

전자안정기 구동용 LCC 와 LLCC 병렬 공진형 인버터의 특성에 관한 연구

정주섭 차인수* 최장균**

* 동신대학교 전기전자공학과
** 목포 실업전문대학 자동차 공학과

A Study on the Characteristic of LCC and LLCC Parallel Resonant Inverter for Electronic Ballast

* Ju-sub Jung* In-su Cha* Jang-gyun Choi**

* Dept. of Electrical & Electronic Eng. Dongshin Univ.
** Dept. of Automobile Eng. Mokpo Junior College

Abstract- A new analysis method is presented for the steady state response of electronic ballast circuit.

Comparisons and examination among self excited LCC, LLCC resonant converter of electronic ballast for fluorescent lamp in expect of soft starting, component stress shot of are presented. In this paper, the theoretical discussions and analysis are verified by experimental measurements.

I. 서론

최근에는 보다 가벼운 무게, 작은 크기와 형광램프의 출력에 있어서 보다 적은 플리커를 요구 하기 때문에 전자 안정기는 계속적으로 발전되어지고 있으며 전자안정기와 램프는 50/60HZ에서 동작되는 종래의 전자기적 안정기의 계통보다 가청 주파수 보다 높은 주파수(25kHz이상)에서 동작되고 높은 효율을 갖는다. 전자 안정기의 대부분은 형광등에 대한 구동단계로 공진형 인버터를 이용함으로써 인버터의 스위칭 주파수변화에 의해 램프에 투입되는 전력을 제어한다. [3]~[5]

본 논문에서는 LCC와 LLCC형 공진형 인버터의 제특성을 비교 검토하여 전자 안정기의 전원으로서의 타당성을 검토하였다. 즉, 보다 낮은 고조파에 의한 외형과 보다높은 효율관계를 분석해 보고 스위칭 주파수에 따른 시스템의 제특성을 분석하였다.

II. 회로 구성 및 동작원리

1. LCC형 병렬공진 인버터 회로

그림 1.은 LCC형 병렬 공진 컨버터의 회로를 나타낸다. D_1/T_1 과 D_2/T_2 는 스위칭 주기 T_s 를 넘는 50% 듀티 사이클에서 작동하는 양방향성 스위치에 의해서 나타낼 수 있다. 그림 1.의 LCC형 병렬공진 인버터에 대한 등가회로는 그림 2.에서 보여주고 있다. [1],[2]

연속모드에서 동작하는 LCC형 인버터에 대한 전류와 전

압의 파형을 그림3.에서 나타난 4개회로 토폴로지와 일치하는 동작모드이다. 표 1은 이러한 모드와 그것들이 일어나는 조건들이다.

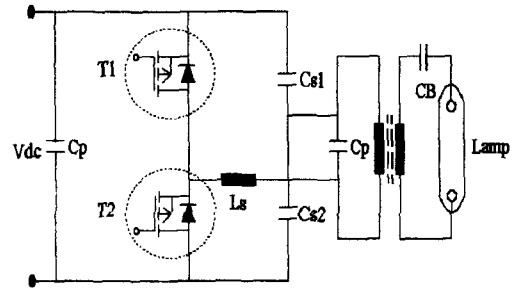


그림 1. LCC형 병렬 공진 인버터

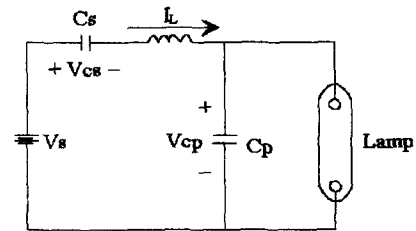
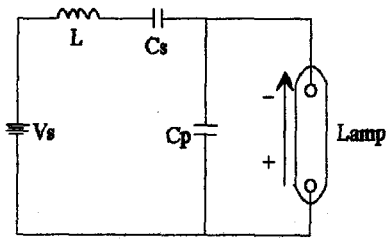


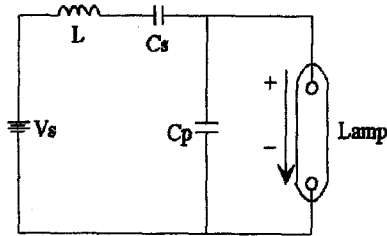
그림 2. LCC형 병렬 공진 인버터의 등가회로

TABLE I.

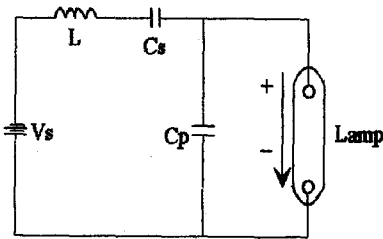
Mode	Switches on	Sign of the rectified voltage	$V_s(t)$	I_e
M1	T1	$v_{\varphi}(t) < 0$	V_g	$-I_o$
M2	T1/D1	$v_{\varphi}(t) > 0$	V_g	$+I_o$
M3	T2	$v_{\varphi}(t) > 0$	$-V_g$	$+I_o$
M4	T2/D2	$v_{\varphi}(t) < 0$	$-V_g$	$-I_o$



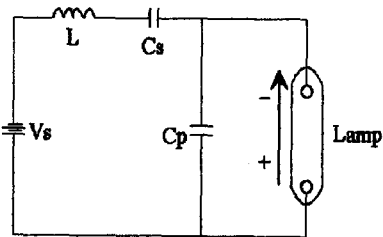
(a) Mode A (M1)



(b) Mode B (M2)



(c) Mode C (M3)



(d) Mode D (M4)

그림 3. 등가회로 토폴로지

인버터의 steady state response는 그림 2의 이상적 등가회로로부터 유도한다. 전압 $V_s(t)$, $V_{Cs}(t)$, $V_{Cp}(t)$ 와 전류 $I_1(t)$, $I_E(t)$ 는 이 그림에 따라 정의한다.

그림 4는 LCC Parallel Resonant Inverter회로의 각부파형을 나타내고 있다.

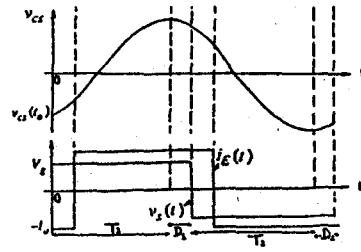
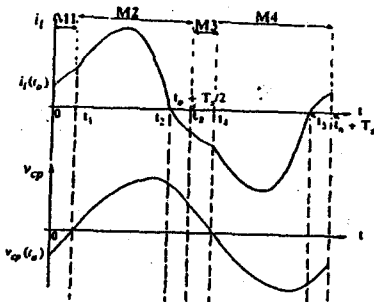


그림 4. LCC형 병렬 공진 인버터회로의 각부파형

그림 2의 회로에 대한 수학적 설명에서 주어진 미분 방정식은 다음과 같이 주어진다.

$$\frac{dI_1(t)}{dt} = 1/2[V_s(t) - V_{Cs}(t) - V_{Cp}(t)] \quad (1)$$

$$\frac{dV_{Cp}(t)}{dt} = 1/C_p I_1(t) - I_E(t) \quad (2)$$

$$\frac{dV_{Cs}(t)}{dt} = \frac{1}{C_s I_1(t)} \quad (3)$$

중래의 시간 영역 접근에 의해서 풀기 어려운 제3차 비선형 계통을 나타낸다. 그렇지만 이것은 상태변수들의 적절한 변형에 의해서 식 (1)-(3)의 steady state solution은 two-dimensional state plane으로써 그림 5와 같이 유도된다.

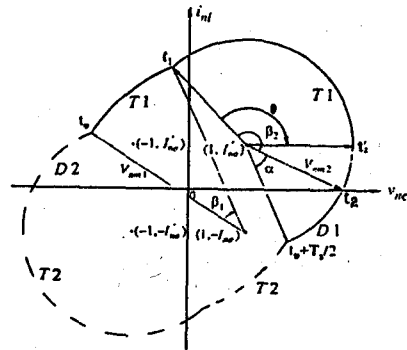


그림 5. LCC형 병렬 공진 인버터에 대한 안정 상태 궤적

스위칭 주기 T_s 에 의해 4개의 시간간격이 존재함을 볼 수 있고 그 해는 V_{nc} - I_{nc} plane에서 4개의 원호를 나타낸다. 즉,

$$(V_{nc} - 1)^2 + (I_{nc} + I'_{no})^2 = V_{nm1}^2 \quad t_0 \leq t < t_1 \quad (4)$$

$$(V_{nc} - 1)^2 + (I_{nc} - I'_{no})^2 = V_{nm2}^2 \quad t_1 \leq t < t_2 \quad (5)$$

$$(V_{nc} + 1)^2 + (I_{nc} - I'_{no})^2 = V_{nm3}^2 \quad t_2 \leq t < t_3 \quad (6)$$

$$(V_{nc} + 1)^2 + (I_{nc} + I'_{no})^2 = V_{nm4}^2 \quad t_3 \leq t < t_0 + T_s \quad (7)$$

$$I'_{no} = [1 - (\omega_{os}/\omega_o)^2] I_{no}$$

2. LLC형 병렬 공진 인버터

양방향성 스위치를 이용한 하프-브릿지 LLC형 병렬공진 인버터를 그림 6에 나타냈다. 그림 6의 LLC형에 대한 간략한 등가회로를 그림 7에 나타냈고, 이에 대한 4개의 토폴로지를 그림 8에 나타냈다.

연속 도통 모드에 있어서 LLC형 병렬 공진인버터의 동작에 대한 Steady State 전압과 전류의 파형은 그림 9에 보여준다. 그림 10은 LLC형 병렬 공진 인버터에 대한 안정 상태 궤적을 보여준다.

그리고 종래적인 LLC형 인버터들과 비슷하게 연속모드에서 동작할 때 이번 인버터는 2와 3과 4에서 보여준 4개의 가능한 회로 도통 모드를 갖는다.

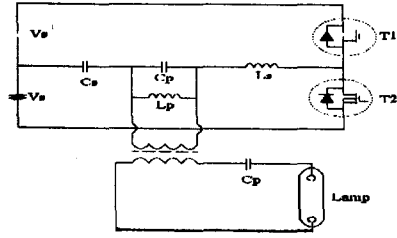


그림 6. LLCC-형 병렬 공진형 인버터 회로

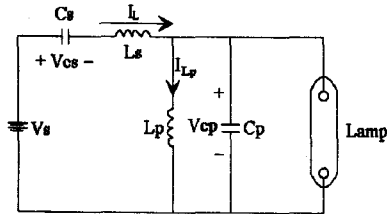
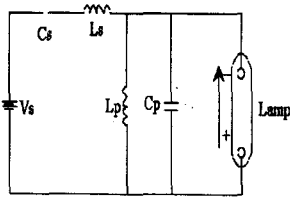
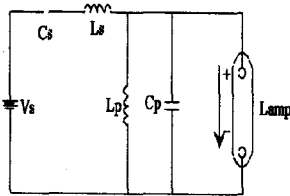


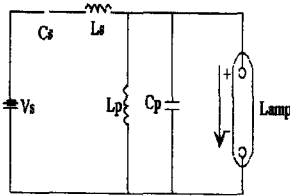
그림 7. 그림 6의 등가회로



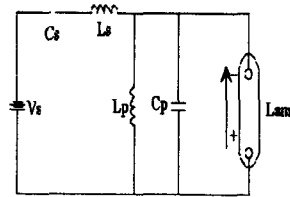
(a) Mode A (M1)



(b) Mode B (M2)



(c) Mode C (M3)



(d) Mode D (M4)

그림 8. 그림 6에 대한 4개의 토폴러지

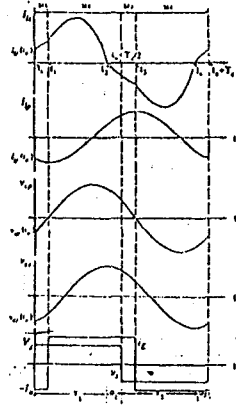
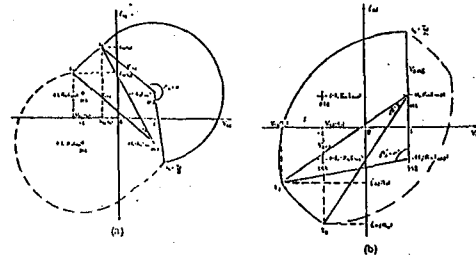


그림 9. LLCC형 병렬 공진 인버터의 전압, 전류 파형



(a) For Vn1-in1 state-plane (b) For Vn2-in2 state-plane

그림 10. LLCC형 병렬 공진 인버터에 대한 안정 상태 궤적

Steady State 응답은 그림 7의 이상적 등가회로로부터 유도할 수 있다.

Ts는 스위칭 주기이며 다음 미분 방정식은 그림 7의 회로 모델에 대한 수학적 방정식이다.

$$\frac{dV_{CP}(t)}{dt} = \frac{1}{C_P} [i_{CS}(t) - i_{CP}(t) - i_L(t)] \quad (8)$$

$$\frac{dV_{CS}(t)}{dt} = \frac{1}{C_S} i_{CS}(t) \quad (9)$$

$$\frac{di_{CS}(t)}{dt} = \frac{1}{L_S} [V_S(t) - V_{CS}(t) - V_{CP}(t)] \quad (10)$$

$$\frac{di_{CP}(t)}{dt} = \frac{1}{L_P} V_{CP}(t) \quad (11)$$

방정식 (8)~(11)은 종래회로 접근에 의해서 해석하는데 어려운 전류원에 비선형적인 4차 계통을 나타낸다.

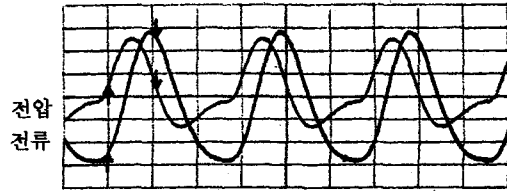
상태변수 쌍 (V_1, i_1) 과 (V_2, i_2) 가 그들의 Steady State 응답이 V_1, i_1 과 V_2, i_2 의 State-plane에서 Closed Contours에 의해서 나타나도록 하면 다음과 같은 State-plane 방정식으로 유도된다.

$$\frac{dV_{n1}(t)}{dt} (t) = \frac{i_{n1}(t) + K_3 i_{n1} E_1}{V_{ns}(t) - V_{n1}(t)} \quad (12)$$

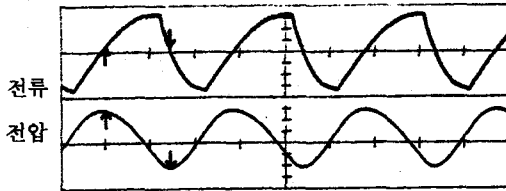
$$\frac{dV_{n2}(t)}{dt} (t) = \frac{i_{n2}(t) + K_4 i_{n2} E_2}{V_{ns}(t) - V_{n2}(t)} \quad (13)$$

III. 실험 및 결과 고찰

그림 11은 LCC 및 LLCC형 병렬 공진 인버터의 연속 모드에 있어서의 인덕터 전류 및 캐패시터 전압파형을 나타냈으며 그림 12은 LCC와 LLCC의 상태궤적을 나타냈다. 그림 13은 인버터의 출력단에서 주파수에 대한 이득을 나타냈다.

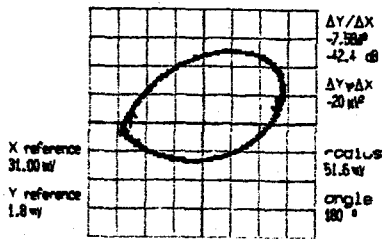


(a) LCC-type

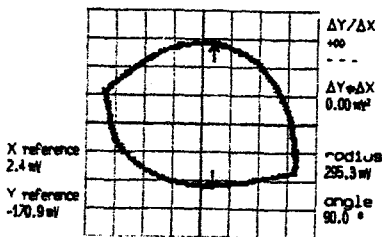


(b) LLCC-type

그림 10. LCC 및 LLCC형 병렬 공진 인버터의 연속 모드에서 인덕터 전류 및 캐패시터 전압파형 [50V/div, 1mA/div, 20 μsec/div]

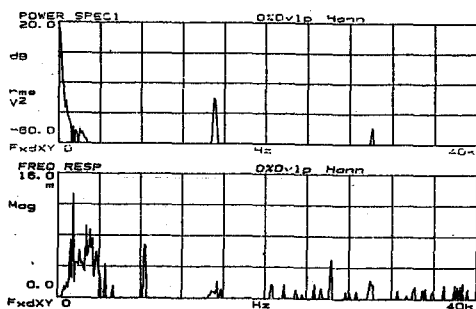


(a) LCC-type

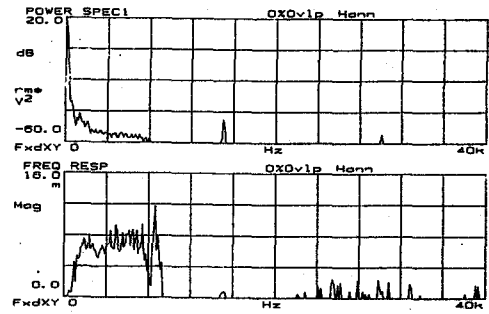


(b) LLCC-type

그림 11. LCC와 LLCC의 상태궤적



(a) LCC-type



(b) LLCC-type

그림 12. 인버터의 출력단에서 주파수에 대한 이득

IV. 결론

형광등 안정기 구동용 LLCC 및 LCC형 공진형 인버터를 제작 실험한 결과 다음과 같은 특성을 얻었다.

1. 에너지 Save 문제에 있어서 LLCC형의 상태궤적이 더 큰 상태를 얻었다.
2. LLCC형이 LCC형보다 더 안정한 정현파 전압을 얻어서 상태궤적에 있어서도 더 안정한 특성을 얻었다.
3. 인버터 출력단에서 주파수 특성은 LLCC-type이 더 적은 왜율을 나타냈다.

이러한 실험 Data를 차후에 형광등 안정기 구동용 회로에 적용할 수 있으리라 사료된다.

- 참고문헌 -

1. R.I Steigerwald, "A comparison of Half-bridge Resonant Converter Topologies," IEEE Ind. Applications Society Ann., pp. 135-144, 1978.
2. A.K.S Bhat, and S.B. Dewan : " Analysis and Design of A High Frequency Resonant", Conference Record of IEEE-APEC-86, pp. 657-663, 1986.
3. Michael Gulko 外 3名, " Inductor-Controlled Current-Sourcing Resonant Inverter and its Application as a High Pressure Discharge Lamp Driver.", IEEE-APEC'94, pp. 434-436, 1994.
4. Ed Deng, Slobodan Cuk, " Single Stage, High Power Factor, Lamp Ballast.", IEEE-APEC'94, pp. 441-443, 1994.
5. Urs Mader, " Steady-State Analysis of a Voltage-Fed Inverter with Second-Order Network and Fluorescent Lamp Load.", IEEE-APEC'96, pp. 609, 1996.