

단상전원에 적합한 LCC 직병렬 공진 특성

이달은* 윤신용 김일남* 김철진** 백수현
 동국대학교, 동서울대학, 한라대학교**

Resonant Characteristics of LCC Series-Parallel for Single-Phase Power Source

Dal-Eun Lee*, Shin-Yong Yoon, Il Nam Kim*, Cheri-Jin Kim**, Soo-Hyun Baek
 Dongguk University Dong Seoul Colleague* Halla University**

Abstract - The Cold-Cathode Fluorescent Lamps (CCFL) are widely used to illuminate the liquid crystal displays(LCD) used in many battery powered instrument.

This paper presents analysis of fly-back converter for universal-line applications(90~265Vac) and half-bridge type resonant inverter for CCFL drive for stable characteristic and life improvement of fluorescent lamp operation frequency is higher than resonant frequency for safe operation.

The validity of this study was confirmed from the simulation and experiential result.

1. 서 론

LCD의 백라이트 및 면광원형태의 조명기구에 사용되는 CCFL은 일반 형광등이 양극의 필라멘트로 열전자를 발생시켜 방전시키는 것과 달리 필라멘트 없이 고전압을 양극에 인가하여 전극으로부터 전계에 의한 전자방출을 이용한 것이다. 따라서 열에 의한 전자 방출이 아닌 전계에 의한 전자방출이므로 열이 불필요하여 냉음극 형광 램프라 불린다. 소형, 고효율이며, 점멸에 의한 수명 감소 및 과전류에 의한 수명저하 현상이 생기지 않아 장수명의 특징을 가진다. CCFL은 초기 구동시 1200[V]이상의 고전압과 점등 후 400~800[V]의 일정한 정상전압을 공급하고 5~6[mA]의 전류를 안정화 시킬 수 있는 전원 회로를 필요로 한다[1~4].

공진형 인버터를 적용한 CCFL구동용 전원회로는 선 택도(Q)와 직병렬 커패시턴스의 비 (C_p/C_s), 스위칭 주 파수 (f_s)와 공진주파수 (f_r)의 비에 의해 전압이득 ($G(j\omega)$)이 결정된다. 램프의 초기 등가 임피던스는 무한 대에 가까워 높은 전압이득을 갖게 되며 램프초기 구동 전압은 정상 상태를 기준으로 한 설계 값에서 램프 등가 임피던스에 대한 Q의 변화로 얻어진다[5~8].

본 연구에서는 단상 전원에 적합한 LCC 직병렬 공진 특성의 공진형 인버터를 적용한 CCFL 구동회로의 설계 및 특성을 분석하였으며, 광범위한 입력전압의 대응(90~265Vac)분야에 적용할 수 있도록 인버터 전단에 플 라이백 컨버터를 적용하였다. 시뮬레이션 및 실험을 위 해 환경 2.4[mm], 판장 257[mm], 램프전압 570[V], 램프 전력 3.42[W]의 CCFL을 기준으로 하였으며, 실험을 통 해 공진형 인버터를 적용한 CCFL구동 및 제어회로가 안정적으로 동작되고 있음을 확인하였다.

2. 회로설계 및 해석

본 연구에 사용된 CCFL 구동회로 구성은 다음과 같 다. 상용의 AC 전원에서부터 DC 전원을 만들기 위한 정류기, 고조파 성분을 제거하기 위한 필터, 광범위한 입 력전압 응용분야에 적합한 플라이백 컨버터, DC 전원으 로부터 램프에 전력을 공급하는 공진형 인버터, 전체 시 스템을 적절히 제어할 수 있는 제어회로와 같이 분류할

수 있으며, 이는 그림 1과 같다.

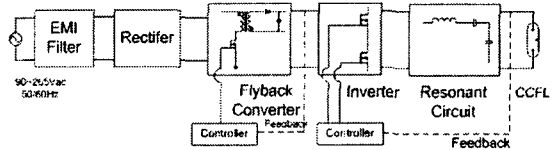


그림 1. CCFL 구동회로 구성도

CCFL 구동회로는 AC-DC 플라이백 컨버터단과 램프 구동 인버터 단으로 나누어 해석할 수 있다.

2.1 플라이백 컨버터

그림 2는 간략화된 플라이백 컨버터 회로도를 나타내 고 있으며, 그림 3은 스위치 S가 ON, OFF시 Mode1, Mode2의 각 상태를 나타내는 등가회로이다.

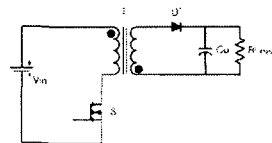


그림 2. 간략화된 플라이백 컨버터 회로도

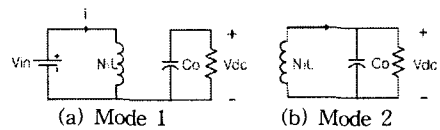


그림 3. 모드별 해석

Mode 1에서는 스위치 S가 도통하면 1차 권선에 만 전 류가 0에서부터 선형적으로 증가하여 자화 인덕턴스에 의해 에너지가 축적된다. 트랜스 2차 권선에는 1차와 반 대 극성의 전압이 유도되므로 다이오드 D는 역 바이어 스 되어 차단되고 2차 권선에는 전류가 흐르지 않는다. Mode 2 스위치 S가 차단되면 2차 권선에는 전 상태와 반대 극성의 전압이 유도되며, 다이오드를 도통 시킴으 로써 트랜스포머의 자화 인덕턴스에 의해 축적된 에너지 를 출력으로 방출시킨다.

2.2 램프구동 인버터

그림 4는 LCC 직병렬 공진형 인버터를 적용한 CCFL 구동회로도 나타내고 있으며, 이 방식은 비교적 소자 수가 적고 회로 구성이 간단한 장점을 갖는다. 그림 4의 회로는 전원전압이 스위칭 소자 Q_{11} , Q_{22} 에 의해 인덕터 와 직병렬 커패시터로 이루어진 직병렬 공진회로에 인가 되는 형태이다.

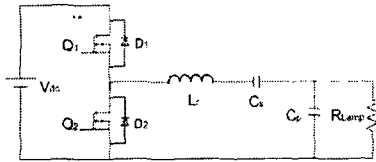
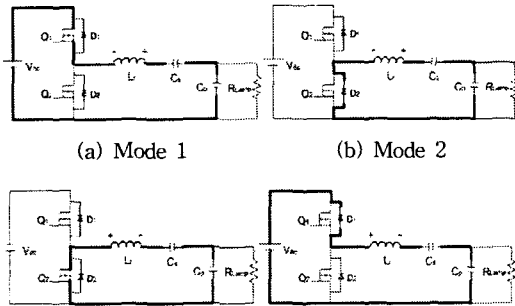


그림 4. LCC 직병렬 공진형 인버터를 적용한 CCFL구동회로도

Mode 1에서는 Q_1 이 ON된 상태에서 전원전압 V_{dc} 에 의해 공진회로에 전원이 공급되고 L_r 에 에너지가 축적된다. Mode 2는 M_1, M_2 모두 OFF된 상태로 L_r 의 역기전력으로 역병렬 다이오드 D_2 를 통해 전류 루프가 형성된다. Mode 3에서 Q_2 가 ON되면 공진회로에 축적되었던 에너지가 Q_2 를 통해 부하로 방출된다. Mode 4에서 Q_2 가 OFF되면 공진회로에 흐르던 전류는 D_1 를 통해 전원 측으로 회생된다.

Q_1, Q_2 의 주기적인 교대 동작을 통하여 구형파교류가 발생되며, 공진회로의 필터 작용으로 정현적인 교류출력이 램프에 인가된다.



(a) Mode 1 (b) Mode 2
(c) Mode 3 (d) Mode 4
그림 5. 모드별 해석

2.3 공진회로 해석

그림 6의 인덕터와 직, 병렬 커패시터는 직렬공진회로와 병렬공진회로의 장점을 각각 이용할 수 있는 LCC 공진회로의 등가회로이다.

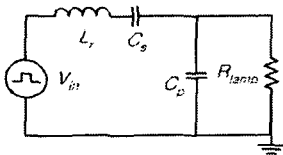
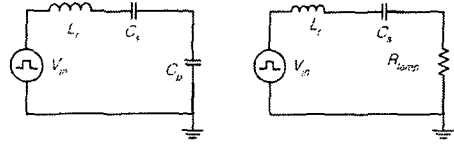


그림 6. 등가회로

위 회로는 2.2의 모드별 해석을 통해 직병렬 공진회로에 구형파가 인가되는 형태이며 등가회로는 램프 점등 전과 후로 해석할 수 있다.

점등 전(그림 7(a))에는 램프등가저항 (R_{lamp})이 매우 크기 때문에 개방회로로 가정되고 L_r 과 C_s, C_p 의 합성커패시턴스로 이루어진 병렬공진회로의 특성을 가지게 된다. 이 때의 공진주파수 (f_r)와 Q 는 식(1)과 같다. 여기서 L_r 은 공진인덕턴스, C_p 는 병렬커패시턴스, C_s 는 직렬커패시턴스이다.

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_r \times \left(\frac{C_s \times C_p}{C_s + C_p}\right)}}, Q=0 \quad (1)$$



(a) 점등 전 (b) 점등 후
그림 7. 점등 전, 후의 등가회로

점등 후(그림 7(b))에는 램프의 등가저항이 낮아지므로 병렬커패시턴스 C_p 의 영향이 줄어들어 L_r 과 C_s 의 직렬 공진회로의 특성을 가지게 된다. 이 때의 공진주파수와 Q 는 (2)와 같다.

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_r \times C_s}}, Q = \frac{\sqrt{L_r/C_s}}{R_{lamp}} \quad (2)$$

스위칭 주파수가 공진주파수보다 높을 때 연속도통모드 동작이 가능하고 공진커패시턴스 C_s 와 C_p 는 식(1), (2)를 이용하여 구할 수 있으며, 공진인덕턴스 L_r 은 식(2)를 이용하여 구할 수 있다.

그림 8은 등가회로의 교류 임피던스 성분을 나타내고 있으며, 공진회로의 입력 측에서 본 회로의 전체 임피던스 Z 는 식(3)과 같다.

$$Z = j\omega L_r + \frac{1}{j\omega C_s} + \frac{R_{lamp}}{1 + j\omega C_p R_{lamp}} \quad (3)$$

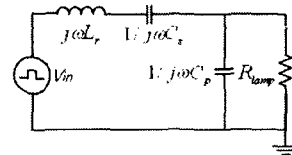


그림 8. 등가회로의 임피던스

공진회로의 전압이득은 입력임피던스와 출력임피던스 비로 나타낼 수 있으므로 식(4)와 같다.

$$G(j\omega) = \frac{V_{lamp}}{V_{in}} = \frac{R_{lamp}/(1 + j\omega C_p R_{lamp})}{Z} \quad (4)$$

여기서 $\omega = 2\pi f, f_r = 1/(2\pi\sqrt{L_r \times C_s}), Q = (\sqrt{L_r/C_s})/R_{lamp}$ 이므로 R_{lamp}, L_r, C_p, C_s 를 Q 와 f_r 로 대입하면 식(4)는 식(5)와 같고, 그 크기는 식(6)과 같다. 여기서 $f_n = f_s/f_r$ (주파수 비)이다.

$$G(j\omega) = \frac{V_{lamp}}{V_{in}} = \frac{1}{1 + (C_p/C_s)(1 - f_n^2) + jQ(f_n - 1/f_n)} \quad (5)$$

$$|G(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{\{1 + (C_p/C_s)(1 - f_n^2)\}^2 + Q^2(f_n - 1/f_n)^2}} \quad (6)$$

식(6)에서 $C_p/C_s, f_n, Q$ 값에 따라 전압이득이 변화함을 알 수 있으며, C_p/C_s 값은 회로의 직병렬 공진특성을 결정하게 되는 중요한 요소가 된다.

3. 시뮬레이션 및 실험결과

그림 8은 MatLab을 이용해 전압이득 변화요소에 따른 전압이득의 변화를 시뮬레이션한 결과이다. Matlab 시뮬

레이션을 통하여 스위칭 주파수 대 공진주파수 비가 $f_s = 1.3$ 일 때 즉, $f_s = 1.3f_r$ 일 때 전압이득은 최대가 되는 것을 확인하였다.

주어진 식 (1)과 (2)를 통해 초기 구동시의 스위칭 주파수를 50[kHz]로 설정을 하고 $f_s = 1.3$ 이 되도록 공진 주파수를 40[kHz]로 설정하여 식 (1)과 (2)를 통해 인덕턴스 값과 직병렬 커패시턴스 값을 얻을 수 있다. 계산 결과 $L_r = 6.8[mH]$, $C_p = 2200[\mu F]$, $C_s = 6600[\mu F]$ 의 값을 얻었다.

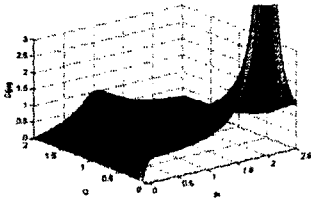


그림 9. $C_n/C_s = 1/3$ 일 때 Q 와 f_s/f_r 의 변화에 따른 전압이득

표1은 설계 및 시뮬레이션을 위해 사용된 CCFL의 사양이다.

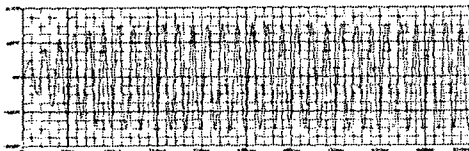
표 1. 실험에 사용된 CCFL 사양

항 목	값
관 경 [mm]	2.4
관 장 [mm]	257
램프 전압 [V _{rms}]	570
램프 전류 [mA _{rms}]	6
램프 전력 [W]	3.42

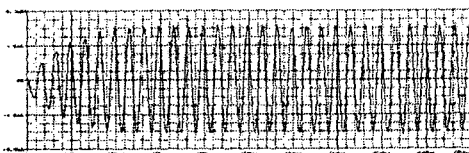
설계 과정에 의한 소자선정의 타당성을 확인하기 위해 그림 4의 CCFL 구동회로를 기준으로 PSpice를 이용하여 시뮬레이션을 하였으며, 시뮬레이션에 사용된 회로정수는 표 2와 같다.

표 2. 시뮬레이션에 사용된 회로정수

항 목	값
스위칭주파수 [kHz]	50
입력전압 [V]	20
L_r [mH]	6.8
C_s [μF]	6600
C_p [μF]	2200
램프등가저항 [k Ω]	100



(a) 출력전압



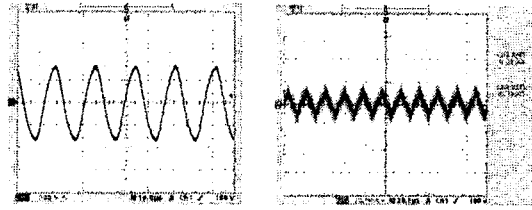
(b) 출력전류

그림 10. Half-Bridge 시뮬레이션 결과 파형

시뮬레이션 결과파형은 그림10에 나타내었다. 출력전압

과 전류는 램프점등에 필요한 전압과 전류를 충족시키는 것을 알 수 있다.

그림 11은 Half-Bridge 인버터의 실험결과에 따른 출력 전압과 전류를 각각 측정된 결과로서 비교적 시뮬레이션 결과와 유사함을 알 수 있다.



(a) 출력전압 (b) 출력전류
그림 11. Half-Bridge 실험결과 파형

4. 결 론

본 연구에서는 광범위한 입력전압의 응용분야에 적용하여 단상 전원에 적합한 LCC 직병렬 공진특성의 공진형 인버터를 적용한 CCFL 구동회로의 설계 및 특성을 분석하였다.

LCC 직병렬 공진회로를 적용한 CCFL 구동용 전원회로는 높은 전압이득과 낮은 스위칭 손실로 램프를 구동할 수 있고, 설계 및 제작된 회로의 실험결과와 시뮬레이션 결과의 비교 분석을 통해 공진특성 파형을 이용한 전압이득 설정과 공진회로 설계의 타당성을 확인하였다.

향후, 입력전압에 따른 출력전압의 Line Regulation 및 부하변동에 따른 효율 특성을 통하여 광범위한 입력전압의 응용분야에 폭넓게 응용될 것으로 기대된다.

[참 고 문 헌]

- [1] Joel A. Donahue, P.E. and Milan M. Jovanovic, "The LCC Inverter as a Cold Cathode Fluorescent Lamp Driver", APEC 1994, pp.427-433.
- [2] M.Jordan, J.O'connor, "Resonant Fluorescent amp Converter Provides Efficient and Compact Solution", Unitorde application note U-141.
- [3] J. Williams, "Designing supplies for powering LCD backlighting," EDN Magazine, Oct. 23, 1992, pp.125-136.
- [4] D. V. Jones, "Current-sourced inverter with saturating output transformer," U. S. Patent 4,344,122, Aug. 10, 1982.
- [5] M. Jordan and J. A. O'Connor, "Resonant fluorescent lamp converter provides efficient and compact solution," Applied Power Electronics Conference Proceedings, pp.424-431, 1993.
- [6] D. V. Jones, "A new resonant converter topology," HFPC Proceedings, pp.48-53, April 1998.
- [7] R. L. Steigerwald, "A comparison of half-bridge resonant converter topologies," IEEE Trans. on Power Electronics, vol. 3, no. 2, pp.174-184, Apr. 1998.
- [8] R. W. Farrington, M. M. Jovanovic, and F. C. Lee, "Analysis of reactive power in resonant converter," IEEE Power Electronics Specialist Conference Proceedings, pp.197-205, 1992.