

Phase-Shift를 이용한 시분할방식 고주파 공진 인버터의 특성 해석에 관한 연구

조 규판*, 이 은우*, 배 영호**, 윤 석호***, 김 중기****

* : 영남대학교 전자정보공학부 ** : 경일대학교 *** : 김천대학 **** : 영남이공대학

A study on Characteristics analysis of time sharing type high frequency resonant inverter using a Phase-Shift

G.P. Cho*, E.W. Lee*, Y.H. Bae**, S.H. Yoon***, J. K. Kim****

* : School of Electrical and Electronic Engineering, Yeungnam University, ** : Kyungil University

*** : Kimcheon college **** : Yeungnam College of Science & Technology

Abstract - A half bridge time sharing type high frequency resonant inverter to give VVVF function in the inverter used as power source of induction heating at high frequency is presented in this paper. this paper also realize the output control of independence irrespective of the switching frequency using Phase-Shift. The analysis of the proposed circuit is generally described by using the normalized parameters. Also, the principle of basic operation and the its characteristics are estimated by the parameters, such as switching frequency, the variation of phase angle(ϕ) of Phase-Shift. It is certain that the proposed circuit will be used and expanded in the high frequency power supplies like induction heating systems.

배치한 회로로 구성된 Phase Shift를 이용한 VVVF 시분할방식 고주파 공진 인버터를 보여주고 있다.

회로의 특징은 소자간에 부하분담이 이루어져 단위 스위칭 소자가 부담하는 전류용량이 경감되며 아울러 스위칭 동작에 따른 소자의 스위칭 손실이 줄어들게 되므로 상대적으로 소자가 공급할 수 있는 평균전류용량이 증대되는 효과를 가질 수 있다.

그림 2는 그림 1의 스위칭 소자(S₁~S₆)의 스위칭 패턴을 나타내고 있다. 출력제어는 스위치(S₁,S₃,S₅)와(S₂,S₄,S₆)를 동기한 상태에서 상대적(S₁,S₃,S₅)에 대해서(S₂,S₄,S₆)의 위상각을 0~T/3 까지 연속적으로 위상각을 변화시켜 출력전압 제어를 실현하고 있다. 따라서, 출력전압제어는 스위치의 구동 펄스신호에 위상차각(ϕ)을 부여함으로써 고주파 출력을 연속제어 할 수 있다.

1. 서 론

최근, 전력변환장치의 고주파화 경향에 따라 전력용 반도체 소자를 사용한 전력변환기기의 고속화 대응량화에 대응하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 스위칭전원장치인 무정전 전원장치에서는 스위칭 주파수를 높게 하여 장치의 경량화에 부담을 주는 변압기의 소형화를 위해서 회로 내에 고주파 공진을 이용한 고주파 링크방식이 이용되고 있다.^{1)~3)}

따라서, 본 연구는 자기 소호형 소자로서 비교적 주파수 특성이 우수한 IGBT를 사용하여 구성한 Half-Bridge 직렬 공진형 고주파 인버터 회로를 기본으로 하여 각 소자의 duty cycle이 적어지고 스위칭에 따라 누적되는 열적 손실이 경감되는 효과를 가질 수 있는 Phase-Shift를 이용한 시분할방식의 인버터를 제안하고 있다.

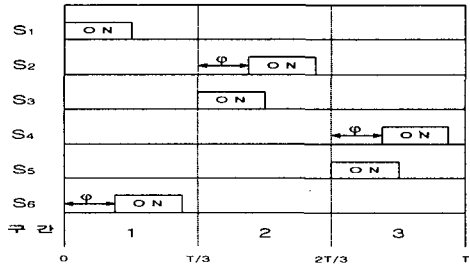


그림 2. 스위치의 스위칭 패턴

2. Phase-Shift를 이용한 시분할방식 고주파 공진 인버터

2.1 주회로 구성 및 동작원리

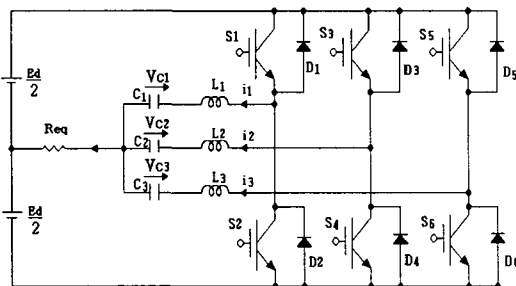


그림 1. Phase Shift를 이용한 시분할방식 고주파 공진 인버터

그림 1은 연구대상 회로로 전압형 하프-브리지 직렬형 인버터를 단위 인버터로 하여 직류전원에 병렬로 3개를

2.2 회로 해석

그림 1의 스위칭 소자(S₁~S₆)와 (D₁~D₆)의 온·오프 동작에 따라 8개의 동작 모드로 표현 할 수 있다. 또한, 각 모드별 회로 상태 방정식을 회로 해석의 범용성을 부여하기 위해 표 1에서 나타난 정규화 제어변수(Normalized Parameter)를 도입하였다.

표 1. 무차원화 파라메타

	Reference Values	Normalized Values
Voltage	E_d	$v'(z)=v_c(t)/E_d$
Current	$I=E_d/Z_b$	$i'(z)=i(t)/I_b$
Time	$T_{sw}=1/f_{sw}$	$z=t/T_{sw}$
Frequency	$f_r=1/2\pi\sqrt{L_bC_b}$	$\mu=f_{sw}/f_r$
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

$L_b=L_1=L_2=L_3, C_b=C_1=C_2=C_3$

제한한 인버터의 동작은 식 (1)의 상태 방정식으로 표현할 수 있고, 스위치(S₁~S₆)와 다이오드(D₁~D₆)의 온·오프상태에 따라 식 (2)~(9)와 같이 대표적으로 8개의 상태방정식으로 설명되며, 그림 3은 Phase-shift 하지 않는 경우의 구동신호와 각 부의 이론파형을 나내고 있다.

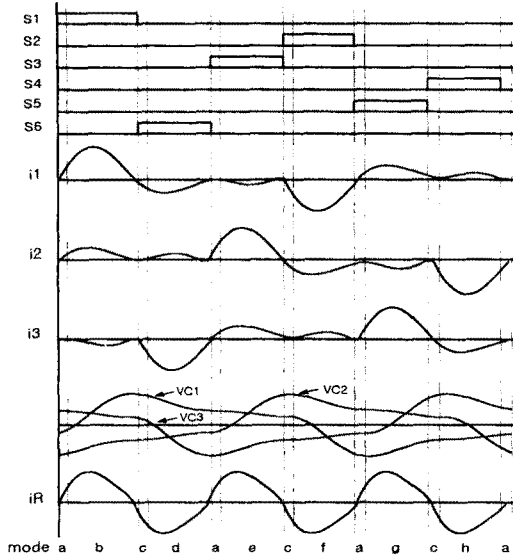


그림 3. 구동신호 패턴과 이론 파형

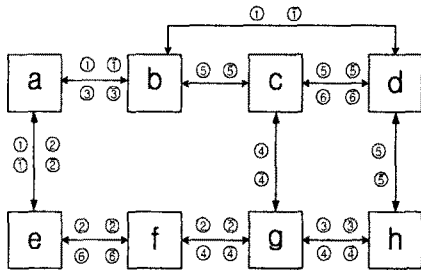


그림 4. 동작 모드

그림4에서 ①~⑥은 스위치 소자가 ON되는 상태이고 ①~②는 다이오드가 ON되는 상태이다.

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

$$Y^* = C \cdot X^* \quad (1)$$

여기서, $X^* = [i_1, i_2, i_3, v_{c1}, v_{c2}, v_{c3}]^T$, $U = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$ 이고, 각 모드별 A, B, C는 다음과 같다.

$$K = -\frac{4\pi\lambda}{\mu}, \quad L = -\frac{4\pi}{\mu}$$

$$N = \frac{2\pi}{\mu}, \quad M = \frac{\pi}{\mu}, \quad P = -\frac{2\pi}{\mu}$$

Mode a						
$A^* =$	K	K	K	L	0	0
	K	K	K	0	L	0
	K	K	K	0	0	L
	M	0	0	0	0	0
	0	M	0	0	0	0
	0	0	M	0	0	0

$$B^* = [N \ P \ N \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

$$C = [1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0] \quad (2)$$

Mode b

$$A^* = \text{Mode a의 } A^* \text{와 동일함}$$

$$B = [N \ P \ P \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

$$C = [1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0] \quad (3)$$

Mode c

$$A^* = \text{Mode a의 } A^* \text{와 동일함}$$

$$B = [N \ N \ N \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

$$C = [1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0] \quad (4)$$

Mode d

$$A^* = \text{Mode a의 } A^* \text{와 동일함}$$

$$B = [P \ P \ N \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

$$C = [1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0] \quad (5)$$

Mode e

$$A^* = \text{Mode a의 } A^* \text{와 동일함}$$

$$B = [P \ P \ P \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

$$C = [1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0] \quad (6)$$

Mode f

$$A^* = \text{Mode a의 } A^* \text{와 동일함}$$

$$B = [P \ N \ P \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

$$C = [1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0] \quad (7)$$

Mode g

$$A^* = \text{Mode a의 } A^* \text{와 동일함}$$

$$B = [P \ N \ N \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

$$C = [1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0] \quad (8)$$

Mode h

$$A^* = \text{Mode a의 } A^* \text{와 동일함}$$

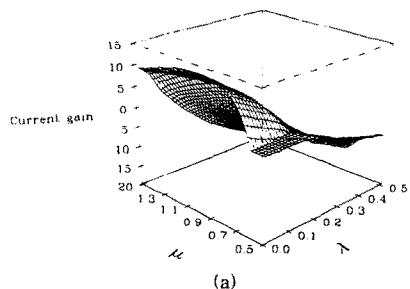
$$B = [P \ P \ N \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

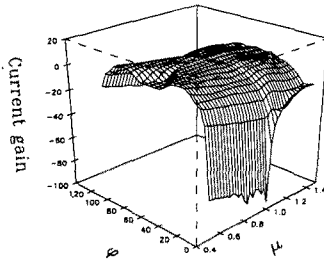
$$C = [1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0] \quad (9)$$

3. 특성평가

그림 5(a)는 Phase-Shift를 하지 않는 경우의 전류이득특성을 나타내고 그림 5(b)는 Phase-Shift를 한 경우, $\lambda = 0.1$ 로 고정하고 (μ, φ) 에 따른 스위치 전류(I_{sw})에 대한 부하 전류(I_R)의 전류이득 특성(Current Gain) 나타내고 있다.

그림 5(b)에서 알 수 있듯이 구동 신호의 위상각(φ) $\varphi = 60^\circ$ 에서 부하 전류이득이 최대로 되고 $\varphi = 60^\circ$ 를 기준으로 이득이 감소함을 알 수 있다. 무차원화 주파수(μ)가 1.0부근에서 최대 전류이득 특성을 나타내고 있고 무차원화 주파수(μ)가 공진점인 1.0를 벗어나는 부분에서는 전류이득이 감소하고 있음을 알 수 있다.





(b)

그림 5. 전류 이득 특성

그림 6은 $\lambda=0.1$ 로 고정하고, (μ, φ) 에 따른 출력 전력 특성(P_{max})을 나타내고 있다. 그림 6에서 알 수 있듯이, 구동 신호의 위상각(φ) $\varphi=0^\circ$ 에서 출력이 0이 되고 $\varphi=60^\circ$ 에서 출력이 최대로 되고 $\varphi=120^\circ$ 에서는 다시 출력이 0 되는 것을 알 수 있다.

또한, 유도 가열 부하계에 적용할 경우 위상각(φ)과 구동 주파수를 가변함으로써 출력 전력의 제어를 실현시킬 수 있으며, 부하 상태의 변화에 대응한 구동 주파수 즉 출력 주파수 추종 제어에 의해 최대 전력을 얻을 수 있다.

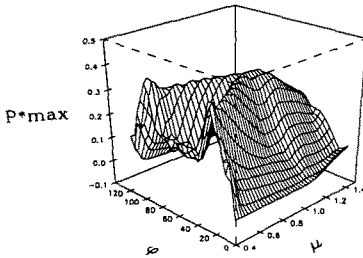
그림 6. 출력 전력 특성(P_{max})

그림 7은 각각의 스위칭 소자(S1,S3,S5)의 양단전압을 나타낸 것으로서 스위치가 턴-오프 시 스위칭 양단전압이 영전압 상태인 것을 알 수 있다.

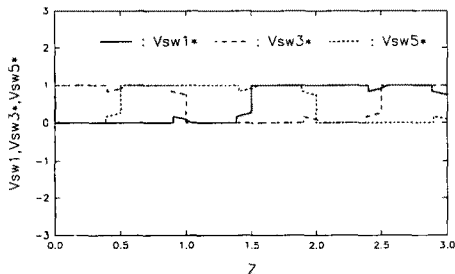
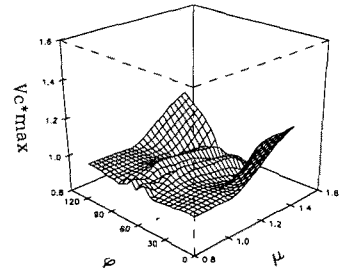
그림 7. 스위칭 전압(V_{sw1})과 부하 전류(I_R)

그림 8은 $\lambda=0.1$ 로 고정하고, (μ, φ) 에 따른 공진용 커패시터 전압특성(Vc^*max)을 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이, 구동 신호의 위상각(φ)이 $\varphi=60^\circ$ 에서 Vc^*max 가 최소로 됨을 알 수 있다.

공진용 커패시터 최대전압(Vc^*max)은 Phase-Shift를 이용한 시분할방식 고주파 공진 인버터의 스위칭 전류 최대치를 적분 한 것이므로 스위칭 소자에 흐르는 전류의 적분한 값으로 주어진다. 이들 특성치는 설계시 공진용 커패시터(Vc^*)의 내압을 결정하는 중요한 자료로 사용된다.

그림 8. 공진용 커패시터 최대 전압 특성(Vc^*max)

4. 결 론

본 논문에서는 스위치의 전류 분담을 감소시키는 효과를 갖는 시분할형 인버터 회로의 스위치에 위상차각을 부여하여 출력을 제어하는 Phase Shift형 시분할방식 Half-Bridge 인버터를 연구대상 회로로 하여 회로동작과 특성을 이론적으로 고찰하였다.

제안된 인버터회로의 동작 및 회로해석을 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 출력 전류는 3조의 Half-Bridge 내부의 L, C링크 회로로부터 분할 공진되어 흐르는 전류의 합성으로 나타난다.
- (2) 시분할 동작을 하고 있으므로 출력주파수는 스위칭 주파수의 3배가 된다.
- (3) 위상차 제어기능을 부여할 수 있어 VVVF 기능을 인버터 내부에서 독립적으로 운전시킬 수 있다.
- (4) 시분할 동작에 의해 스위치 턴-오프 시에 소자의 전류분담을 경감시키는 효과가 있다.

향후, 현재 널리 사용되고 있는 Power-Tr, Power-MOSFET, IGBT 등과 같은 자기 소호형 소자에 시분할 구동기법을 사용하여 부하 회로의 스위칭 주파수를 증가시킬 수 있어, 구동 스위칭 주파수보다 출력 주파수를 높게 가지는 부하에 고주파 전원으로 응용될 것으로 기대된다.

[참 고 문 헌]

- [1] Mustansir H .K . "Coaxially Wound Transformer for High-Power High-Frequency Applications", IEEE TRANS on PE. VOL 7. pp. 5 4~62, JANUARY, 1992.
- [2] Bimal K. Bose . "Evaluation of Modern Power Semiconductor Devices and Future Trends of Converters", IEEE TRANS on IND. APP. VOL. 28. 403~413, APRIL, 1992..
- [3] Thomas A. Lipo . "High Frequency Series-Resonant dc Link Power Conversion", IEEE TRANS on IND APP. VOL 28, No. 6, pp.1277~1285, NOV/DEC, 1992.
- [4] 조 규판, 노 채균, 서 철식, 배 영호, 윤 석호, "시분할방식 고주파 공진 인버터의 특성 해석", 2000 대한전기학회 춘계학술대회 논문집, pp 43~47, 2000.