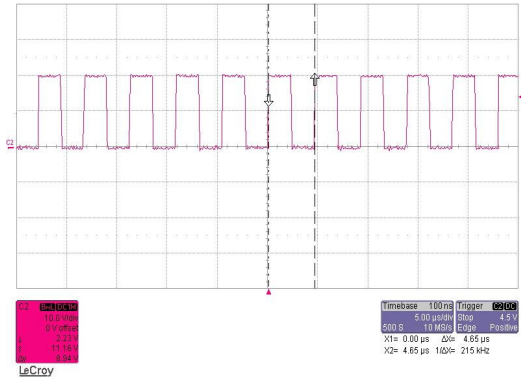
본 논문에서 시험하기 위하여 제작된 LLC 하프브리지 공진형 컨버터의 각 설계된 변수는 표 1에 나타내었다. 정격 입력은 AC free voltage이며 출력은 12V/250W이다. LLC 하프브리지 공진형 컨버터는 주파수가 가변되면서 제어되는 방식이므로 최대 및 최소 주파수가 존재한다.

〈표 1〉 LLC 하프브리지 공진형 컨버터 설계 파라미터

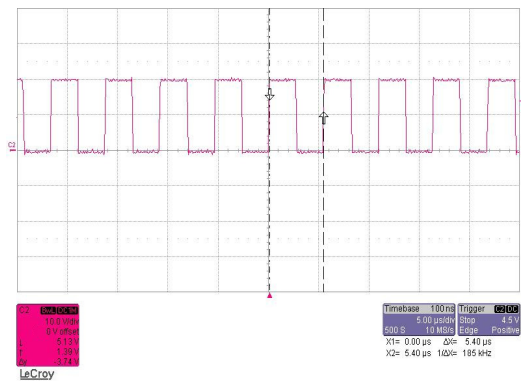
구분	파라미터	설계 치
누설 인덕턴스	L_k	120 μ H
자화 인덕턴스	L_m	600 μ H
공진 커패시터	C_r	4.7 μ F
스위칭 주파수	f_s	(180~220) kHz
턴수	n	16

3.3. 실험 결과

LLC 하프브리지 공진형 컨버터의 정격입력은 AC free voltage이고 출력은 12V/250W이다. 시제작된 제어기는 주파수 가변제어방식으로 제어되기 때문에 최소 및 최대 주파수가 존재하며 실험에서 얻은 최대 스위칭 주파수는 220kHz이고 중부하일 경우 최소 스위칭 주파는 180kHz이다. 그림 5와 그림 6은 무부하 및 중부하일때 스위칭 소자의 게이트-소스 입력파형을 나타낸 것으로 이론상 얻은 파형과 일치함을 확인하였다.



〈그림 5〉 무부하일때 게이트-소스 전압파형
 〈Fig. 5〉 Gate-source waveform at no load



〈그림 6〉 중부하일때 게이트-소스 전압파형
 〈Fig. 6〉 Gate-source waveform at full load

3. 결 론

공진형 컨버터들은 입력전압이 높으면 높은 전압 스트레스로 인해 스위치의 절도손실이 증가하게 된다. 따라서 전압, 전류 스트레스가 높지 않게 설계하는 것이 관건이며 이에 적합한 방식 중하나가 LLC 하프브리지 공진형 컨버터라고 할 수 있다.

본 논문에서 LED 전원공급용 컨트롤기어인 LLC 하프브리지 컨버터의 최적설계를 반영한 이론적 해석 및 시뮬레이션을 하여 시제작한 컨버터의 특성을 분석한 결과, 설계에 있어서 고려되어야 할 사항은 경박단소와 열폭주를 해결하고 컨버터의 효율을 높이기 위하여 효율에 가장 큰 영향을 미치는 컨버터의 전력변환 트랜스포머는 최적으로 설계되어야 하며 효율과 관련된 변수들을 고려해야함을 확인하였다.

밀폐된 공간에 적용이 가능한 LED 전원컨트롤 기어용 LLC 하프브리지 공진형 컨버터를 열폭주가 일어나지 않고 효율을 높이기 위하여 최적의 파라미터를 설계하였으며 이를 시제작하여 그 타당성을 입증하였고 측정된 시험결과를 통해 제어기의 우수성을 입증하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이현관, “하프 브리지 직렬공진 컨버터 적용 무접점 전원장치의 효율분석” 전주대 대학원, TM 621.31 0948 iii, 0-39 p. 2007
- [2] 이선미, “영 전압, 영 전류 스위칭하는 하프 브리지 플라이백 컨버터의 출력 측 정류다이오드 양단의 전압 오실레이션에 대한 해석 및 그 전압 오실레이션을 줄이는 최적화된 디자인”, 한국과학기술원, TM 621.381532 0739 0 iv, 64 p., 2007
- [3] 고지명, “공진형 하프 브리지 직류-직류 컨버터의 설계 및 손실 분석”, 경북대 대학원, TM 621.3191 1352 1 iv, 0-58p. 2005
- [4] 이원재, “단일 전력단으로 구성된 PFC AC-DC 하프브리지 컨버터의 설계 및 효율 개선에 관한 연구”, 동국대 대학원, TM 621.3126 0814 54 p. 2000
- [5] 유병선, 김창선, “노트북 컴퓨터 어댑터용 LLC 하프 브리지 공진형 컨버터 최적설계”, 전기학회논문지, 제56권 제8호, pp.1418-1423, 2007