

HID 램프를 위한 전자식 안정기의 LCC 공진 인버터의 최적 설계

論 文

56-3-13

An Optimal Design of LCC Resonant Inverter for Electronic Ballast to Drive HID Lamp

朴 鍾 演* · 張 牧 淳** · 林 秉 魯†
(Chong-Yeun Park · Mog-Soon Jang · Byoung-Noh Lim)

Abstract - This paper presents a new method for determining L, Cs, and Cp in a series parallel resonant inverter. This inverter is suitable for driving high-intensity discharge (HID) lamps. The operating frequency is selected to avoid acoustic resonances which are governed by the size and shape of the arc tube. L, Cs and Cp, are chosen to satisfy the ignition and steady state requirements of the lamp. Equations are developed to analyze the starting condition and steady state operating condition of the lamp. For the prototype ballast for a 250W Metal Halide Lamp, experimental results are presented in order to validate the proposed method.

Key Words : 메탈헤라이드, LCC 공진 탱크, 직-병렬 공진 인버터(SPRI), 음향공명현상(Acoustic resonances)

I. 서 론

HID 램프는 다른 광원에 비해서 효율이 높은 장점을 가지고 있지만, 점등 전압이 높고, 과도기간이 길어 용도가 극히 제한되어 보편화되지 못하였다. 현재 메탈헤라이드 램프와 같은 고압 방전등은 가로등 및 옥외 조명등으로 주로 사용되어 왔다. 그러나 최근 메탈헤라이드 램프의 좋은 연색성과 긴 수명 때문에 백화점 및 대형매장에서 전시용 조명등으로 사용되어 지고 있다. 특히 메탈헤라이드용 전자식 안정기가 개발되면서 높은 광 출력과 크기와 무게가 작아지고, 플리커링과 험 잡음이 제거되었으며, 역률과 THD(Total Harmonic Distortion)가 개선되었다.[1][2]

메탈헤라이드 램프를 위한 전형적인 전자식 안정기의 구조는 공진 인버터이다. 이 구조는 공진 탱크 회로와 Half Bridge 또는 Full Bridge 구조를 갖는 고주파 인버터로 정현 고주파 전압을 램프에 인가하고 램프 전류를 제어하는 역할을 한다.[3][4] 이러한 공진 탱크회로는 직렬 LC, 병렬 LC, 또는 직, 병렬의 LCC회로가 있다. 현재 몇몇 논문에서 각 인버터에 대한 비교특성을 발표하였으며,[5][6] LCC 공진 인버터가 메탈헤라이드와 같은 HID 램프의 동작을 위해서 가장 우수한 특성을 갖는 것으로 발표되었다.[7]

LCC 공진 인버터는 전압 이득이 크고 비교적 낮은 입력 전류를 가지며, 입력과 부하에 대한 낮은 민감도를 가진다.[7] 그러나 이러한 고주파수 동작은 특정 주파수 대역에서 램프의 물리적인 구조로 인한 음향공명이 발생하여 아크의 떨림 현상이 발생할 뿐 아니라 심한 경우 아크 튜브의

파괴를 가져올 수 있다.[8] 이러한 음향공명 현상을 피하는 방법으로는 200kHz 이상의 고주파로 동작시키거나,[8] 200kHz 이하의 주파수 대역에서 음향공명이 발생하지 않는 대역을 계산하여 이 대역 내에서 동작시키는 방법이 있다. 200kHz 이상의 고주파 동작은 스위칭 손실이 커지게 되며 특히 대용량인 경우 스위칭 소자의 부담이 커져서 바람직하지 않다.

따라서 본 연구에서는 공명 현상이 발생하지 않고 스위칭 손실을 최소로 하는 주파수 대역을 계산하여 이 대역 내에서 램프가 정격전력으로 동작하도록 최적의 공진 인버터의 LCC 값을 설계하는 방법을 제안하였으며, 이렇게 구한 값은 램프의 점등 조건을 만족하는지를 검토하였다.

II. LCC 공진회로의 최적 설계

LCC 공진 회로는 그림 1과 같으며, 점등 상태와 정상 동작 상태에서 해석한다. 점등 전 상태의 램프는 개방되어 있으므로 램프 양단의 저항은 무한대로, 점등 과정 중에는 큰 저항 값을 갖는 것으로 고려한다.[9] 이때 LCC 공진 회로의 역할은 점등에 필요한 충분한 전압, 전류를 램프에 공급하여 램프가 점등되도록 하는 것이다.

정상 동작 상태에서는 먼저 음향공명현상이 발생하지 않고 스위칭 손실을 최소로 하는 주파수 대역을 계산하고 이 대역 내에서 램프가 정격전력으로 동작하도록 최적의 L, Cs, Cp를 선정한다.

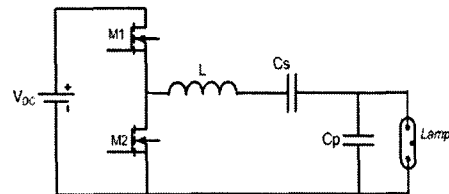


그림 1 LCC 공진 회로에 의한 Half Bridge 인버터
Fig. 1 Half Bridge inverter with LCC resonant circuit

* 正 會 員 : 江 原 大 學 電 氣 工 學 科 教 授 · 工 博
** 正 會 員 : 江 原 大 學 電 氣 工 學 科 工 博
† 교 신 著 者 , 正 會 員 : 江 原 大 學 電 氣 工 學 科 碩 士 課 程
E-mail : springhart@naver.com

接 受 日 字 : 2006 年 11 月 7 日
最 終 完 了 : 2006 年 12 月 28 日

수식의 유도를 위해서 다음과 같이 기호를 정의한다.

R_z 램프의 점등 전 유한 저항값

Q_{oc} 점예도

$C_n = \frac{C_p}{C_s}$ 커패시턴스 비

$w_{ig} = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C_s / C_p}}$ 점등 주파수

$w_o = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C_s}}$ LCC 공진 주파수

$Z_o = w_o \cdot L = \frac{1}{w_o C_s}$ LCC 공진 회로의 특성임피던스

V_{in} LCC 입력 전압

A. 음향공명 주파수 대역

램프에 대한 입력 전력은 튜브 내의 가스를 가열시켜 압력을 주기적으로 변화시킨다. 이러한 주기적인 압력의 변화는 튜브 벽에 반사되어 정재파(定在波 : Standing Wave)를 발생시킨다. 입력전력과 정재파의 주파수가 일치되면 튜브 내 압력의 변화가 증폭되어 음향 공명을 발생시킨다.[8] 정재파의 주파수는 튜브의 고유 진동수와 같으므로 튜브의 고유 진동수를 통해 램프의 음향공명이 발생하는 주파수 대역을 계산할 수 있다. 램프의 튜브를 그림 2와 같이 원기둥으로 고려하였다.[10]



그림 2 튜브의 원기둥 구조

Fig. 2 Cylindrical Geometry of Tube

튜브에 대한 고유주파수는 그림 2의 반지름(Radial) 방향과 방위각(azimuthal) 방향, 그리고 길이(longitudinal) 방향과 또한 각각의 조합에 의해서 발생한다.[10] 표 1에서 C_{ss} 는 튜브 내의 소리의 속도이며, r, a, l 은 각각 길이, 반지름, 방위각의 방향에 대한 차수이다.

표 1 램프 튜브의 음향공명 주파수

Table 1 Frequency of Acoustic resonances of Lamp Tube

Resonance Freq.	Formula
Longitudinal	$f_{00l} = (\frac{n_l C_{ss}}{2L})$
Radial	$f_{0r0} = \frac{C_{ss} a_{0r}}{2\pi R}$
Azimuthal	$f_{a00} = \frac{C_{ss} a_{a0}}{2\pi R}$
Radial - Longitudinal	$f_{0rl} = \sqrt{f_{0r0}^2 + f_{00l}^2}$
Azimuthal - Longitudinal	$f_{a0l} = \sqrt{f_{a00}^2 + f_{00l}^2}$
Radial - Azimuthal	$f_{ar0} = \sqrt{f_{a00}^2 + f_{0r0}^2}$
Longitudinal-Radial-Azimuthal	$f_{arl} = \sqrt{f_{ar0}^2 + f_{00l}^2}$
Sub-harmonics	$(\frac{1}{6}, \frac{1}{4}, \frac{1}{2}) \times \text{Basic-freq.}$

B. 램프 등가 저항

HID 램프의 임피던스는 고주파 정상 동작에서 등가 저항으로 나타나며, 램프의 등가저항은 전력의 함수로 식 (1)과 같이 구할 수 있다.[9] 정상상태에서 램프의 전력을 가변하면서 램프의 전압을 얻어 전력에 대한 등가저항을 구하였다. 실험을 통해 얻어진 램프의 등가저항은 그림 3과 같다.

$$R(p) = \frac{v^2(p)}{p} \tag{1}$$

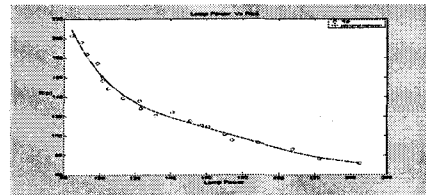


그림 3 전력에 대한 램프의 저항

Fig. 3 Lamp power Vs Lamp Resistance

그림 3에서 램프의 입력 전력이 증가 할수록 램프의 등가 저항이 감소하는 것으로 나타났으며, 등가저항 $R(p)$ 은 그림 3으로부터 회귀분석에 의한 다항식으로 식(2)과 같이 얻었다.[9] 아래의 램프의 등가 저항식은 램프 정상 동작상태에서의 정격전력에서 동작하도록 하는 조건을 구하는데 사용된다.

$$R(p) = 0.0001p^5 - 0.0074p^4 + 0.1134p^3 - 0.2317p^2 - 11.334p + 217.36 \tag{2}$$

C. 점등 상태의 해석

1) 램프 점등 전 상태

램프의 점등 상태는 점등 전의 상태와 점등 과정 상태로 나누어 해석하였다. 점등 전 램프의 상태는 무한대의 저항이므로 오픈 회로로 등가 할 수 있으며 그림 4와 같다. 여기서 인티터의 직렬 등가 저항 성분과 커패시터의 직렬 등가 저항인 ESR(Equivalent Series Resistance)를 식(3)과 같이 고려한다.

$$R_{esr} = R_L + R_{Cs} + R_{Cp} \tag{3}$$

여기서 R_L, R_{Cs}, R_{Cp} 는 각각 L, C_s, C_p 의 직렬 등가저항이다.

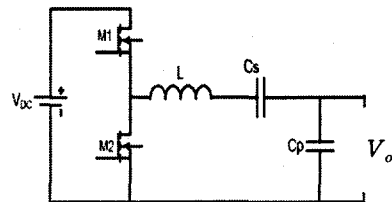


그림 4 램프의 점등 전 회로

Fig. 4 Inverter circuit before igniter

직렬 등가 저항 ESR을 고려한 그림 4의 전달함수는 식 (4)이며,

$$H(s) = \frac{1}{LC_p} \frac{1}{s^2 + s \frac{R_{esr}}{L} + \frac{C_s + C_p}{LC_s C_p}} \quad (4)$$

식(4)의 분모로부터 공진 특성의 첨예도는 식(5)과 같이 구하였다.

$$Q_{oc} = \frac{1}{R_{esr}} \sqrt{\frac{1+C_n}{C_n} \frac{L}{C_s}} \quad (5)$$

램프 점등에 필요한 높은 전압을 발생시키기 위해서는 식(5)이 $Q_{oc} \gg 1$ 이어야 하며 이러한 조건을 특성 임피던스 Z_o 와 커패시턴스 비 C_n 로 표현하면 식(5)으로부터 식(6)을 구할 수 있다.

$$Z_o \sqrt{\frac{1+C_n}{C_n}} \gg R_{esr} \quad (6)$$

2) 램프의 점등 과정 상태

램프의 점등 과정에서의 상태는 램프의 등가저항이 무한대가 아니라 어떤 유한한 값 R_z 를 가지며 그림 5와 같다. 이때 ESR은 무시하였다.[12]

그림 1의 $\frac{V_o(s)}{V_{in}(s)} = H(s)$ 는 식(7)과 같으며, 크기는 식(8)과 같다.

$$H(s) = \frac{sR_z C_s}{s^3 LC_s C_p R_z + s^2 LC_s + sR_z(C_s + C_p)} + 1 \quad (7)$$

$$|H(j\omega)| = \frac{\omega R_z C_s}{\sqrt{(1 - \omega^2 LC_s)^2 + [\omega R_z(C_s + C_p)(1 - \frac{\omega^2 LC_s C_p}{C_s + C_p})]^2}} \quad (8)$$

식(8)이 최대 전압을 갖기 위해서는 분모가 최소가 되어야 하며, 점등 과정의 램프 등가 저항 R_z 는 비교적 큰 값을 가지므로 식(9)와 같은 관계식을 얻을 수 있다.

$$(1 - \omega^2 LC_s)^2 \ll [\omega R_z(C_s + C_p)(1 - \frac{\omega^2 LC_s C_p}{C_s + C_p})]^2 \quad (9)$$

식(9)의 우변이 '0'이 될 때 식(8)이 최대값을 갖는다. 따라서 $\omega^2 = \frac{C_s + C_p}{LC_s C_p}$ 이며 식(9)의 우변이 '0'이 되어 식(8)의 분모가 최소가 되므로 식(8)이 최대가 되는 식(10)을 얻을 수 있다.

$$|H(j\omega)| = \frac{\omega R_z C_s}{1 - \omega^2 LC_s} \quad (10)$$

식(10)에 ω^2 를 대입하여 전개하면 식(11)을 얻을 수 있으며,

$$\left| \frac{V_o}{V_{in}} \right| = -\frac{R_z}{Z_o} \sqrt{(1+C_n) \cdot C_n} \quad (11)$$

식(11)으로부터 인버터 출력 전압을 식(12)과 얻었다.

$$V_o = \left| -\frac{R_z}{Z_o} \sqrt{(1+C_n) \cdot C_n} V_{in} \right| \quad (12)$$

식(12)에서 램프가 점등하기 위한 조건은 인버터의 출력 전압이 램프의 점등 전압 이상이 되어야 식(13)을 얻을 수 있다.[13]

$$V_{ignition} < \left| -\frac{R_z}{Z_o} \sqrt{(1+C_n) \cdot C_n} V_{in} \right| \quad (13)$$

점등 주파수에서 램프가 점등된 후 정상 동작 주파수로 이동하기 전까지 램프의 전력은 램프의 최대 전력 보다는 작아야 하고, 최소 전력 보다는 커야 램프의 아크가 유지된다. 따라서 점등 주파수에서 램프 전력은 최대전력과 최소 전력 사이에 존재해야한다. 따라서 식 (13)로부터 점등 후 경계조건은 식 (14), (15)와 같다.

$$P_{min} \leq \frac{R_{max}}{Z_o^2} (1+C_n) C_n V_{in}^2 \quad (14)$$

$$P_{max} \geq \frac{R_{min}}{Z_o^2} (1+C_n) C_n V_{in}^2 \quad (15)$$

식(14)에서 램프의 아크가 유지되기 위해서는 램프의 최소 동작 전력 보다는 크거나 같아야 하며, 또한 식 (15)으로부터 점등 주파수에서 램프의 전력은 램프의 최대 동작 전력 보다는 같거나 작아야 한다. 따라서 위의 식을 특성 임피던스 Z_o 와 커패시턴스의 비 C_n 으로 표시하면 식(16), (17)을 각각 얻었다.

$$Z_o \leq V_{in} \sqrt{\frac{R_{max}}{P_{min}} (1+C_n) C_n} \quad (16)$$

$$Z_o \geq V_{in} \sqrt{\frac{R_{min}}{P_{max}} (1+C_n) C_n} \quad (17)$$

D. 램프 정상 동작 상태

램프가 정상 동작 상태가 되면 램프의 등가 저항이 식(1)과 같이 전력의 함수로 표현되며, 이때 등가회로는 그림 5와 같다.

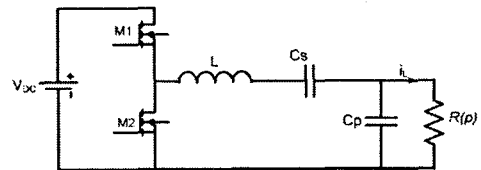


그림 5 램프의 정상 동작 상태의 등가회로

Fig. 5 Equivalent circuit with normal operating of Lamp

그림 5의 램프의 입력 전류는 기본파 성분과 고주파 성분으로 구성되며 식(18)과 같으며

$$i_L(\omega) = \frac{V_{in}}{(R(p) + \frac{R(p)C_p}{C_s} - \omega^2 R(p)LC_p) + j(\omega L - \frac{1}{\omega C_s})} \quad (18)$$

램프로 공급되는 전력은 식(19)로 표현된다.

$$P_{Lamp} = |i_L(\omega)|^2 R(p) \quad (19)$$

식(19)에 램프 등가 저항 식(1)과 램프입력 전류 식(18)을 대입하면 정상 동작 상태에서의 램프 전력을 식(20)과 같이 구할 수 있다.

$$P_{Lamp} = \frac{V_{in}^2 \cdot R(p)}{(R(p) + R(p) \cdot C_n - R(p) \cdot C_n \left(\frac{w}{w_0}\right)^2 + Z_0^2 \left(\frac{w}{w_0} - \frac{w_0}{w}\right)^2} \quad (20)$$

식 (20)으로부터 램프의 등가 저항을 포함한 특성 임피던스를 구하면 식(21)을 얻는다.

$$Z_o = \frac{\sqrt{\frac{V_{in}^2 \cdot R(p)}{P} - (R(p) - \left(\frac{w}{w_0}\right)^2 \cdot R(p) \cdot C_n)^2}}{\left(\frac{w}{w_0} - \frac{w_0}{w}\right)} \quad (21)$$

식(21)을 통해서 정상 동작 상태에서 램프가 정격전력을 만족하는 특성 임피던스 Z_o 와 C_s , C_p 의 비 C_n 를 구할 수 있다.

위의 조건식들은 점등상태와 정상 동작 상태에서 구한 것으로 특성 임피던스와 커패시턴스 비에 의해 각 조건식들을 구하였으며 표 2와 같다. 표 2의 조건들을 동시에 만족하는 Z_o 와 C_n 를 구하여 이것으로부터 최적의 L , C_s , C_p 값을 구한다.

표 2 최적의 L , C_s , C_p 를 위한 조건식
Table 2 Condition equation of optimal L, C_s, C_p

상태	조건식 번호	조건식
점등 상태	점등 초기 I	$Z_o \sqrt{\frac{1+C_n}{C_n}} \gg R_{esr}$
	점등 과정 II	$V_{ignition} < \left -\frac{R_z}{Z_{oc}} \sqrt{(1+C_n) \cdot C_n} V_{in} \right $
	점등 경계 조건 III	$Z_o \geq V_{in} \sqrt{\frac{R_{min}}{P_{max}} (1+C_n) C_n}$
	IV	$Z_o \leq V_{in} \sqrt{\frac{R_{max}}{P_{min}} (1+C_n) C_n}$
정상 동작 상태	정격 동작 전력 V	$Z_o = \frac{\sqrt{\frac{V_{in}^2 R(p)}{P} - \left(-\left(\frac{w}{w_0}\right)^2 R(p) C_n + R(p)\right)^2}}{\left(\frac{w}{w_0} - \frac{w_0}{w}\right)}$

III. 설계 및 절차

제안된 조건에 의한 최적 설계는 먼저 음향공명이 발생하지 않는 영역을 램프의 튜브의 크기와 모양에 의해서 계산하고, 계산된 대역 내에서 점등 초기 조건, 점등 과정 조건, 정상 동작 하의 정격 전력 동작 조건을 만족하는 특성 임피던스 Z_o , 커패시터의 비 C_n 값을 각각 구하여 각 조건을 만족하는 최적의 L , C_s , C_p 를 구한다.

실험을 위한 설계 조건은 다음과 같다.

- 램프 : 250W Metal halide Lamp
- 정상상태 정격 램프 전력 $P_{max} = 250W$
- $V_{DC} = 400V$

단계 1. 램프의 음향공명 주파수 대역을 구함

음향 공명 주파수의 계산은 각 방향의 2차까지 고려하였다. 실험에서 램프의 아크 튜브의 크기는 길이 $L : 5cm$, 반지름 $R : 0.6cm$ 인 램프를 사용하였으며, 계산 결과로 표 3을 얻을 수 있다.

표 3에서 공명이 빈번한 대역은 5.5kHz부터 시작하여 50kHz까지가 저주파 음향 공명 대역으로 나타났으며, 고주파대역의 공명 대역은 70.5kHz부터 88.4kHz로 나타났으며 그림 6과 같다.

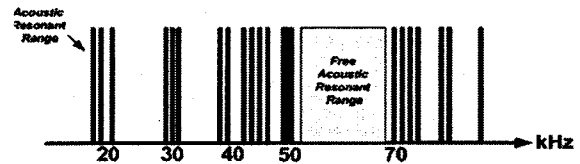


그림 6 램프의 음향공명 주파수 대역
Fig. 6 Frequency range of Acoustic resonance of Lamp

그림 6에서 음향 공명 현상을 피할 수 있으면서 스위칭 손실을 최소로 줄일 수 있는 주파수 대역은 50kHz부터 70kHz대역으로 나타났다. 따라서 본 연구의 동작 주파수를 50kHz와 70kHz의 중간 지점인 60kHz로 하였다.

표 3 램프의 음향공명 대역
Table 3 Acoustic resonance range of Lamp

Acoustic Modes	Acoustic Freq. (kHz)	Acoustic Modes	Acoustic Freq. (kHz)
f_{001}	5.5	f_{210}	49.3
f_{002}	11.1	f_{211}	49.6
f_{100}	18.4	f_{212}	50.5
f_{101}	19.2	f_{020}	70.5
f_{102}	21.5	f_{021}	70.7
f_{200}	30.7	f_{022}	71.4
f_{201}	31.2	f_{120}	72.8
f_{202}	32.7	f_{121}	73.1
f_{010}	38.6	f_{122}	73.7
f_{011}	38.9	f_{011}	73.8
f_{012}	40.1	f_{220}	76.9
f_{110}	42.7	f_{221}	77.1
f_{111}	43.1	f_{222}	77.7
f_{112}	44.1	f_{012}	88.4

단계 2. 조건식에 의한 Z_o , C_n 값 설정

램프 정격전력과 입력전압과 같은 실험 조건과 점등 상태, 정상 동작 상태 해석에 의해 구한 조건식들을 만족하는 특성 임피던스 Z_o 와 커패시턴스 비 C_n 를 구하여 이것으로

부터 최적의 L, Cs, Cp를 구한다.

시동초기 상태 해석에 의한 식(6)의 조건식_I을 통해 특성 임피던스 Zo와 커패시턴스 비 Cn을 그림 7의 조건_I과 같이 구하였다. 또한 시동 중의 점등 전압의 해석에 의한 식(13)의 조건식_II는 그림 7의 조건_II로 구하였다. 점등 조건을 만족하기 위해서는 그림 7에서 조건_I과 조건_II 사이 영역에 구하고자 하는 최적의 Zo, Cn이 존재해야 한다.

또한 점등 주파수에서의 경계조건에 의한 식(16)의 조건식_III과 식(17)의 조건식_IV는 각각 그림 7에서 조건_III과 조건_IV로 그려졌다. 램프가 점등 후 아크를 유지하기 위해서는 조건_III과 조건_IV를 동시에 만족하는 부분에 위치해야 한다.

정상 동작 상태에서 정격전력을 갖도록 하기 위한 식(21)의 조건_V를 구하였다. 이 조건을 만족하는 최적의 점은 그림 7의 Q점으로 이 점에서 램프의 정격전력을 만족한다.

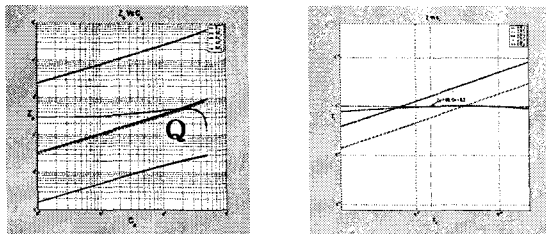


그림 7 조건식들에 의한 그래프와 Q 포인트 확대 그래프
Fig. 7 Graph and extended Q point according to condition equivalence

Q점은 점등 주파수에서의 경계조건을 만족하기 위해서는 조건_III과 조건_IV를 만족해야 하며, 점등 상태의 조건을 만족하기 위해서는 조건_I과 조건_II를 동시에 만족해야 한다. 그림 7을 통해 위의 조건식 I, II, III, IV, V가 동시에 만족하는 Q점을 구하였으며, 그 값은 다음과 같다.

$$Z_o = 50, C_n = 0.2$$

단계 3. Zo, Cn으로부터 L, Cs, Cp를 구함

단계 2에서 구한 조건으로부터 최적의 L, Cs, Cp는 다음 식(22)에 의해 얻었다.

$$\begin{aligned} C_s &= \frac{1}{Z_o \omega_o} = 0.122 \mu F \\ C_p &= C_n C_s = 0.0244 \mu F \\ L &= Z_o^2 C_s = 305 \mu H \end{aligned} \quad (22)$$

IV. 실험 및 결과 검토

제안된 설계 방법과 해석의 증명을 위해, 본 설계 방법에 의해 얻은 L, Cs, Cp와 Driver IC IR21593과 스위치 FET IRF 840을 사용한 Half Bridge 인버터를 실현하여 실험하였으며, 드라이브 IC에 의해서 스위칭 주파수를 60kHz하였다. 시동특성은 그림 9와 같이 제안된 점등 상태 조건에 의해 구한 L, Cs, Cp에 의한 점등전압이 램프를 점등하기에 충분한 점등전압을 생성한다.

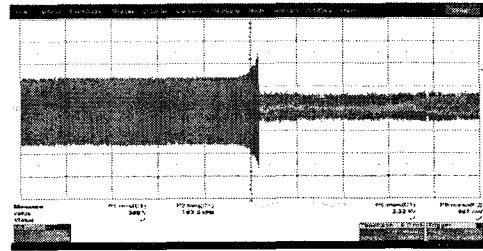


그림 8 점등 전압 파형 (500V/div)
Fig. 8 Waveform of Lamp ignition (500V/div)

그림 8에서 점등 전압의 최고 값이 1.2kV로 250W 램프의 정격 점등 전압을 만족하는 전압을 발생하였다. 정상 동작에서 전력의 변화에 대한 램프의 저항은 그림 9과 같다.

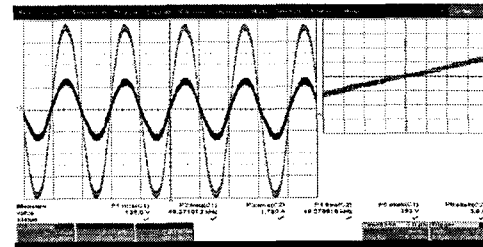


그림 9 램프의 정격 전력 동작에서의 램프 전압, 전류 파형 (50V/div, 2A/div)
Fig. 9 Lamp voltage and current waveform for normal operating (50V/div, 2A/div)

램프의 전압, 전류파형 곡선이 그림 9와 같이 정현파의 형태로 나타났으며, 전압 전류 파형에 고조파가 거의 포함되어 있지 않은 정현파를 램프 입력으로 하고 있음을 볼 수 있다. 또한 램프의 전압, 전류 특성 곡선은 그림 9의 오른쪽에서와 같이 선형적인 모양 즉 저항 성분으로 나타났다. 식 (1)에서와 같이 고주파수 동작에서 램프의 임피던스는 저항 성분으로 고려할 수 있다. 그림 9의 전압, 전류파형에서 음향공명이 발생하지 않을 것으로 나타났으며, 스위칭 손실을 최소화 할 수 있도록 60kHz에서 동작하여 램프가 정상 동작 상태에서 L, Cs, Cp가 램프의 정격전력을 만족하는 것을 그림 9과 같이 확인 하였다.

제안된 방법에 의해 구한 L, Cs, Cp가 음향공명 주파수대역을 필할 수 있도록 설계되었음이 증명되었다.

V. 결 론

본 논문은 메탈헬라이드 램프를 위한 전자식 안정기의 하프브리지 LCC 인버터 L, Cs, Cp의 최적 값을 구하는 새로운 방법을 제안하였다.

HID 램프의 음향공명 주파수 대역을 램프의 아크 튜브의 크기와 모양에 의해서 계산하여 음향공명이 발생하지 않고 스위칭 손실을 최소화 하는 동작 주파수 대역을 구하였다. 램프의 전력에 대한 램프의 등가 저항을 실험에 의한 회귀법에 의해서 구하여 램프의 동작 상태에 대한 등가 회로를 구하였다. 주어진 주파수 대역과 램프의 등가 저항 하에서

램프의 점등 조건과 정상 동작 조건을 만족하는 조건식들을 유도하였다. 유도된 조건식들을 그래프로 그려 최적의 L, Cs, Cp 값을 구하였다.

제안된 방법에 의해 얻어진 L, Cs, Cp 값을 250W 메탈 헬라이드 램프를 위한 하프브리지 LCC 인버터 전자식 안정기에 적용하여 실험하였으며, 제안된 방법이 타당함을 입증하였다. 제안된 방법은 여타의 HID 램프를 위한 전자식 안정기의 고주파 공진 회로의 최적의 L, Cs, Cp을 구하는데 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 강원대학교 정보통신 연구소의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

[1] Hans Juergen Faehnrich, Erhard Rasch, "Electronic Ballasts for Metal Halide Lamps", Journal of the illuminating Engineering Society 131-140, summer 1988

[2] C. Moo, C.Lee, "A high-power factor constant frequency electronic Ballast for Metal Halide Lamps", IEEE PESC '98 Proceedings, pp.1755 - 1760

[3] T.H. Yu, H.M.Huang, T.F Wu, "Self excited half bridge series resonant parallel loaded fluorescent Lamp electronic Ballasts", Applied power Electronics Conference Records, pp.657-664

[4] M. C. Cosby, R. M. Nelms, "A resonant inverter for electronic ballast applications", IEEE Transac., on Power Electronics, vol. 41, No. 4, pp.418-425, Aug. 1994

[5] R. M. Nelms, T. D. Jones, and M. C. Cosby, "A comparison of resonant inverter topologies for HPS Lamp Ballasts", IAS 93, Meet conference, Records, Oct. 1993

[6] D. Tadesse, F. P. Daswon, S. B. Dewan, "A comparison of power circuit topologies and control techniques for a high frequency ballast", IAS 93, Meet, Conference Records, pp. 2341-2347 Oct, 1993

[7] J. Marcos Alonso, Cecilio Blance, Emilio Lopez, Antonio J Calleja, Manuel RICO, "Analysis Design and Optimization of the LCC resonant Inverter as a High-Intensity Discharge Lamp Ballast", IEEE Transac., on Power Electronics, Vol. 13, No. 3, May, 1998

[8] Jo Olsen and Warren P.Moskowitz. "Optical Measurement of Acoustic Resonance Frequencies in HID Lamps" IEEE Industrial Applications Society Annual Meeting New Orleans, Louisiana, Oct. 5-9,1997 pp 2263-2268

[9] Fabio Toshiaki Wakabayashi, Carlos Alberto Canesin, "An Improved Design Procedure for LCC Resonant Filter of Dimmable Electronic Ballasts for Fluorescent Lamps, Based on Lamp Model, IEEE Transac., on Power Electronics, vol. 20, No. 5, pp. 1186-1196, Sep. 2005

[10] H. L. Witting, "Acoustic Resonance in Cylindrical high pressure ARC Discharges", J' Apple Phy. 49(5), May, 1978

[11] J. W. Denneman, "Acoustic Resonances in high Frequency operated low watt metal halide lamps", Philips, J of research, vol. 32, 1983

[12] Marian K. Kazimierczuk and Nandakumar Thirunarayan, Shan Wang, "Analysis of Series-Parallel Resonant Converter" IEEE Trans. on aerospace and electronic systems, vol. 29, No.1 Jan. 1993 pp. 88-98

[13] Gye-Hyun Jo, Chong-Yeun Park, "A study on electronic ballast for metal halide lamps with adaptive starting", Industrial Electronics, 2004 IEEE International Symposium on, Volume 2, 4-7 Page(s):1057 - 1061 vol. 2, May 2004

저 자 소 개



박종연 (朴鍾演)

1951년 2월 23일생. 1973년 고려대학교 전자공학과 졸업. 1980년 경북대 대학원 졸업(석사). 1984년 동대학원 졸업(박사). 1973~1977년 KIST 연구원. 1977~1984년 울산 공대 조교수, 부교수. 1984년~현재 강원대학교 IT 특성화대학 전기전자정보통신공학부 교수.



장목순 (張牧淳)

1966년 10월 25일생. 1992년 강원대학교 전기공학과 졸업(학사). 1994년 동대학원 졸업(석사). 1997년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 1998~2005년 University of Toronto, Electric Power Group 선임 연구원. 2006~현재 강원대학교 전기공학과 강사. (주)올라이트라이프 연구소장.



임병노 (林秉魯)

1978년 11월 18일생. 2002년 안양과학대 전기제어 졸업(전문학사). 2001~2004년 (주)ADG 선임 연구원. 2006년 한림대학교 전자과 졸업(학사). 2006년~현재 강원대학교 대학원 전기전자공학과 석사과정