

## LCC형 고주파 공진 인버터 링크 DC-DC 컨버터의 특성해석

남 승식, 노재균, 이 달해, 서 철식, 황계호

### A Characteristic Analysis of DC-DC Converter linked LCC type High Frequency Resonant Inverter

Seung-Sik Nam · Chae-Gyun Ro · Dal-Hae Lee · Cheol-Sik Seo · Gye-Ho Hwang  
Dept. of Electrical Engineering Yeungnam University

**Abstract** - This paper proposes the LCC type high frequency resonant DC-DC converter using Power MOSFET as switching devices, and describes the characteristics and operating principles.

LCC converter has the resonant capacitor instead of a source decoupling capacitor in the conventional half bridge parallel resonant converter. We performed an experiment to prove the propriety of proposed converter.

#### 1. 서 론

최근 SIT, Power MOSFET, IGBT 등의 자기소호능력을 가진 고성능 반도체 스위칭 소자가 실용화되어 고주파 영역에서 고속스위칭 동작이 가능하게 되었고, 이들을 응용한 스위칭 모드 전력변환장치가 활발히 연구되고 있다.

DC-DC 컨버터에 고주파스위칭 기술도입은 회로 전체의 손실을 저감시킬 수 있고, 종래의 직류안정화 전원에 비해 소형·경량화에서 유리하다.

특히 공진형 컨버터는 고주파 동작이 가능하므로, L·C 요소의 용량축소로 인해 컨버터의 크기를 감소시킬 수 있고, 단위시간당 전력전송이 커서 고전력응용에 유리하다[1~3]. 공진특성을 이용한 인버터 링크형 DC-DC 컨버터는 고주파 인버터부에서 직류전압을 고주파로 발전시킨 교류전력으로 인화하여 변압기에서 전기적으로 절연하고, 정류브릿지와 필터회로를 통해 직류출력을 얻고 있다[4~7]. 본 논문은 부하 병렬공진을 이용한 LCC형 고주파 공진 DC-DC 컨버터에 관한 동작원리 및 특성을 기술하고 있으며, 회로해석시 정규화 파라미터를 도입하여 범용성 있는 형태로 특성평가를 행하였다. 또한 연구대상으로 한 DC-DC 컨버터 회로 해석에 대한 정당성을 입증하기 위해 Power MOSFET를 스위칭 소자로 사용하여 실험장치를 제작하였고, 특성해석을 통해 얻은 이론치와 실험치를 비교하여 이론해석의 정당성을 입증하고 있다.

#### 2. LCC형 고주파 공진 DC-DC 컨버터

그림 1은 본 연구의 대상회로인 LCC형 고주파 공진 DC-DC 컨버터 회로구성을 보여주고 있다.

$S_1, S_2$ 는 자기소호기능을 가진 스위칭 소자로 MOSFET, Power Transistor, IGBT, SIT 등의 적용이 가능하다.

또  $L \cdot C \cdot C_1 \cdot C_2$ 는 공진용 리액터 및 커패시터이고, 고주파 변압기에 의해 1차와 2차를 절연하며  $L_o \cdot C_o$ 는 평활용 리액터 및 커패시터이다.  $D_1, D_2$ 는 환류용 역병렬 다이오드 이고  $D_3 \sim D_6$ 는 정류용 다이오드로 역회복 시간이 짧은 고속형이 필요하다.

그림 1의 회로동작은 종래의 하프 브릿지 공진 컨버터를 기본원리로 하며, 종래의 회로와 차이점은  $C_1, C_2$ 를 공진용 커패시터로 사용한것이다.

그림에서 출력전압은 스위치의 스위칭 주파수를 가변시켜서 (PFM : Pulse Frequency Modulation) 제어할 수 있으며, 회로의 동작 모드는 스위치( $S_1 \sim S_2$ ) 및 다이오드( $D_1 \sim D_6$ )의 온·오프 동작상태에 따라 표 1과 같이 4 개의 동작모드로 분류된다.

그림 1의 회로해석은  $L_o \cdot C_o$ 의 전류·전압 극성만 바꾸어 주면 모드 (1과 2), 모드 (3과 4)는 같은 모드로 볼 수 있으며 2개의 동작모드로써 해석이 가능하다.

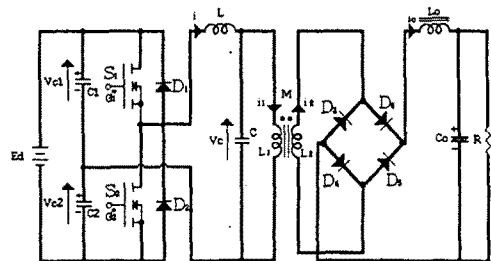


그림 1. LCC형 고주파 공진 DC-DC 컨버터

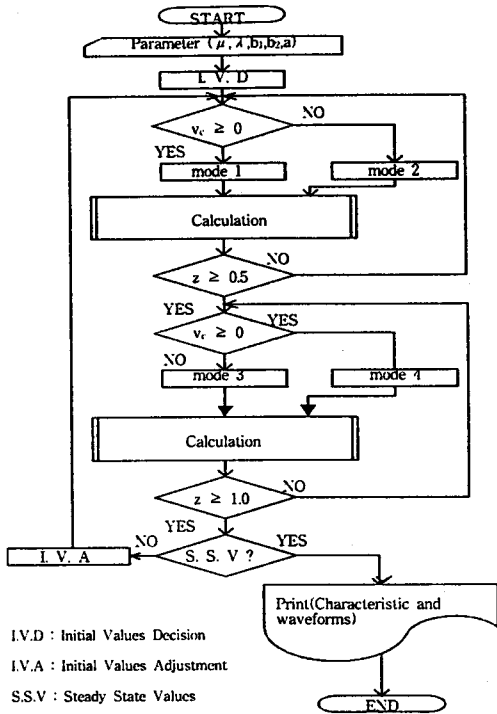


그림 2. 해석 흐름도

각 모드에 존재하는 상태방정식이 고차로 되고 MOSFET의 온·오프 상태는 임의로 정해지며, 이에 따라 다이오드의 온·오프 상태가 결정된다.

또한 다이오드의 온·오프 상태는 예측하는 것이 불가능하므로 수치해석시 회로의 상태변수를 계산하면서 모드천이 상태를 판정해야 한다.

따라서 회로해석은 계산기를 이용한 수치해석법을 이용하였고 정규화 변수를 도입하여 범용성을 부여한 제특성값으로 산출 하였다.

그림 2는 각 동작모드 판정과 회로동작의 특성평가를 하기위한 수치해석의 플로차트이다.

회로의 파라미터( $\mu, \lambda, b_1, b_2, a, b_0$ )를 설정하고, 정규화 시간  $z$ 를 0에서 부터 임의의 step으로 증가시키면서 공진용 커패시터의 전압극성에 따라 모드 판정을 하고 있다.

표 1 동작 모드

모드	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>5</sub>	D <sub>6</sub>
1	ON					ON		ON
2			ON		ON		ON	
3		ON			ON		ON	
4				ON		ON		ON

정상상태에 도달하지 않으면 최종치를 다음의 초기치로 대입한후 위와 같은 방법으로 계산을 하고, 정상상태에 도달하면 제특성을 계산한다.

모드 1,2에 대한 정규화 상태방정식은 식 (1)과 같으며 전류의 방향은 그림 1의 방향을 기준으로 정하였다. (단, SN<sub>1</sub>과 SN<sub>2</sub>는 L<sub>0</sub>, C<sub>0</sub>의 전압, 전류극성을 바꿔주기 위한 변수이다.)

Mode 1, 2

Mode 1 : (SN<sub>1</sub>= 1, SN<sub>2</sub>=-1)

Mode 2 : (SN<sub>1</sub>=-1, SN<sub>2</sub>= 1)

$$\frac{d}{dz} \begin{bmatrix} i'(z) \\ i'_c(z) \\ v'_c(z) \\ v'_{c1}(z) \\ v'_{c2}(z) \\ v'_{c0}(z) \end{bmatrix} = \frac{4\pi}{\mu} \cdot A \begin{bmatrix} i'(z) \\ i'_c(z) \\ v'_c(z) \\ v'_{c1}(z) \\ v'_{c2}(z) \\ v'_{c0}(z) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{4\pi}{\mu} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서 A는 다음과 같다.

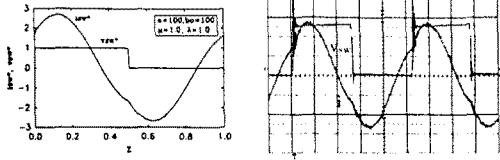
$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & SN_1 \frac{1}{a} & 0 & 0 & -\frac{1}{a} \\ \frac{1}{4} & SN_2 \frac{1}{4} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{8b_1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{8b_2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{4b_0} & 0 & 0 & -\frac{1}{4b_0 \lambda} \end{bmatrix}$$

### 3. 특성 및 실험

그림 3의 (a),(b),(c)는  $\mu=1.0$ ( $f_s=96$ [kHz]),  $\mu=1.18$ ( $f_s=113$ [kHz]),  $\mu=1.4$ ( $f_s=134$ [kHz])일 경우의 공진 리액터 전류( $i'$ )와 스위치 전압( $v_{sw}'$ )의 이론파형과 실험파형을 보여주고 있다. 그림 (a)의 경우 공진 리액터 전류가 스위치 전압보다 위상이 앞서는 용량성 부하로 동작하고 있다.

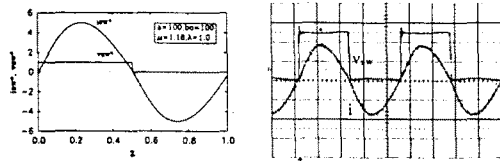
그림 (b)의 경우 공진 리액터 전류와 스위치 전압의 위상이 동상으로 저항성 부하로 동작하고 있다. 그림 (c)의 경우는 공진 리액터 전류가 스위치 전압보다 위상이 뒤지는 유도성 부하로 동작하고 있음을 보여주고 있다. 이론파형과 실험파형을 비교해 보면 경향이 거의 같음을 알 수 있다.

그림 4는 주파수 제어변수( $\mu$ )를 파라미터로 하여 부하제어변수( $\lambda$ )에 대한 출력전력( $p^*$ )특성을 보여주고 있다. R-L-C 직렬공진 회로에서는  $\mu=1.0$ 인 경우 출력전력이 최대로 되지만, 본 제안회로의 경우 출력전력의 최대점은  $\mu=1.18$ 로 이동된다는 것을 알 수 있으며, 이것은 공진시 C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>가 C와 직렬로 연결되어 커패시터의 값이 감소하여 공진점이 더 증가한 것으로 생각된다.



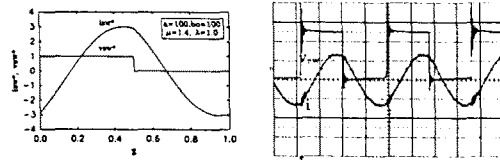
$V_{in} : 20(V)/Div, i : 5(A)/Div, T : 2(\mu s)/Div$

(a)  $\mu=1.0$  일때의 공진 리액터 전류와 스위치전압파형



$V_{in} : 20(V)/Div, i : 2(A)/Div, T : 2(\mu s)/Div$

(b)  $\mu=1.18$  일때의 공진 리액터 전류와 스위치전압파형



$V_{in} : 20(V)/Div, i : 5(A)/Div, T : 2(\mu s)/Div$

(c)  $\mu=1.4$  일때의 공진 리액터 전류와 스위치전압 파형

그림 3 이론파형과 실험파형

스위칭 소자로는 MOSFET(IRFP240,200[V],18[A])를 사용하였다. 전원전압  $E_d=50[V]$ , 공진용 커패시터  $C=C_1=C_2=0.15 [\mu F]$ , 공진용 리액터  $L=18[\mu H]$ , 평활용 리액터  $L_o=1[mH]$ , 평활용 커패시터  $C_o=2000[\mu F]$ 으로 하였고, 부하는  $20[\Omega](\lambda=1.0)$ 의 저항을 사용하였다.

그림 5는  $\mu$ 를 파라미터로 하여 공진용 커패시터비( $b_1=c_1/c, b_2=c_2/c, b_1=b_2$ )를 변화시킬 때의 출력전압 특성을 보여주고 있다.  $b_1(b_2)=1.0$  일때 공진점은  $\mu=1.18$ 이고 출력전압은 입력전압과 같은 값으로 나타나고 있다. 공진용 커패시터비가 증가하면 공진점이  $\mu=1.0$ 으로 변하게 되어 커패시터 분할형의 하프 브릿지 병렬공진 컨버터와 공진점이 같아진다는 것을 알 수 있다.

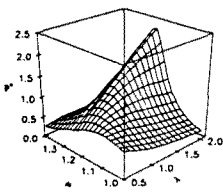


그림 4 출력 특성

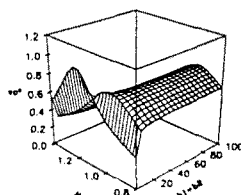


그림 5 출력전압 특성

## 4. 결 론

본 연구는 종래의 하프 브릿지 부하병렬공진 컨버터에서 전원분할용 전해 커패시터를 공진 커패시터로 교체한 LCC형 고주파 공진 DC-DC 컨버터 회로를 연구대상으로 하여 회로의 동작원리와 특징을 기술하였다. 컨버터의 회로해석을 범용성있게 하기 위해 수치해석시 정규화 파라미터를 도입하여 컨버터의 정상특성을 나타내었다.

종래의 하프 브릿지 컨버터와 비교해서 공진점이  $\mu=1.0$ 에서  $\mu=1.18$ 로 이동한 것은 전해 커패시터를 공진 커패시터로 교체한  $C_1, C_2$ 가 C와 직렬로 연결되어 커패시터 용량이 감소하였기 때문이라 생각된다.

또 Power MOSFET를 스위칭 소자로 사용하여 실험을 행한 결과 실측파형과 이론특성치의 경향이 거의 일치하므로써 회로해석의 정당성도 증명하였다.

## 参考文献

- [1]. E.X. Yang, F.C. Lee and M.M.Jovanovic, "Small-Signal Modeling of Power Electronic Circuit Using Extended Describing Function Technique", Proceeding of the Virginia Power Electronics Center Seminar, pp. 155 - 166, September 15-17, 1991.
- [2]. 原田耕介, 二官保, 頭文建 共著. "スイッチング 'コンバ'타의 基礎", コロナ社. pp. 24~38, 137~162, 1992.
- [3]. 김희준, 안강순, "동기정류기를 이용한 클램프 모드 포워드 영전압 스위칭 다중공진형 컨버터", 96 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 395 ~399, July 22 ~24, 1996.
- [4]. J.A. Sabate R. Gean, M.M. Jovanovic and F.C Lee, "LCC Resonant Inverter with Fixed-Frequency Clamped-Mode Operation", Proceeding of the Virginia Power Electronics Center Seminar, pp. 131 - 141, September 15-17, 1991.
- [5]. K.H. Liu and F.C. Lee, "Secondary-Side Resonance for High-Frequency Power Conversion", Proceeding of the Virginia Power Electronics Center Seminar, pp. 39 - 45, September 15-17, 1991.
- [6]. 노채균, 김동희, 남승식, "E급 스위칭 Mode DC-DC Converter에 관한 研究", 영남대학교 공업 기술연구소 연구보고 제 20권 제 1호, pp. 73 ~ 81, 1992.
- [7]. 노채균 외 4인 "순시전압 합성제어형 2 중 폴 브릿지 고주파 인버터 특성해석", 96 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 492 ~ 494, July 22 ~ 24, 1996.