

## LCC 공진형 고주파 인버터의 특성해석

배상준\* 김중해\*\* 이봉섭\*\*\* 김경석\*\*\*\* 오승훈\*\*\*\*\* 민병계\*\*\*\*\*  
 \* 경북산업대 \*\* 영남대 \*\*\* 경북실업전문대 \*\*\*\* 동해전문대 \*\*\*\*\* 안동공전

### Analysis of Characteristic for LCC Resonant type High Frequency Inverter.

\*Sang-June Bae, \*\*Jong-hae Kim, \*\*\*Bong-Seop Lee, \*\*\*\*Kyung-Sik Kim, \*\*\*\*\*Seung-hune O, \*\*\*\*\*Byung-Jae Min

Dept. of Kyung Buk Industrial University\*, Electrical Engineering Yeungnam University\*\*  
 Kyung Buk Junior College\*\*\*, Dong Hae College\*\*\*\*, An-Dong Technical College\*\*\*\*\*

#### <Abstract>

This paper proposes LCC type high frequency resonant inverter to be used as a source of induction heating device or ultrasonic device and considers of operating characteristic for it. The inverter is operated safely over wide range load, because it has both parallel loaded capacitor and series loaded capacitor. Then, switching frequency of the inverter is controlled by feedback voltage and current in order to have constant output power even when load is varied

#### 1. 서론

GTO, MOSFET, IGBT, SIT 등의 대전력용 스위칭 반도체 소자와 고속 마이크로 컴퓨터 등이 개발됨에 따라 고정도와 속응성을 배경으로 한 스위칭 전력 변환 장치에 관한 기술도 많은 발전을 하고 있다.<sup>[1][2][3]</sup>

스위칭 전력변환 장치중의 하나인 고주파 인버터는 연료 전지나 태양광 발전 시스템 등과 같은 신에너지 분야에서 필수적인 요소이고, 금속이나 비금속의 열처리, 초음파 발전 응용 장치, 가정용 조리기, 그리고 인버터 링크형 콘버터 등의 많은 분야에 적용되고 있다.

본 연구는 LCC형 고주파 공진 인버터를 제안하여, 부하와 병렬인 콘덴서와 직렬인 콘덴서를 동시에 구비함으로써 부하 단락시에도 전류를 제한할 수 있어서 넓은 범위의 부하 변화에 걸쳐서 안정된 동작을 할 수 있도록 하였다.

제안한 회로에 대하여 무차원화 변수를 사용하여 동작 특성을 해석하고, 실험을 통하여 검토하였다.

#### II. LCC형 인버터의 동작 원리

그림 1은 제안하고 있는 LCC형 고주파 공진 인버터 회로이며, 회로 해석에 일반성을 부여하기 위해 제약을 무차원화하여 \*로 나타내고 있다.

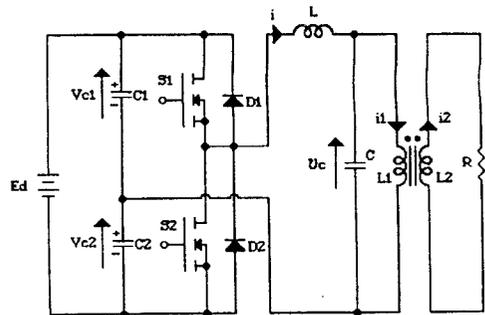


Fig 1. LCC resonant type high frequency Inverter

본 인버터는 부하와 병렬로 접속된 콘덴서 C와 직렬인 콘덴서 C1(또는 C2), 그리고 인덕터 L에 의해 공진회로가 구성되는 하프 브리지형 인버터이다. 인버터의 동작은 스위치(S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>)와 다이오드(D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>)의 온, 오프상태에 따라 2개의 모드로 분류되며, 이들 스위칭 소자의 온, 오프 상태에 따른 동작 모드 분류는 표 1과 같다.

Table 1. Operation Mode

MODE	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>
MODE 1	ON	OFF	OFF	OFF
	OFF	OFF	ON	OFF
MODE 2	OFF	ON	OFF	OFF
	OFF	OFF	OFF	ON

표 1의 동작 모드 분류에 따른 회로 상태 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{dX^*}{dz} = A \cdot X^* + B \cdot U^*$$

여기서  $X^* = [i^*(z), i_1^*(z), i_2^*(z), v_c^*(z), v_{c1}^*(z), v_{c2}^*(z)]^T$ ,  $U^* = 1$ 이고 A, B는 다음과 같다.

Mode 1

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & -\frac{4\pi}{\mu} & 0 & -\frac{4\pi}{\mu} \\ 0 & 0 & \frac{4\pi\lambda t}{\mu} & -\frac{4\pi a_2 t}{\mu a_m} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{4\pi\lambda a_1 t}{\mu a_m} & -\frac{4\pi t}{\mu} & 0 & 0 \\ \frac{\pi}{\mu} & -\frac{\pi}{\mu} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\pi}{2\mu a} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\pi}{2\mu a} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B = \left[ \frac{4\pi}{\mu} \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \right]^T$$

Mode 2

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & -\frac{4\pi}{\mu} & \frac{4\pi}{\mu} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{4\pi\lambda t}{\mu} & -\frac{4\pi a_2 t}{\mu a_m} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{4\pi\lambda a_1 t}{\mu a_m} & -\frac{4\pi t}{\mu} & 0 & 0 \\ \frac{\pi}{\mu} & -\frac{\pi}{\mu} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\pi}{2\mu a} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\pi}{2\mu a} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B = \left[ -\frac{4\pi}{\mu} \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \right]^T$$

$$\therefore a_1 = \frac{L_1}{L_S}, a_2 = \frac{L_2}{L_S}, a_m = \frac{M}{L_S}, t = \frac{a_m}{a^2 m - a_1 a_2}, a = \frac{c_1}{c}$$

LCC형 인버터의 동작 상태 변화는, 스위칭 주파수  $f_{sw}$ 와 회로 공진 주파수  $f_r$ 의 비, 즉  $\mu$ 와 무차원화 부하저항 ( $\lambda$ )에 따라 결정된다.

그림 2는  $2 \cdot f_s \leq f_r$ 인 경우에 대해 수치 해석법(Runge-kutta)으로 구한 정상 상태 동작시의 부하 전류 파형을 나타내고 있다.

$Z=Z_1$ 에서 스위치  $S_1$ 이 온 되면, E(+)- $S_1$ -L-C-C2-E(-)의 루프와 C1(+)- $S_1$ -L-C-C1(-)의 루프를 통해 전류가 흐르는 MODE 1의 상태로 된다.

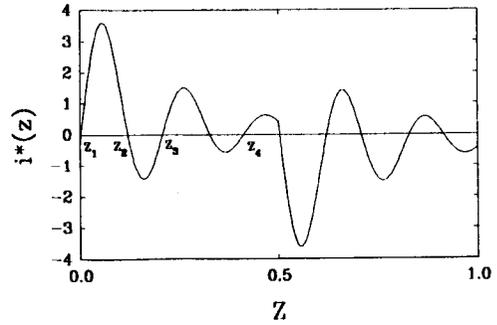


Fig.2 Load current waveform for  $2 \cdot f_s \leq f_r$

$Z=Z_2$ 에서 L의 전류가 0이 되면 스위치  $S_1$ 을 통해 흐르던 전류가 C(+)-L-D1-E-C2-C(-)의 루프와 C(+)-L-D1-C1-C(-)의 루프를 통해 흐르는 MODE 1의 상태가 계속된다.

$Z=Z_3$ 에서 다시 L의 전류가 다시 0이 되면,  $Z=Z_1$ 에서와 같은 동작을 반복하게 되고, 이 반복 동작은 다음 스위치  $S_2$ 가 온이 될 때까지 계속된다.

$Z=Z_4$ 에서 스위치  $S_2$ 가 온 되면, 그 이후는  $S_1$ 이 온인 경우와 대칭적인 상태로 동작한다.

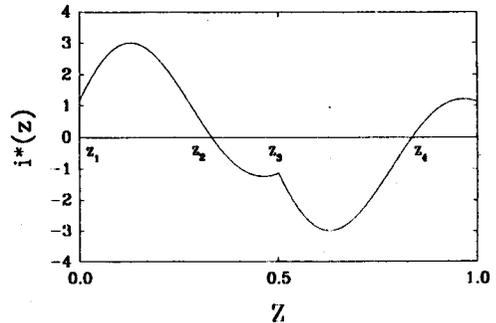


Fig.3. Load current waveform for  $2 \cdot f_s > f_r$

그림 3은  $2 \cdot f_s > f_r$ 경우의 정상 상태 동작 파형을 나타내고 있는데,  $Z=Z_1$ 에서  $Z=Z_3$ 에 이르기까지의 동작은 그림 2의 경우와 동일한 루프를 통하는 MODE 1의 상태가 지속된다.

$Z=Z_3$ 에서 스위치  $S_2$ 가 온 되면, 다이오드를 통해서 구성되었던 루프에서 E(+)-C1-C-L-S2-E(-)의 루프와 C2(+)-C-L-S2-C2(-)의 루프가 구성되는 MODE 2로 천이 되고, 그 이후의 동작은 스위치  $S_1$ 이 온인 경우와 대칭적인 동작으로 된다.

### III. 특성 및 실험

그림 4는 무차원화 제어 주파수( $\mu$ )와 무차원화 부하 저항( $\lambda$ )를 일정하게 유지하면서  $\alpha$ 를 변화시킨 경우에 대한 출력 전력의 변화에 대한 이론 파형을 나타내고 있다.

그림에서 알 수 있듯이, 무차원화 제어 주파수가 감소할수록 최대 출력을 발생하는  $\alpha$ 의 값이 점점 커지고, 무차원화 제어 주파수가 증가하는 경우에는 최대 출력을 발생하는  $\alpha$ 의 값이 작아진다는 것을 알 수 있는데, 이는 무차원화 제어 주파수가 낮을수록 콘덴서 C1(또는 C2)의 정전 용량이 증가한다는 것을 알 수 있다.

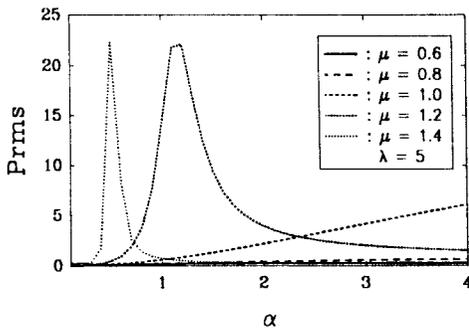
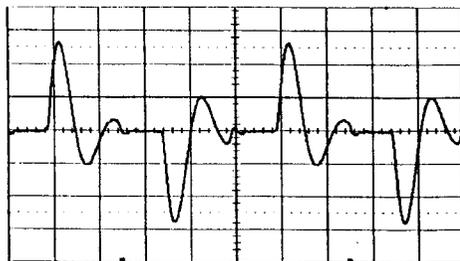


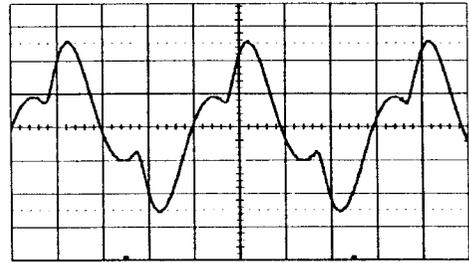
Fig. 4. A Characteristics of output power ( $\mu$  parameter)

그림 5는 입력전압 100[V], 공진용 인덕터 80[ $\mu$ H], 부하와 병렬인 공진용 콘덴서 0.1[ $\mu$ F], 전원 분할용 콘덴서 0.1[ $\mu$ F], 부하 저항 20[ $\Omega$ ]으로 하여 정상 상태로 동작중인 인버터의 출력 전류의 실측 파형을 나타내고 있는데, (a)는 스위칭 주파수가  $2 \cdot f_s \leq f_r$ 인 경우에 대한 것이고, (b)는  $2 \cdot f_s > f_r$ 인 경우에 관한 것이다. 그림 2와 그림 3에 나타낸 이론 파형과 거의 일치하고 있어서 시뮬레이션 결과가 타당하다는 것을 알 수 있다.



(Time : 10  $\mu$ S/Div, Value : 2 A/Div)

(a)  $2 \cdot f_s \leq f_r$



(Time : 10  $\mu$ S/Div, Value : 2 A/Div)

(b)  $2 \cdot f_s > f_r$

Fig. 6. Experimental waveforms of output current

### IV. 결론

LCC형 고주파 공진 인버터에 대한 이론 해석과 실험을 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 스위칭 주파수 높을수록 최대전력을 발생하기 위한 전원 분할용 콘덴서의 용량이 작아진다.
- 2) 콘덴서의 용량이 일정한 경우에는 스위칭 주파수가 증가할수록 부하 변화에 따른 출력 전력의 변화율이 작아지고 출력 전력도 감소한다.
- 3) 전원 분할용 콘덴서가 부하와 병렬인 콘덴서와 더불어 공진용 콘덴서로 작용하므로, 부하가 단락 되는 경우에도 일정한 전류로 제한되므로 부하 변동에 대해 안정된 동작을 할 수 있다.

### <참고 문헌>

- [1]. 배 상준, 이 달해, 김 동희, "신경회로망을 이용한 정현파 전류 추종 인버터의 제어", 대한 전자 공학회 논문지 제 31권 B편 제 8호, pp, 1246~1253,1994
- [2]. J.M.Alonso,M.Rico,C.Blancoand and E.Lopez,"A Novel Low-Loss Clamped-Mode LCC Resonant Inverter for HID Lamp Supply", IEEE Power Electronics Society Conference Proceedings, Vol,II,pp.736~742,1995.
- [3]. Y.Uchihori,et,"New Induction Heated Fluid Energy Conversion Processing Appliance Incorporating Auto-Tuning PID Control-based PWM Resonant IGBT Inverter with Senseless Power Factor Correction",IEEE Power Electronics Society Conference Proceedings, Vol. II,pp.736~742.1995