

## LLC 및 LLCC 고주파 병렬 공진형 컨버터의 회로 특성

\*  
 최 장 쁘 차 인 수 박 해 암 이 원 현  
 동신대 동신대학교 광주보건 동신대학교  
 대학원 전기공학과 전문대학 전자공학과

### The characteristic of circuit of LLC and LLCC-Type High frequency parallel resonant converter.

J. G Choi I. S Cha H. A Park K. H Lee  
 Dong-Shin Dong-Shin Kwang Ju Dong-Shin  
 Grad. Uni. Health Junior Co. Uni.

#### <Abstract>

The Modelling, design and analysis of the steady state and performance characteristic of the constant switching frequency P.W.M controlled LLC and LLCC-type P.R.C are presented continuous conduction mode of operation.

A set of characteristic frequency are plotted which design parameters can be obtained.

#### 1 서론

상용주파수를 사용하고 큰방열기가 필요한 직렬제어 방식에 의한 안정화 전원 장치는 전원의 소형 경량화가 요구되어 점진의 개념은 고주파 dc-to-dc 파워써플라이 설계에 있어서 선두적기법으로써 자리잡아왔다. 이것이 이러한 이유는 준 정현파 전압과 전류형 아래서 스위칭이 조그만 규격, 저량 고효율 컨버터를 갖기 때문이다. 이 논문에서 나타낸 고주파 컨버터 토플로지는 종래적인 직렬과 병렬 공진 컨버터에 비해서 훨씬 나은 특성을 갖게 된다. [1-3]

컨버터는 3,4차 비선형 계통이며 이런 컨버터에 대한 분석은 LC형 병렬 컨버터에 비해서 훨씬 복잡하다. 이는 참고문헌 [4-5]에서 나타난 steady state analysis와 design은 컨버터 동작에 좋은 특성과 설계로부터 간략한 state-plane 기법을 기초로 한다.

본 논문은 반브릿지 P.R.C-LLC 및 LLCC에 대한 steady state solution을 유도하는 state plane diagram과 연속 도통모드에서 작동할 때 컨버터 설계 절차를 설명한다.

#### 2. 회로 구성 및 원리

##### 2.1 LLC형 병렬 공진 컨버터

그림 2.1.1은 이상적인 Half-bridge LLC형 P.R.C 회로도를 나타낸다. Diode-TR D<sub>1</sub>/T<sub>2</sub>는 이상적이며 스위칭 주기 T<sub>s</sub>에 의해 50% 뉴비티에서 동작하는 양방향 스위칭 쌍으로서 동작한다.

그림 2.1.2는 LLC형 P.R.C의 등가 회로를 나타낸다.

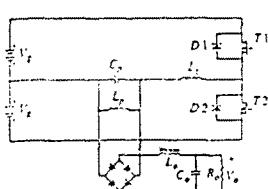


그림 2.1.1 반 브릿지 LLC-형 병렬 공진 컨버터

Fig 2.1.1 The half-bridge LLC-type P.R.C

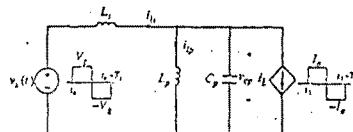


그림 2.1.2 LLC형 PRC 등가 회로도

Fig 2.1.2 The equivalent circuit of LLC-type PRC

그림 2.1.3에서는 컨버터의 연속 도통 모드에 대한 4가지 토플로지를 나타냈고 그림 2.1.4는 연속도통모드에 있어서 LLC형 병렬공진형 컨버터의 전류와 전압파형을 나타냈다.

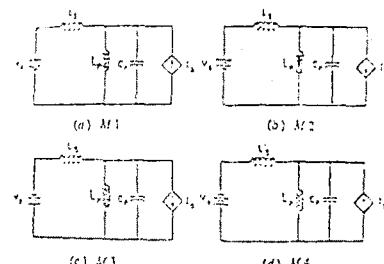


그림 2.1.3 토플로지 회로모드

Fig 2.1.3 Topological circuit modes

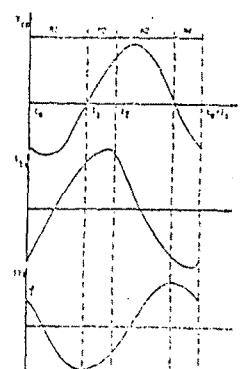


그림 2.1.4 연속 도통모드에서 LLC형 병렬공진

컨버터의 전류와 전압파형

Fig 2.1.4 Typical waveforms of ilp, Vs for the LLC-type P.R.C operated in continuous conduction mode

표 1은 그림 2.1.3의 도통모드에 대한 필요 충분 조건을 나타낸다.

표 1.  
Table 1.

Mode	Switches on	Sign of the Rectified Voltage	$v_L(t)$	$i_E(t)$
M1	D1/T1	$v_{cp}(t) < 0$	+V <sub>L</sub>	-I <sub>E</sub>
M2	T1	$v_{cp}(t) > 0$	+V <sub>L</sub>	+I <sub>E</sub>
M3	D2/T2	$i_{cp}(t) > 0$	-V <sub>L</sub>	+I <sub>E</sub>
M4	T2	$v_{cp}(t) < 0$	-V <sub>L</sub>	-I <sub>E</sub>

그림 2.1.2에 대한 전류 전압 미분방정식은 식(2.1.1)로 나타나며 식 (2.1.2)를 대입하면 (2.1.3)식으로 변한다.

$$\frac{d}{dt} i_{LS}(t) = \frac{1}{L_S} [V_s(t) - V_{cp}(t)]$$

$$\frac{d}{dt} i_{LP}(t) = \frac{1}{L_p} V_{cp}(t) \quad (2.1.1)$$

$$\frac{d}{dt} V_{cp}(t) = \frac{1}{C_p} [i_{LS}(t)r - i_{LP}(t) - i_E(t)]$$

$$\begin{bmatrix} i_L \\ i_P \\ v_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{LS} \\ i_{LP} \\ v_{cp} \end{bmatrix} \quad (2.1.2)$$

$$\frac{d}{dt} i_L(t) = -\frac{1}{L} V_c(t) - \frac{1}{L_p} V(t)$$

$$\frac{d}{dt} V_c(t) = -\frac{1}{C_p} i_L(t) - \frac{1}{C_p} i_E(t) \quad (2.1.3)$$

(윗 식에서  $L \equiv (L_S L_p) / (L_S + L_p)$ ,  $Z \equiv \sqrt{L/C_p}$ )

$$(i_E = \frac{V_{cp}(t)}{V_{cp}(t)} - I_0, \omega_0 = \sqrt{1/LC_p}, \omega = \sqrt{1/L_p C_p} \text{이다.})$$

모든 전압과 전류를 정규화 시키면 식 (2.1.4)와 같은 상태 궤적식이 된다.

$$(V_{nc} - V_{ns})^2 + (i_{nL} - i_{nE})^2 = V_{ns}^2 \quad (2.1.4)$$

그림2.1.5는 식(2.1.4)에 대한 steady state 궤적을 나타낸다.

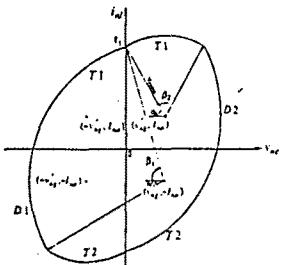


그림 2.1.5 PRC-LLCC에 대한 steady state 궤적  
Fig 2.1.5 Typical steady state trajectory for the P.R.C

## 2.2 LLCC형 병렬형 공진 컨버터

양방향성 스위치를 이용한 하프브리지 LLCC형 병렬공진형 컨버터를 그림2.2.1에 나타냈다. 그림 2.2.1의 LLCC형 PRC에 대한 간략한 등가회로를 그림2.2.2에 나타냈다. 연속 도통모드에 있어서 LLCC형 PRC동작에 대한 steady state 전압과 전류의 파형은 그림2.2.3에 보여준다. 그리고 중래적인 LLC형 컨버터들과 비슷하게 연속 모드에서 동작할때 이번 컨버터는 2와 3과 4에서 보여준 4개의 가능한 회로 도통 모드를 갖는다. 표2은 이러한 모드에서 컨버터가 동작하는 것을 보여준다.

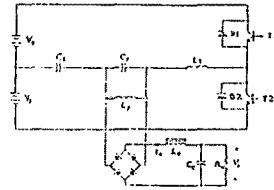


그림 2.2.1 하프 브릿지 LLCC-형 병렬 공진형 컨버터 회로  
Fig. 2.2.1 The Half-bridge LLCC-type parallel resonant converter circuit.

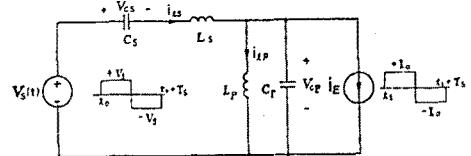


그림 2.2.2 그림 2.2.1의 등가 회로도  
Fig. 2.2.2 The equivalent circuit model of

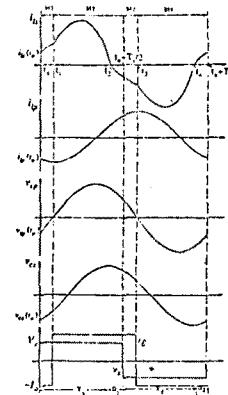


그림 2.2.3 P.R.C-LLCC의  $i_{LS}$ ,  $i_{LP}$ ,  $V_{cp}$ ,  $V_{cs}$ ,  $V_E$ ,  $i_E$ 의 파형  
Fig. 2.2.3 Typical waveforms for  $i_{LS}$ ,  $i_{LP}$ ,  $V_{cp}$ ,  $V_{cs}$ ,  $V_E$ , and  $i_E$  of the P.R.C-LLCC

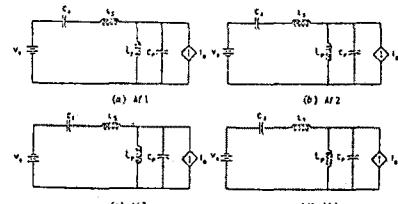


그림 2.2.4 그림 2.2.2에 대한 4개의 토플러지  
Fig. 2.2.4 Four Topological Circuit Modes of Fig. 2.2.2

표2.  
TABLE 2.

Mode	Switches on	Sign of the Rectified Voltage	$v_L(t)$	$i_E(t)$
M1	T1	$v_{cp}(t) < 0$	+V <sub>L</sub>	-I <sub>E</sub>
M2	T1/D1	$v_{cp}(t) > 0$	+V <sub>L</sub>	+I <sub>E</sub>
M3	T2	$i_{cp}(t) > 0$	-V <sub>L</sub>	+I <sub>E</sub>
M4	T2/D2	$v_{cp}(t) < 0$	-V <sub>L</sub>	-I <sub>E</sub>

Steady state 응답은 그림 2.2.2의 이상적 등가회로로부터 유도할 수 있다. 전압  $V_s$ ,  $V_{cs}$ ,  $V_{cp}$ 와 전류  $i_{cs}$ ,  $i_{cp}$ ,  $i_E$ 는 같은 그림에 따라 정의된다. 위에서 언급한 것처럼 정류기로는



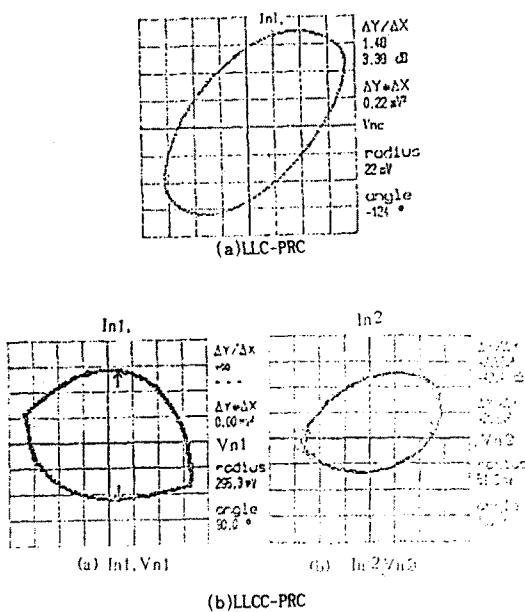


그림 5. 상태 궤적  
Fig. 5. state trajectory  
(a)LLC-PRC (b)LLCC-PRC

그림 6은 컨버터의 출력단에서 주파수에 대한 이득과 잡음 특성을 나타낸다. LLCC-PRC가 LLC-PRC보다 이득이 크고 잡음이 더 적음을 알수있다.

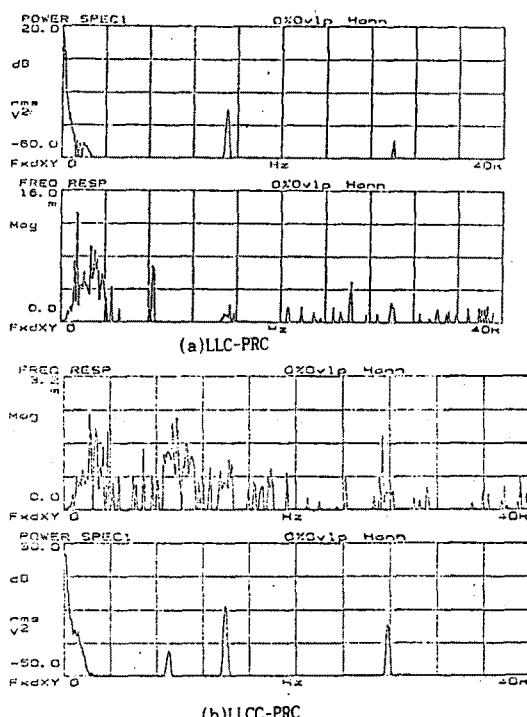


그림 6. 출력 응답곡선  
Fig. 6 Output response curve versus frequency

## 5. 결론

- 본 논문의 결론은 다음과 같다.
- 상태 궤적에 있어서 LLCC-PRC(V1-II)가 LLC-PRC와 LLCC-PRC(V2-I2)보다 큐를 알수있다.
  - 출력단 잡음특성은 LLCC-PRC가 LLC-PRC보다 더 우수한 특성을 나타낸다.
  - 각각 두개의 인덕터와 캐패시터의 공진회로의 구성에 의해서 계 관계식이 달라진다.

## 참 고 문 헌

- V.Vorperian and S.Cuk, 'A Complete DC Analysis of The Series Resonant Converter', IEEE Power Electronics Specialist Conf., pp.85-100, 1982.
- C.Q.Lee, "Design of series Resonant Converter with Normalized state Plane Diagram", IEEE Trans. on Aerospace and Electronics Systems, vol.22, no.6, pp.757-763, Nov.1986
- Khai D.T.Ngo, 'Analysis of A Series Resonant Converter Pulse-width-Modulated or Current-controlled for Low Switching Loss,' IEEE Trans. on Power Electronics, vol.3,no.1,pp.55-63, jan. 1988.
- A.S. Bhat, and S.B. Dewan: "A Generalized Approach for the Steady State analysis of Resonant Inverter". In Conference Record of IEEE-APEC-1986, pp. 664-671, 1986.
- I.E. Batarseh, R. Liu, and C.Q. Lee: "State-plane Analysis and Design of Parallel Resonant Converter with LCC-type Commutation." In the Conf.Rec of the 27th SICE Annual Meeting, pp. 831-835, Aug. 2-4, 1988, Narashino, Japan.