

조도조절이 가능한 공진형 인버터 적용 CCFL 구동회로의 설계

김철진, 이재근, 김성래, 윤신용  
 한라대학교, 동국대학교

The design of CCFL Driving Circuit by Resonant inverter and Dimming IC

Cheri-Jin Kim, Jae-Geun Ji, Sung-Lae Kim, Shin-Yong Yoon  
 Halla University, Dongguk University

**Abstract** - Cold cathode fluorescent lamp(CCFL) are widely used to illuminate the liquid crystal display(LCD). Usually, CCFL dimming methods are used to lamp current regulation or average current adjust feeding the CCFL inverter. Switching frequency of inverter is higher than resonant frequency at stable states. In this study, design of CCFL driving circuit by half-bridge type series and parallel resonant inverter that variable frequency modulation method to control the output power. This method has advantages such as low EMI and reduced harmonics. And it is easy to dimming control use microprocessor. The validity of this study is confirmed from the simulation and experimental results.

1. 서론

LCD의 백라이트 및 면광원형태의 조명기구에 사용되는 CCFL은 초기 구동시 1200[V]의 고전압과 점등 후 400~800[V]의 일정한 정상전압을 공급하고 전류를 안정화 시킬 수 있는 전원회로를 필요로한다.

공진형 인버터를 적용한 CCFL구동용 전원회로는 quality factor(Q)와 직병렬 커패시턴스의 비( $C_p/C_s$ ), 스위칭주파수( $f_s$ )와 공진주파수( $f_r$ )의 비에 의해 전압이득( $G(j\omega)$ )이 결정된다. 램프의 초기 등가 임피던스는 무한대에 가까워 높은 전압이득을 갖게 되며 램프초기 구동전압은 정상 상태를 기준으로 한 설계 값에서 램프 등가 임피던스에 대한 Q의 변화로 얻어진다. LCC 직병렬 공진회로는 공진주파수보다 높은 스위칭주파수로 동작시 연속도통모드로 동작하게 되며 그 이상의 스위칭주파수에서 조도조절이 가능하다.

본 연구에서는 LCC 직병렬 공진특성을 이용한 공진형 인버터를 구성하여 CCFL을 구동하였으며, 주파수 가변 dimming 및 burst dimming을 프로세서를 이용하여 제어 가 가능하도록 하였다. 직병렬공진의 전압이득특성은 시뮬레이션을 통하여 해석하였고, 실험을 통하여 프로세서를 사용한 dimming 제어가 안정적으로 동작되고 있음을 확인하였다.

2. 공진형 인버터의 동작 원리 및 해석

2.1 공진형인버터의 동작원리

그림 1의 등가회로는 스위칭 소자의 동작에 의해 구형파 전원이 인가되는 직병렬 LCC공진 형태이다. 직병렬 LCC공진은 직렬부하에서 레귤레이션 부족의 단점을 제거하고, 병렬부하에 대해서는 부하전류가 독립이 되므로 안정적인 동작을 하는 장점을 가진다. 램프 점등 전과 후로 해석할 수 있다.

점등 전에는 램프등가저항( $R_{lamp}$ )이 매우 크기 때문에

개방회로로 가정되고  $L_r$ 과  $C_s$ ,  $C_p$ 의 합성커패시턴스로 이루어진 병렬공진회로의 특성을 가지게 된다. 이때의 공진주파수( $f_r$ )와 Q는 식(1), (2)와 같다.

$$\text{점등전} : f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_r \times \left(\frac{C_s \times C_p}{C_s + C_p}\right)}} \quad \text{식(1)}$$

$$Q = 0 \quad \text{식(2)}$$

(여기서,  $L_r$ : 공진인덕턴스,  $C_p$ : 병렬커패시턴스,  $C_s$ : 직렬커패시턴스)

점등 후에는 램프의 등가저항이 낮아지므로 병렬커패시턴스  $C_p$ 의 영향이 줄어들고  $L_r$ 과  $C_s$ 의 직렬공진회로의 특성을 가지게 된다. 이때의 공진주파수와 Q는 식(3), (4)와 같다.

$$\text{점등후} : f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_r \times C_s}} \quad \text{식(3)}$$

$$Q = \frac{\sqrt{L_r/C_s}}{R_{lamp}} \quad \text{식(4)}$$

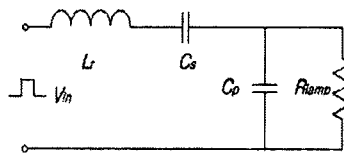


그림1. LCC직병렬 공진 등가회로

스위칭주파수가 공진주파수보다 높을 때 연속도통모드 동작이 가능하고 공진커패시턴스  $C_s$ 와  $C_p$ 는 식(1), (3)을 이용하여 구할 수 있으며, 공진인덕턴스  $L_r$ 은 식(3)을 이용하여 구할 수 있다.

등가회로의 입력측에서 본 공진회로의 임피던스 Z는 식(5)와 같다.

$$Z = j\omega L_r + \frac{1}{j\omega C_s} + \frac{R_{lamp}}{1 + j\omega C_p R_{lamp}} \quad \text{식(5)}$$

인버터의 전압이득은 임피던스의 비로 나타낼 수 있으며,  $\omega = 2\pi f$ ,  $f_r = 1/(2\pi\sqrt{L_r \times C_s})$ ,  $Q = (\sqrt{L_r/C_s})/R_{lamp}$  이므로  $R_{lamp}$ ,  $L_r$ ,  $C_p$ ,  $C_s$ 를 Q와  $f_r$ 로 대입하면 식(6)과 같다, 그 크기는 식(7)과 같다.

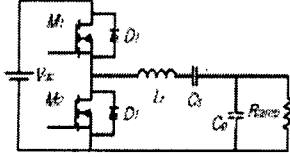
$$G(j\omega) = \frac{V_{lamp}}{V_{in}} = \frac{1}{1 + (C_p/C_s)(1 - f_n^2) + jQ(f_n - 1/f_n)} \quad \text{식(6)}$$

(여기서,  $f_n = f_s/f_r$  (주파수 비))

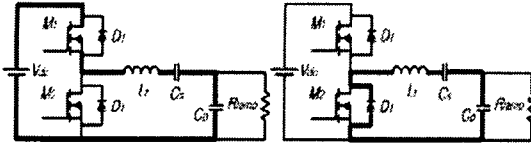
$$|G(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{\{1 + (C_p/C_s)(1 - f_n^2)\}^2 + Q^2(f_n - 1/f_n)^2}} \quad \text{식(7)}$$

이 식에서  $C_p/C_s$ 에 따라 전압이득이 변화함을 알 수 있으며, 이 값은 회로의 직병렬 공진특성을 결정하게 된다.  $C_p/C_s = 1$ 일 때 인버터는 직렬공진과 병렬공진의 단점을 보완하게 되므로 본 연구에서는 직렬커패시턴스와 병렬커패시턴스를 같게 설계하였다.

## 2.2 모드 해석

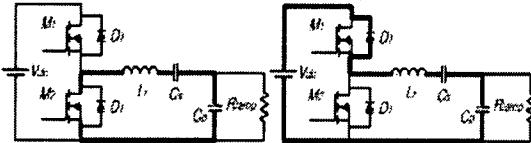


(a) 공진형 인버터 회로



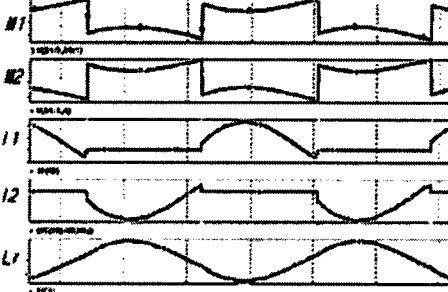
(b) mode 1

(c) mode 2



(d) mode 3

(e) mode 4



(e) 스위칭 소자의 동작에 따른 전압, 전류파형  
그림 2. 모드별 동작

### mode 1

$M_1$ 이 on되면  $V_{dc}$ 에 의해 공진회로에 전원이 공급되고 전원 에너지는  $L$ 에 축적된다. 인덕터에 흐르는 전류 ( $i_L$ )는 인덕턴스와 입력전압의 비에 비례하는 기울기로 증가한다.

$$i_L = \frac{V_{dc}}{\beta L} \exp(-\alpha t) \sin \beta t \quad \text{식(9)}$$

$$\alpha = \frac{R_{lamp}}{2L}, \quad \beta = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R_{lamp}}{2L}\right)^2}$$

$C$ 는  $C_s$ 와  $C_p$ 의 합성커패시턴스이다.

### mode 2

$M_1$ 이 off시 위상지연전류에 의해  $D_2$ 를 통해 전류루프를 형성하게 된다.

### mode 3

mode2가 끝나고  $M_2$ 가 on 되면 공진회로에 축적된 에너지는 mode 3과 같은 루프로 방출된다.

### mode 4

$M_2$ 의 개방으로 인해 인덕터를 통해 흐르던 전류는  $D_1$ 을 거쳐서  $V_{dc}$ 로 회생된다.

$M_1$ ,  $M_2$ 의 주기적인 교대 동작을 통하여 구형파교류가 발생되며, 공진탱크의 필터 작용으로 정현적인 교류출력이 램프에 인가된다.

## 3. 회로 설계

### 3.1 공진회로 설계

공진회로에서 직렬커패시턴스 ( $C_s$ )와 병렬커패시턴스

( $C_p$ )의 비, 스위칭주파수 ( $f_s$ )와 공진주파수 ( $f_r$ )의 비  $f_s/f_r$ , 그리고 공진파형의 quality factor ( $Q$ )에 의해 전압이득을 결정할 수 있다.

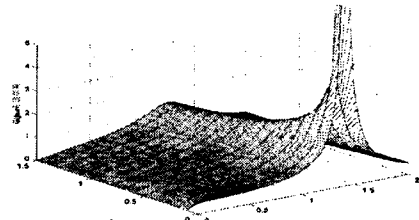


그림 3.  $C_p/C_s=1$ 일 때  $Q$ 와  $f_s/f_r$ 의 변화에 따른 전압이득

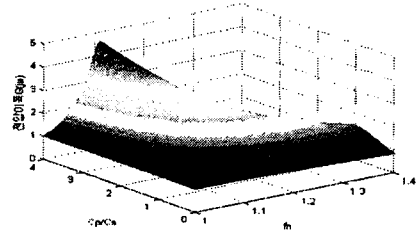


그림 4.  $Q=1$ 일 때  $C_p/C_s$ 와  $f_s/f_r$ 의 변화에 따른 전압이득

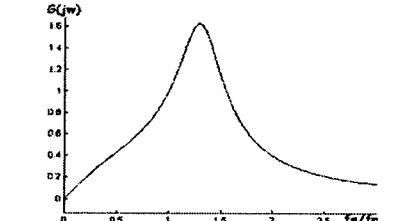


그림 5.  $Q=1$ 일 때  $f_s/f_r$ 에 따른 전압이득

그림5와 같이 스위칭 주파수가  $f_s=1.3f_r$  일때 전압이득은 최대가 되고, 스위칭주파수가 증가하거나 감소하면 전압이득은 감소한다. 시뮬레이션 된 전압이득 특성에 의해 스위칭주파수와 공진주파수의 비, 직렬커패시턴스의 비를 결정하고 주어진 식에 의해 커패시턴스 값과 인덕턴스 값을 결정한다. 직렬공진의 경우 무부하에서 진부하에 걸쳐 출력이 크게 변하게 된다. 직렬공진은 직렬공진의 단점인 출력 안정도를 높이며 병렬부하에 대해 부하전류가 독립이 되는 장점을 가진다.  $C_p/C_s=1$ 일 때 부하변동에 대한 효율과 적절한 상위주파수를 갖는 무부하에서의 안정도를 높이는 타협점이 되므로 본 연구에서는 직렬커패시턴스와 병렬커패시턴스 값을 같게 설계하였다. 또한 스위칭주파수가 공진주파수보다 높을 때 연속도동모드로 동작하므로 이에 따라 주파수를 결정하고 전압이득이 급격히 변하지 않는 범위에서 디밍범위를 결정한다.

### 3.2 Dimming 제어

설계된 CCFL구동용 안정기의 조도조절은 주파수 가변 및 ON/OFF제어를 통해 이뤄진다. 오차증폭기와 비교기로 구성되어진 dimming 제어회로는 외부 DC레벨에 의해 비교적 넓은 범위의 dimming 제어가 가능하다. 외부 DC신호는 비교기에 의하여 반송파와 비교되고 dimming출력을 제어하게 된다.

프로세서와 D/A컨버터를 이용해 dimming 입력을 제어하게 되고, 이때 램프의 동작여부와 이상상태를 피드백 받아 이상여부 검출 시 초기화하며, 외부 신호를 받아 8bit(256단계)신호로 D/A컨버터에 전송해 DC 전압으로 출력하여 dimming 제어부로 보내게 된다.

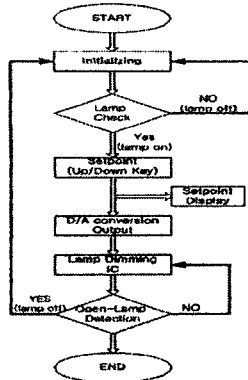


그림 6. 프로세서 제어부의 block diagram

#### 4. 시뮬레이션 및 실험결과

##### 4.1 시뮬레이션 결과

고주파변압기의 1차측 인덕터에 의해 공진점은 2개가 존재한다. 출력에 필요한 전압이득은 공진소자에 의해 형성되는 공진점을 사용하며, 출력전압은 공진소자의 필터작용에 의해 정현파가 되고, 정상상태에서 전압이 안정화되면 전류는 램프의 등가임피던스에 의해 안정화된다. 그림 7은 시뮬레이션을 위한 회로도이고, 시뮬레이션 된 램프양단의 전압과 전류는 그림 8과 같다.

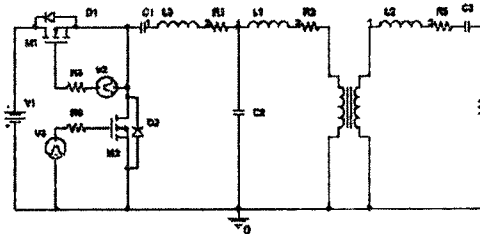


그림 7. 시뮬레이션 회로

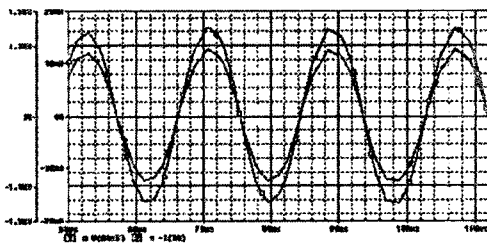


그림 8. 시뮬레이션 램프 전압, 전류

##### 4.2 실험 결과

주어진 직병렬공진회로의 해석과 시뮬레이션을 통해 전압이득과 조도조절 범위를 고려하여 설계된 부품 및 실험 조건은 표1에 제시하였다.

표 1. 실험 조건 및 설계된 회로 정수

항 목	값
입력전압	DC 12[V]
CCFL 등가저항	150[kΩ]
스위칭주파수	55[kHz]
$L_r$	15.5[μH]
$C_r$	1[μF]
$C_s$	1[μF]
변압기 권선수(1차/2차)	15/170

그림7과 같이 구성된 공진회로에 프로세서 제어부와 dimming 제어부를 결합한 회로의 출력파형을 그림9에 나타내었다. 그림9(a)는 램프 출력전압 파형이며, 그림 9(b),(c),(d)는 dimming제어회로의 출력전압 파형이다.

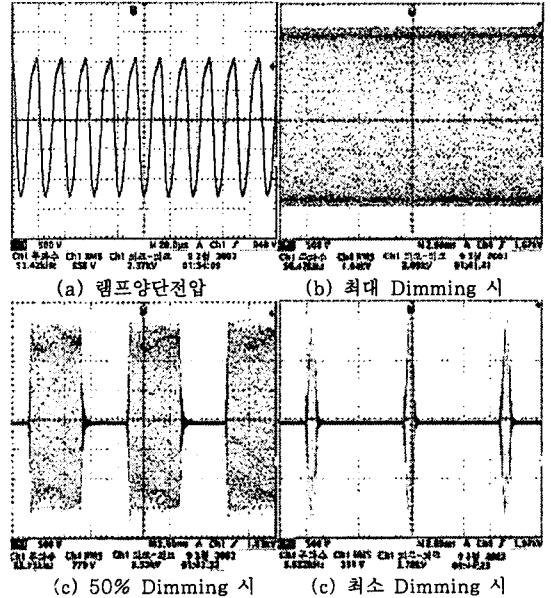


그림 9. 실험파형

#### 5. 결 론

LCC 직병렬 공진회로를 적용한 CCFL 구동용 전원회로는 높은 전압이득과 낮은 스위칭 손실로 램프를 구동할 수 있고, 스위칭 주파수에 대한 출력전압이득의 변화로 램프 조도를 조절할 수 있어 이동용 배터리를 이용하는 CCFL 장착기기의 불필요한 전력소비를 감소시켜 기기 소형화의 장점을 갖는다.

본 연구에서는 조도조절이 가능한 공진형 인버터의 설계방법을 제시하였으며, 프로세서와 D/A컨버터를 사용해 조도조절을 제어하도록 설계하였다.

설계 및 제작된 회로의 실험결과와 시뮬레이션 결과의 비교 분석을 통해 공진특성 파형을 이용한 전압이득 설정과 공진회로 설계의 타당성을 증명하였다.

#### [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] Louis Robert Nerone, "Design of a 2.5-MHz, Soft-Switching, Class-D Converter for Electroless Lighting", IEEE Trans. On Power Electronics, Vol 12, No 3, May 1997.
- [3] M.Jordan, J.O'connor, "Resonant Fluorescent Lamp Converter Provides Efficient and Compact Solution", Unirode application note U-141.
- [4] S.W.Lee, D.Y.Ko, D.Y.Huh and Y.I.Yoo "Simplified Control Technique for LCD Backlight Inverter System Using the Mixed Dimming Method" IEEE Trans. On Power Electronics.
- [5] S.A.El-Hamamsy, "Design of High-Efficiency RF Class-D Power Amplifier," IEEE Trans. On Power Electronics, Vol 9, No 3, pp.297-308, May 1994.