

순시 전류 phaser 제어방식의 전압형 고주파 공진 인버터

이경호, 노채균, 김동희, 이봉섭*, 박종국*, 정도영*
 영남대학교, 삼척대학교*

Voltage-fed high frequency resonant inverter of instantaneous current phaser control method

K.H.LEE, C.K.RO, D.H.KIM, B.S.LEE*, J.K.PARK*, D.Y.JUNG*
 Yeungnam University, Samchok National University*

ABSTRACT

In this paper, voltage-fed high frequency resonant inverter of instantaneous current phaser control method used to DC voltage source separated is proposed. In the output control method, a novel circuit type of phase shift driving signal method with CVCF illustrated, also the operation principle of the proposed circuit is described in detail and its characteristics are presented as to normalized parameters. According to the each mode, in order to the circuit analysis and characteristic evaluation of the state equation are derives and present used to normalized parameter. In the future, this proposed inverter show that it can be practically used as power source system for the lighting equipment of discharge lamp, DC-DC converter etc

1. 서 론

최근 대전력 고주파 유도가열용 전원, 정보통신용 전원장치 등 소형 경량화를 요하는 전력변환 제어장치 등에 Power-MOSFET, IGBT 및 SIT 등을 이용한 전력변환 회로기술이 연구, 개발 되고 있다.

전력용 스위칭 반도체 소자를 고속 스위칭함에 따른 문제점으로는 스위칭시에 발생하는 스위칭 손실의 증가를 들 수 있다. 이러한 스위칭 손실의 증가는 전력용 스위칭 소자에 발열을 유발시킬 뿐만 아니라, 장치 전체의 효율을 저하하고 있으며, 냉각 장치의 대형화가 필요하므로 신뢰성 및 관리, 유지상의 문제가 따른다.^{[1]-[8]}

본 논문은 여러 가지 회로 토폴로지 중에서도 인버터 내부에 전압(전력) 및 주파수 제어 기능을 갖는 순시 전류 페이저 제어방식이라는 전압형 고주

파 공진 인버터를 제안하며, 실제 모델에 가까운 유도가열계 부하를 상정했을 경우에 고주파 전원 응용으로서의 정상 특성 해석을 행한다. 또한, 회로 해석의 범용성을 부여하기 위하여 무차원화 파라메타를 도입하였고 회로의 동작특성을 스위칭 주파수와 부하 파라메타에 따라 해석, 평가하였다.

2. 전류형 고주파 공진 인버터

2.1 주회로 구성 및 동작원리

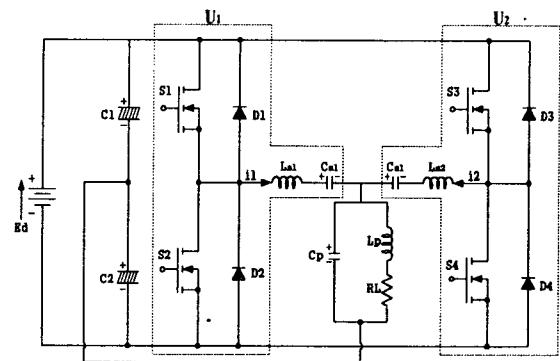


그림 1 순시전류 phaser 합성 전압형 인버터

그림 1은 종래의 전원 분할 직렬 공진형 하프 브릿지 인버터를 기본 인버터로한 전압형 공진 인버터의 회로를 나타낸다. 이것은 종래의 전원 분할 하프 브릿지 형식의 전압형 공진 인버터를 단위로 하여 직류 전원 E에 대하여 2단위 병렬 접속하고, 각 단위 인버터 (기준상 인버터 U1, 제어상 인버터 U2)의 L-C직렬 공진 전류(iL1,iL2)를 페이저 합성하여 구하는 회로이다. 부하는 이 회로에 적합한 유도가열 모델을 상정하였고, 실제 응용을 고려한 워크코일과 피가열체 모델간의 인터페이스인 고주파 정합 트랜스를 생략하고 있다. 단위 인버터 U1,

U2에 사용한 반도체 소자는 GATT등의 전류(轉流) 턴-오프 소자, MOSFET, SIT등의 자기 턴-오프 소자등, 어느 타입의 스위칭 소자도 적용할 수 있다.

2.2 회로해석

제안한 인버터는 4개의 동작모드로 분류되며, 그림 2는 각각의 동작모드에 대한 등가회로를 나타내며, 그림 3은 각각의 동작모드에 관하여 스위칭 소자(S1, S2, S3, S4)에 인가되는 구동신호 패턴에 대한 각 소자의 파형을 나타내고 있다.

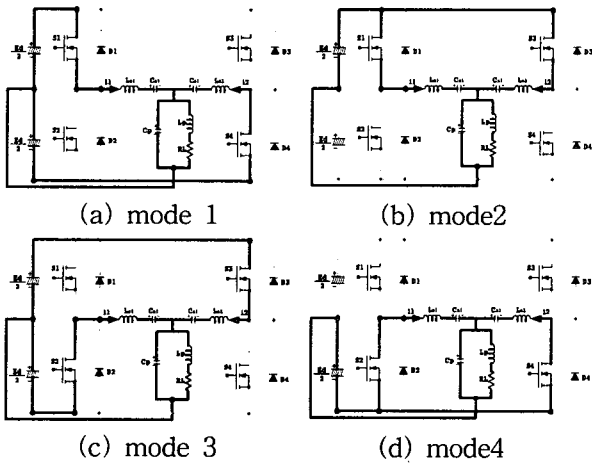


그림 2 동작모드

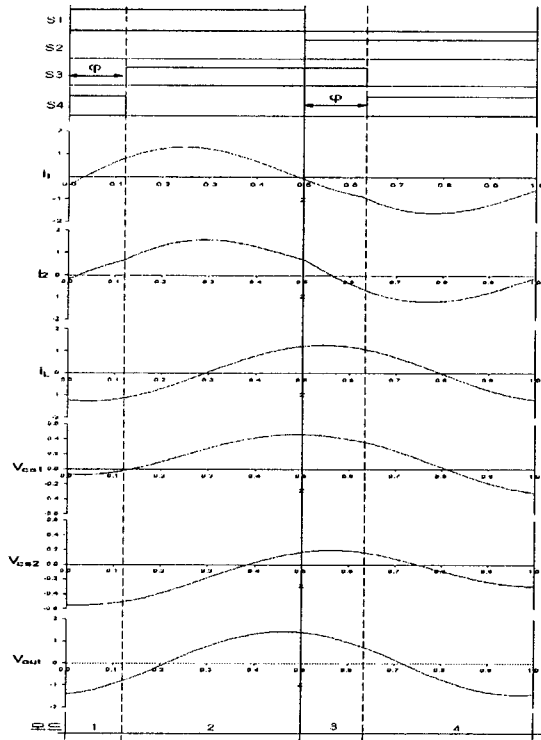


그림 3 구동신호 패턴

또한, 회로해석의 범용성을 부여하기 위하여 각 모드에 따른 회로 상태방정식은 표 1에 나타난 무차원화 파라메타를 도입하여 표현하였다.

무차원화 파라메타를 도입한 무차원화 상태방정식은 다음과 같다.

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

$$Y^* = C^* \cdot X^*$$

여기서, $X^* = [i_1^* \ i_2^* \ i_3^* \ v_{c1}^* \ v_{c2}^* \ v_{cp}^*]^T$

$U^* = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$ 이고 각 모드별 A^*, B^*, C^* 는 다음과 같다.

표 1 무차원화 파라메타

	Reference Values	Normalized Values
Voltage	E_d	$V_c^*(z) = V_c(t)/E_d$
Current	$I_b = E_d/Z_b$	$i^*(z) = i(t)/I_b$
Time	$T_{sw} = 1/f_{sw}$	$z = t/T_{sw}$
Frequency	$f_r = 1/2\pi\sqrt{L_b C_b}$	$\mu = f_{sw}/f_r$
Impedance	$Z_b = 2\sqrt{L_b/C_b}$	$\lambda = R/Z_b$
Power	$P_b = E_d \cdot I_b$	$P^*(z) = P(t)/P_b$
Remarks	f_{sw} : Operating Frequency of Inverter T_o : Operating Period of Inverter $L_b = L_p, C_b = C_p, C_s = C_{s1} = C_{s2}$ $L_s = L_{s1} = L_{s2}$ $\alpha = \frac{C_s}{C_p}, \beta = \frac{C}{C_d}$	

$$E = -\frac{4\pi}{\mu\beta}, F = -\frac{4\pi\lambda}{\mu}, G = \frac{4\pi}{\mu}$$

$$H = \frac{\pi}{\mu\alpha}, J = \frac{\pi}{\mu}, K = \frac{2\pi}{\mu\beta}, L = -\frac{2\pi}{\mu\beta}$$

MODE 1

$$A^* = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & E & 0 & E \\ 0 & 0 & 0 & 0 & E & E \\ 0 & 0 & F & 0 & 0 & G \\ H & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & H & 0 & 0 & 0 & 0 \\ J & J & J & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B^* = [K \ L \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

$$C = [0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0]$$

MODE 2

$$A^* = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & E & 0 & E \\ 0 & 0 & 0 & 0 & E & E \\ 0 & 0 & F & 0 & 0 & G \\ H & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & H & 0 & 0 & 0 & 0 \\ J & J & J & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B^* = [K \ K \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

$$C = [0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0]$$

MODE 3

$$A^* = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & E & 0 & E \\ 0 & 0 & 0 & 0 & E & E \\ 0 & 0 & F & 0 & 0 & G \\ H & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & H & 0 & 0 & 0 & 0 \\ J & J & J & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B^* = [L \ K \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

$$C = [0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0]$$

MODE 4

$$A^* = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & E & 0 & E \\ 0 & 0 & 0 & 0 & E & E \\ 0 & 0 & F & 0 & 0 & G \\ H & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & H & 0 & 0 & 0 & 0 \\ J & J & J & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B^* = [L \ L \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

$$C = [0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0]$$

3. 특성평가 및 시뮬레이션

본 회로의 상태방정식의 미분갯수가 많으므로 회로 해석의 특성평가를 위해 Runge-kutta 수치해석 기법을 도입하여 수치계산을 수행하였다.

그림 4는 위상차에 의한 출력전력의 특성을 나타낸다. 출력전력은 위상차에 의하여 선형적으로 제어되지만 부하파라메타 λ 가 거의 0인 부근에서는 출력이 거의 완만하다가 λ 가 클수록 φ 의 변화 폭이 커짐을 볼 수 있다. 따라서, S1(S2)게이트의 구동신호에 대하여 S3(S4)게이트 구동신호의 위상차각 φ 의 변화에 따라 전류 벡터 제어에 의한 출

력전력 제어가 행하여 짐을 볼 수 있다.

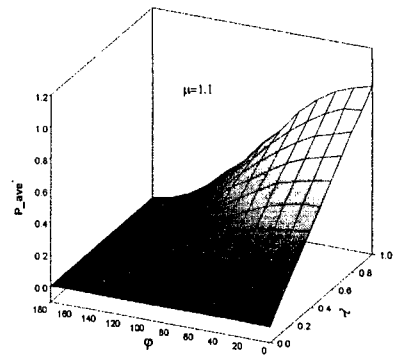


그림 4 출력 전력 특성

그림 5는 부하전류의 이득특성을 나타낸다. 그림에서 λ 의 변화에 대해서는 거의 일정한 값을 나타내며, 위상차 φ 의 변화에 대하여 변화되는 특성을 볼 수 있는데 이것은 위상 전류 제어가 행해짐을 알 수 있다.

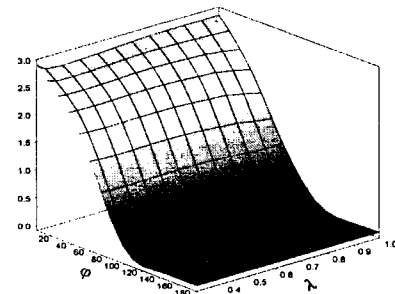


그림 5 부하 전류의 이득

그림 6은 탱크회로의 부하 전압의 특성을 나타낸다. 위와 같이 위상차 φ 의 크기에 따라 출력전압의 크기가 제어됨을 알 수 있다. 따라서 이와 같은 특성치는 탱크회로에 사용된 커패시터의 설계시 중요한 자료로 제공된다.

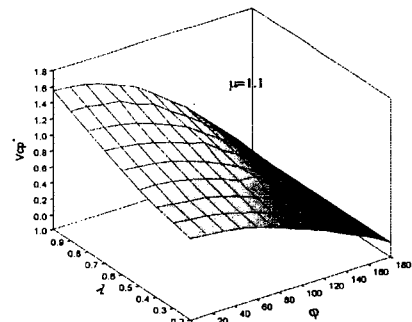


그림 6 출력전압 특성

본 회로의 동작을 확인하기 위하여 표 2의 시뮬레이션 파라메타의 조건에 따라 동작을 나타내면 그림 7과 같다. 시뮬레이션 파형에서도 그림 3의 이론 파형과 같이 동작 됨을 알 수 있다.

표 2 파라메타 사양

입 력	DC : 100[V]
소 자 파라메타	L1=L2 : 2[μ H] C1=C2 : 1[μ F] Lp : 7[μ H] Cp : 3.6[μ F] R _L : 0.142[Ω]
사용소자	IRF420
주 파 수	100[kHz]

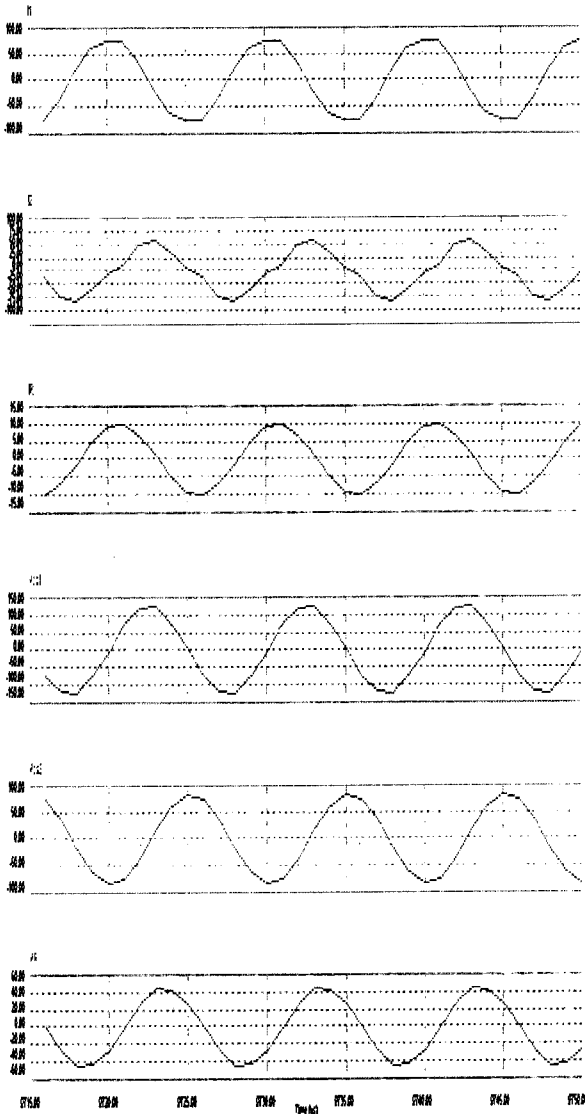


그림 7 시뮬레이션 파형

4. 결 론

본 논문은 전압형 고주파 공진 인버터에서 출력 전압과 출력주파수를 인버터 내부에서 독립적으로 제어할 수 있는 회로를 순시전류 페이저 제어방식에 의한 전압형 고주파 공진 인버터를 제시하였다.

또한, 제안된 고주파 공진 인버터의 정상해석을 행하였으며, 정현파 전압원 모델을 도입하여 실제에 가까운 형태로 정상동작 이론해석이 가능함을 나타내었다. 향후 본 제안 인버터의 시제품을 제작하여 이론 해석의 정당성을 입증하기 위하여 실험결과와 비교검토 할 것이며, 유도가열계와 같은 유도성 회로시스템에 적용되리라 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] B. K. Bose, "Evaluation of modern power semiconductor devices and future trends of converters", IEEE Trans. Vol. 28, No. 2, 403~413, March/april, 1992.
- [2] 日本電氣學會, "新型パワーデバイス 應用電源システム 技術の動向", 電氣學會技術報告(Ⅱ部)제350호.
- [3] K. h. Liu and F. C. Lee, "Zero-Voltage Switching techniques in DC/DC converters", IEEE. Trans. Vol. 5, 3, pp. 293~304, July. 1990.
- [4] K. h. Lie, R. Orugauti, F. C. Lee, "Resonant Switches-Topologies and characteristics," IEEE. Power Electronics Specialists Conference, pp. 106~116, 1985.
- [5] 日本電氣學會, "高周波用 電力半道體デバイス 應用的 技術動向," 電氣學會技術報告(Ⅱ部)제271號, pp. 20~27.
- [6] Naser abdel-Rahim, "ASingle-Phase VoltageSource Utility Interface System for Weak AC Network Application," IEEE APEC, Vol. 1, pp. 93~99,1994.
- [7] Uirich .Kirchenberrger, "Comparison of Multiresonant Half-Bridge DC/DC Converters for High Voltage and High Output Power", IEEE IAS, Vol. 1, pp. 902~909, 1993.
- [8] M. Kamli, S. Yamamoto and M. abe, "A 50-150KHz Half-Bridge Inverter for Induction Heating Applications", IEEE Trans. Ind. Electron, Vol. 43, No.1, pp. 163~171, Feb. 1996.
- [9] H. Ogiwara and M. Nakaoka, "Induction-heating high frequency inverters using static induction heating", IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 31, no. 1, pp. 34~36, Feb. 1984.