

순시전압 합성제어형 2중 풀 브릿지 고주파 인버터 특성해석

정원영* 김성철** 면병재*** 남승식 노재근
* 경북산업대 **POSTECH ***안동공전 영남대학교

A Characteristic Analysis of Instantaneous Voltage Resultant Control - Based Double Full-Bridge High Frequency Inverter

*Won-Yeung Jung, **Sung-Chul Kim, ***Byung-Jae Min,
Seung-Sig Nam, Chae-Cyun Ro
Dept. of Electrical Engineering Yeungnam University

Abstract

This paper describes a study on the series resonant inverter using the double full-bridge, and the output voltage of the proposed inverter is controlled by phase shift angle of the outputs of two inverters. These control schemes can be reduce the switching loss and EMI, etc, which the inverter is driven by auto following control of output frequency, because it is impossible for switching devices to be always turned on and off at zero voltage or zero current.

Theoretical characteristics of the proposed double inverter circuit are compared with Pspice simulation and experimental results.

1. 서 론

자기소화형 소자를 이용한 전력변환장치 기술은 종래의 스위칭 회로기술을 기본으로 하여 고속화, 대용량화로 발전이 가능하였으며, 특히 고주파 인버터, 고주파 콘비이터, 고주파 사이크로콘버터 등으로 부하에 적합한 회로시스템의 다양화가 가능해졌다.[1][2] 제어범위가 넓고 다양한 분야에 적용할 수 있는 전력변환회로 및 출력을 제어하는 기법이 활발히 연구되고 있다.[3] 상기와 같은 배경으로 풀 브릿지 구조으로 한 단기의 공진형 인버터에 위상제어방법을 기초로한 출력 제어기법을 본 논문에 도입하여 유도가열용으로 이용가능한 전원에 대해 병렬 접속시킨 2중 풀 브릿지 인버터를 제안하여 이론적, 해석과 실험결과를 토대로 실용화의 가능성을 나타내고 있다. 2중 풀 브릿지 인버터의 출력전압제어는 구동신호에 위상차각을 부여하여 순시합성 전압을 위상차각에 따라 제어하여 부하에 공급하고 있다.

2. 2중 풀 브릿지 인버터의 구성과 동작해석

2.1 회로구성과 동작원리

그림 1은 전압형 직류공진 풀 브릿지 인버터를 단위인버터로 하여 직류전원(Ed)에 2기를 병렬접속하고, 각 인버터의 출력전압을 출력트랜스 2차측에 직렬연결하여 각 단위인버터의 출력

전압에 위상차각을 부여한 합성전압으로 부하에 전력을 공급하도록 되어있다.

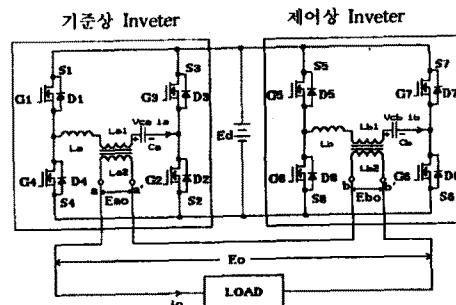


그림 1 2중 인버터의 주회로

그림 1의 회로동작은 기준상과 제어상 구동신호의 위상차각(φ)을 $0^\circ \sim 180^\circ$ 까지 변화시켜 출력전압을 제어하고 있다.

따라서 단기의 인버터회로보다 큰 출력을 얻을 수 있으며, 한 기가 고장이 발생하더라도 계속적인 전력을 공급할 수 있는 장점이 있다.

2.2 동작 모드와 상태방정식

그림 1의 주 회로에서 게이트신호의 위상차각을 φ 만큼 지연시킬 때에 나타나는 모드별 회로동작상태는 1주기 동안 8가지 모드로 분류되며, 각 모드별 스위칭소자의 온/오프는 다음과 같다.

Mode 1-1 D1,D2,S7,S8 이 온,

Mode 1-2 S1,S2,S7,S8 이 온,

Mode 2-1 S1,S2,D7,D8 이 온,

Mode 2-2 S1,S2,S5,S6 가 온,

Mode 3-1 D3,D4,S5,S6 가 온,

Mode 3-2 S3,S4,S5,S6 가 온,

Mode 4-1 S3,S4,D5,D6 가 온

Mode 4-2 S3,S4,S7,S8 이 온된다.

위에서 알 수 있듯이 정상상태 하에서 한 주기간의 스위칭 동작순서가 기준상은 D1(D2) → S1(S2) → D3(D4) →

S3(S4)의 순으로 동작하고, 제어상은 S7(S8) → D7(D8) → S5(S6) → D5(D6)의 순으로 동작된다.

모드를 8개로 분류한 후 상태방정식의 해석에 범용성을 부여하기 위한 무차원화 파라메터는 표 1과 같으며, 일례로 모드 1에 대한 무차원화 상태방정식을식(1)에 나타내었다.

표 1 기준값 및 무차원화값

기준값	무차원화값
$L=L_c, C=C$	$a = L_k / L, a_m = M / L$
$E_d = E_s$	$v^* = v / E_s$
$Z_s = 2\sqrt{L/C}$	$\lambda = R / Z_s$
$I_s = E_s / Z_s$	$i^* = i / I_s$
$P_s = E_s I_s$	$p^* = p / P_s$
$T_s = 1 / f_s$	$z = t / T_s, dz = dt / T_s$
$f_s = 1 / 2\pi\sqrt{LC}$	$\mu = f_o / f_s = 2\pi f_o \sqrt{LC}$

<Mode 1> $0 < z < Z_1$

$$\frac{d}{dz} \begin{pmatrix} \vec{i}_a \\ \vec{i}_b \\ v_{ca}^* \\ v_{cb}^* \end{pmatrix} = \frac{\pi}{\mu} \times A \times \begin{pmatrix} \vec{i}_a^* \\ \vec{i}_b^* \\ v_{ca}^* \\ v_{cb}^* \end{pmatrix} + \frac{4\pi}{\mu} \begin{pmatrix} 1/(1+a) \\ -1/(1+a) \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

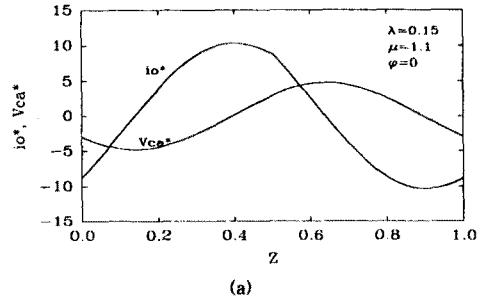
$$A = \begin{pmatrix} 0 & -2a_m/a & -4(1+a-a_m^2/2a) & -2a_m^2/a \\ 0 & 1+a-\frac{a_m^2}{a} & (1+a)(1+a-\frac{a_m^2}{a}) & (1+a)(1+a-\frac{a_m^2}{a}) \\ 0 & -2a_m/a & -2a_m^2/a & -4(1+a-a_m^2/2a) \\ 0 & 1+a-\frac{a_m^2}{a} & (1+a)(1+a-\frac{a_m^2}{a}) & (1+a)(1+a-\frac{a_m^2}{a}) \\ 0 & -2a_m/a & -2a_m/a & -2a_m/a \\ 0 & 1+a-\frac{a_m^2}{a} & 1+a-\frac{a_m^2}{a} & 1+a-\frac{a_m^2}{a} \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

3. 회로해석

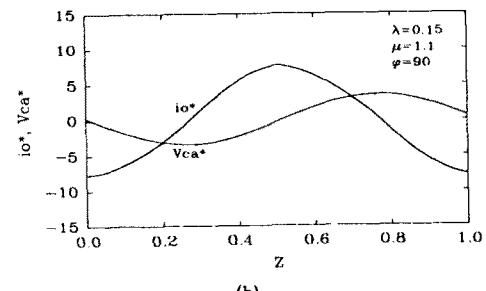
무차원화된 상태방정식에 대해 인버터의 기동시에는 전원을 제외한 모든 회로요소의 초기치를 영인 상태로 하여 수치해석을 행하였다. 이론해석에서 얻은 정상동작시의 이론파형을 그림 2(a),(b)에서 보여주고 있다.

이론파형에서 알 수 있듯이, 위상차각 φ 를 변화시키면 출력에 변화가 나타남을 알 수 있다. 즉, 출력주파수를 PLL에 의해 고정시키고, φ 의 변화만으로 출력제어를 실행할 수 있으므로 제안 인버터는 VVVF 기능을 내장하고 있다.

본 연구에서 설계회로를 제작하여 실험시 인버터회로 구성에 사용한 회로의 정수 및 사용소자는 표 2와 같다.



(a)



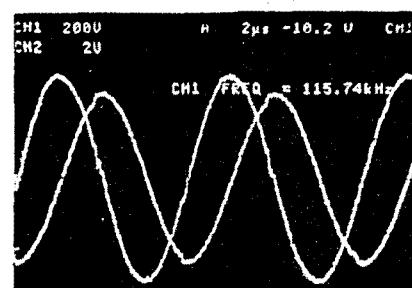
(b)

그림 2 출력전류 정상상태파형

표 2 회로 정수

전원전압 Ed	0 ~ 350 v
출력주파수	100 ~ 200 KHz
Ca = Cb	0.2 μ F
La = Lb	9 μ H
MOSFET	IR1405H 500 v, 100A
고주파 트랜스	P : S = 6 : 1
평활용 콘덴서	3300 μ F

그림 3은 직렬공진회로에서 표 2의 회로정수로, 스위칭 주파수를 115.7(Khz)로 하였을 경우의 실측한 출력전압과 전류파형이다. 이 결과는 그림 2 (a),(b)의 이론파형과 경향이 일치됨을 확인하였다.



f_o=115.7KHz

그림 3 부하전류 - 스위칭주파수특성

4. 특성해석

그림 4는 그림 1의 제안 인버터에 있어서 $\lambda=0.15$, 위상차각 $\varphi=0$ 으로 할 경우에 따라 기동에서부터 정상운전상태에 도달할 때까지 출력전류의 기동시 이론파형을 보여주고 있다. 이론파형에서 알 수 있듯이 6 Cycle 내에 정상상태로 수렴하고 있다.

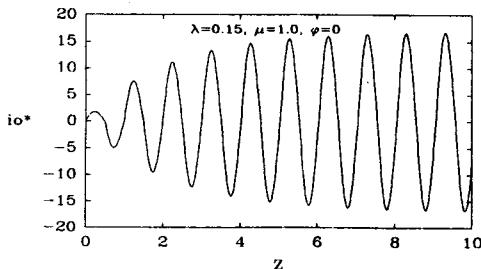


그림 4 출력전류 기동특성

그림 5는 그림 1의 회로에서 $\varphi=0$, $\lambda=0.15$ 로 고정시키고, $\mu=1.0$ 인 경우 b상 공진콘덴서 Cb의 공진전압 v_{cb^*} 와 전류 i_{b^*} 의 상태평면도를 나타내고 있다. $\mu=1.0$ 의 상태이므로 콘덴서 전압과 전류가 정현파로 나타남 알 수 있다.

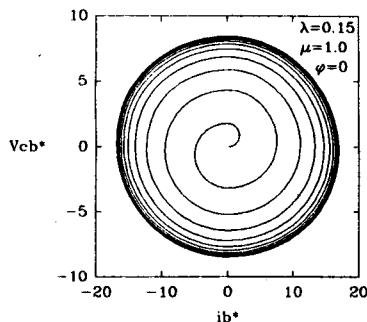
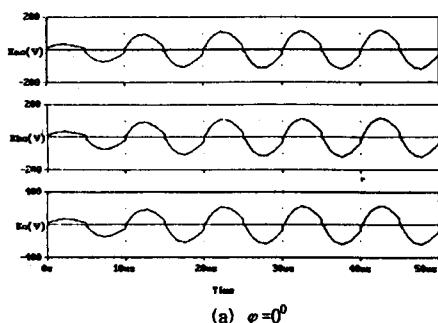


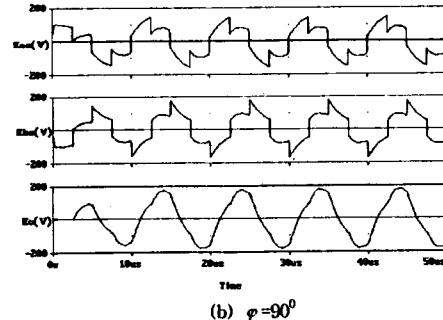
그림 5 콘덴서전압 - 전류 상태평면도

그림 6 (a),(b)는 $\varphi=0^\circ, \varphi=90^\circ$ 일 경우 본 이론해석의 정당성을 입증하기 위한 Pspice에 의한 각부 회로 동작파형이다.

그림에서 위상차각이 변하면 각상의 출력전압 E_{ao} 및 E_{bo} 는 원형파로 나타나지만, 이들의 합성파형 E_o 는 위상차각에 관계 없이 대체적으로 정현파에 가깝게 나타나고 있다. 이는 수치 해석에서 얻은 이론파형과 거의 일치하므로, 본 이론해석의 정당성을 뒷받침하고 있다.



(a) $\varphi=0^\circ$



(b) $\varphi=90^\circ$

그림 6 Pspice에 의한 각부동작파형

그림 7은 $\lambda=0.15, \varphi=0^\circ$ 로 하고 스위칭주파수를 변화시킬 경우의 출력전력특성을 보여주고 있다.

또, 임의의 위상차각에서 운전하여도 최대출력전력을 발생하는 스위칭주파수는 $\mu=1$ 이 됨을 나타내고 있다.

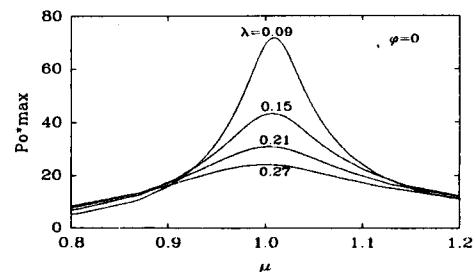


그림 7 주파수 - 출력특성

5. 결 론

본 논문은 직렬부하 공진특성을 이용한 고주파 인버터를 기본 구성단위로 2중 풀 브리지 인버터를 모드별로 분석하여 각 상태에 대한 회로 방정식을 유도하였고, 유도된 상태방정식을 무차원화 기법을 도입하여 범용성 있게 기술하였다.

또한 Pspice 시뮬레이션 결과와 비교하여 이론의 정당성을 입증하였고, 실험을 통한 실측파형으로부터 이론해석의 정당성을 더더욱 뒷받침하고 있다. 아울러 위상차각 φ 에 따른 λ 와 μ 의 변화에 의하여 출력전력의 제어특성 등을 범용성 있게 표현하여 설계자료로 유용히 이용할 수 있도록 하였다.

参考文献

- 1) D. M. Divan, "Inverter Topologies and Control Techniques for Sinusoidal Output Power Supplies," IEEE APEC, pp. 81-87, 1991.
- 2) S. Yuvarayan, "Waveform-Generator-Based Sine PWM Scheme for Resonant DC Link Inverter," IEEE APEC, Vol. 1, pp. 247-252, 1994.
- 3) Naser Abdel-Rahim, "A Single-Phase Voltage-Source Utility Interface System for Weak AC Network Applications," IEEE APEC, Vol. 1, pp. 93-99, 1994.