

고주파 인버터회로에서 스위칭소자의 구동신호 위상천이에 의한 출력제어

이봉섭*, 최신희*

*삼척대학교 컴퓨터제어계측공학과
e-mail: mirine@samcheok.ac.kr

Output Power Control by Phase Shift of Driving Signal of switching device in High Frequency inverter Circuit

Bong-Seob Lee*, Shin-Hyeong Choi*

Dept of Computer Control Engineering, Samcheok National University

요 약

본 논문에서는 고주파 전류형 인버터를 제안하고 인버터의 출력방법에 대해 논하고 있다. 인버터의 출력제어 방법은 스위칭 소자에 인가되는 구동신호의 위상천이를 부여하여 위상천이에 따라 출력을 제어하고 있으며, 제한회로의 동작원리와 특성평가는 정규화파라메타를 도입하여 기술하였다. 또한 회로설계에 필요한 출력특성은 수치해석에 의해 평가 자료를 도출하고 실험 장치를 제작하여 이론결과와 비교 검토하여 특성평가의 정당성을 입증하였다.

1. 서론

최근에 신형 전력용 반도체 소자의 개발로 전력변환장치는 소형 경량화, 고효율화, 고속 스위칭화가 가능하여 그 응용범위도 확대되고 있다. 전력용 반도체 스위칭소자를 이용한 전력전자기술은 고성능 소자의 개발과 고효율성 에너지화의 요구에 부응한 전력변환 장치의 기술 발전도 최근 수 십년 간 눈부신 발전을 하고 있다. 전력전자 기술 중 고주파 응용기술은 유도가열 전원장치, 고주파 용접기, 초음파 발전기 등 산업분야를 비롯하여 전자조리기, 전자식 안정기 등의 가전용에 이르기까지 장래가 기대되는 기술로 주목받고 있으며, 전력변환 시스템에 신형전력용 스위칭소자를 도입하여 종래에 없는 새로운 회로방식의 개발은 물론, 종래의 회로구성에 새로운 제어기능을 부여하여 운전동작 영역도 가능케 하였다.[1] 그러나 스위칭소자를 고속으로 구동시킬 경우 턴온-오프에 따른 스위칭 소자의 전압과 전류스트레스의 증가, 그리고 스위칭 회로내의 표류 에너지를 처리하기 위한 실장 기술 등이 문제되어 최근에

는 공진 특성을 이용한 ZCS(Zero current switching), ZVS(Zero voltage switching) 및 소프트 스위칭에 관한 연구가 주목을 받고 있다. 공진회로 방식은 스위치의 턴온-오프시에 인가되는 전압 또는 스위치에 흐르는 전류파형이 정현파 형태로 나타나므로 스위칭 손실을 저감시키고 고주파화를 실현시킬 수 있어서 공진형 전력변환장치에 관한 연구가 진행되고 있다.[2] 본 논문에서는 상술한 기술적 배경으로 종래의 고주파 공진 인버터 회로에 인버터의 고주파 출력을 거의 선형적으로 인버터 내부에서 제어가 가능한 스위칭 기법을 제안하고 있다. 스위칭 동작에 따른 특성평가를 수행하였으며, 실험을 통하여 이론치와 비교검토하여 이론해석의 정당성을 입증하고 있다.

2. 전류형 고주파 인버터

그림 1은 종래의 풀-브릿지 전류형 고주파 인버터 회로를 나타낸다. 탱크회로는 유도가열용으로 사용하기 위하여 워크 코일을 L, 역률 보상용 콘덴서 C

와 피가열 물체 저항 R로 구성하여 공진시 L과 C로 동작한다. 다이오드 (D_1, D_2, D_3, D_4)는 역전압 지지용이며 스위칭 소자로 MOSFET가 사용된다. 직류 리액터 L_d 는 전원 E로부터 일정한 전류를 부하로 공급하기 위한 것이며 일반적으로 큰 값을 선정하여 일정한 정전류원을 근사적으로 실현하고 있다.

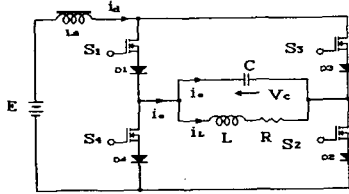


그림 1. 풀-브릿지 전류형 고주파 인버터

2.1 스위칭 방식

종래에는 인버터의 출력을 제어하기 위하여 입력 전원을 직접 제어하는 방법과 PFM(pulse frequency modulation)방법으로 사용하였다. 그리고 스위치의 구동방식도 그림 2와 같이 상호 대각으로 50%의 듀티비로 스위치를 턴온·오프시키고 있다. 입력전원 제어는 별도로 입력전원을 제어하기 위한 회로가 부가 되어야 하며, PFM방식은 주파수 조건에 따라 용량성 유도성으로 동작이 벗어날 경우 스위치의 과도한 스트레스를 줄 수 있다는 단점이 있다.

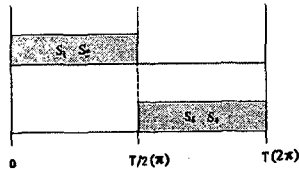


그림 2. 종래의 스위칭 구동 방식

그러나, 공진조건에서 고주파 출력을 제어하는 방법으로 스위칭소자에 인가되는 구동신호를 그림 3에서와 같이 신호의 위상천이에 의해 선형적으로 제어할 수 있는 방법을 제안하고자 한다. 그림에서 위상천이는 $0 \sim 180^\circ$ 까지 제어할 수 있으며 0° 에서는 그림 2와 같은 종래의 방법으로 구동된다. 위상천이에 따라 탱크회로에 주입되는 전원의 입력시간이 짧아 출력이 제어되고 π 에서는 상하 스위치가 아암 단락이 되어 탱크회로에 정상적인 전원이 입력되지 않아 출력은 거의 나오지 않게 된다.

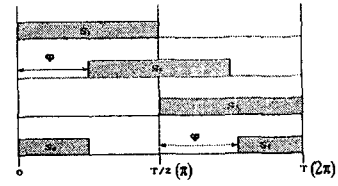


그림 3. 제안하는 위상천이에 의한 구동방식

2.2 제안회로의 해석

제안한 회로의 해석을 간략하게 하기 위해 회로의 모든 소자 및 회로의 조건은 이상적이며 손실은 무시한다. 표 1은 회로의 수치해석을 위한 해석의 범용성을 부여하기 위하여 정규화파라메타를 도입하여 나타내었다.

표 1. 정규화 파라메타

Parameters	Reference value	Normalized value
Time	$T=1/f_o$	$Z=t/T$
frequency	$f_r=1/2\pi\sqrt{LC}$	$\mu=f_o/f_r$
Impedance	$Z_s=2\sqrt{L/C}$	$\lambda=\frac{R}{Z_s}=\frac{R}{2}\sqrt{\frac{C}{L}}$
Voltage	$E_s=E$	$E'(z)=E(z)/E_s$
Current	$I_s=E/Z_s$	$i'(z)=i(z)/I_s$
Power	$P_s=E_s I_s$	$P'(z)=P(z)/P_s$
Inductance	$L_s=L$	$a_n=L_d/L_s$

기 타 f_o :인버터의 동작주파수
 T_o :인버터의 동작주기

그림 3의 구동방식에 따라 회로의 동작모드를 나타내면 4개의 모드로 표 2와 같다.

표 2. 회로의 동작모드

Switch Mode	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄
모드 1	on	off	off	on
모드 2	on	on	off	off
모드 3	off	on	on	off
모드 4	off	off	on	on

각 모드에 대한 회로 상태방정식과 출력방정식을 정규화 파라메타를 도입하여 나타내면 다음 식과 같다.

$$\frac{dx}{dz} = A \cdot x + B \cdot u$$

$$Y = C \cdot x \tag{1}$$

여기서, $x = [i_d \ i_L \ V_c]^T$, $u = [1 \ 0 \ 0]^T$

그리고 각 모드별 회로 상태방정식의 A, B, C는 다음과 같다.

<모드 1>

$$A1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{4\pi\lambda}{\mu} & \frac{4\pi}{\mu} \\ 0 & -\frac{\pi}{\mu} & 0 \end{bmatrix} \quad B1 = \begin{bmatrix} \frac{4\pi}{\mu} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$C1 = [0 \ 0 \ 1]$$

<모드 2>

$$A2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -\frac{4\pi}{\mu \cdot a_n} \\ 0 & -\frac{4\pi\lambda}{\mu} & \frac{4\pi}{\mu} \\ 0 & -\frac{\pi}{\mu} & 0 \end{bmatrix} \quad B2 = B1 \quad C2 = C1$$

<모드 3>

$$A3 = A1 \quad B3 = B1 \quad C3 = C1$$

<모드 4>

$$A4 = A2 \quad B4 = B1 \quad C4 = C1$$

2.3 제안회로의 특성평가

다음 그림 4는 인버터 회로를 공진조건($f_o = f_r$) 하에서 위상천이에 따라 출력전력 특성을 나타낸다. 위상천이에 따라 선형적으로 출력이 제어됨을 볼 수 있다.

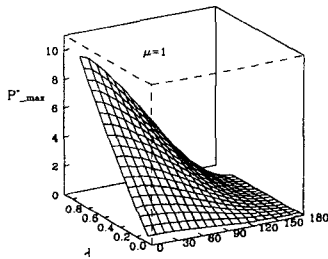


그림 4. 출력전력 특성

그림 5는 부하전류의 특성으로 λ 에 관계없이 위상천이에 따라 선형적으로 제어된다.

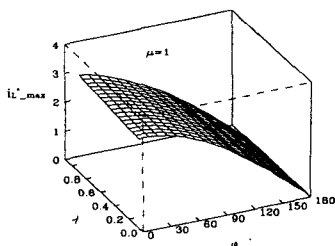


그림 5. 부하전류의 특성

3. 실험결과 및 검토

이론해석의 특성을 실험결과와 비교하기 위하여 실험 장치를 제작하였다. 그림 6은 인버터회로의 블

록도를 나타낸다. 시스템의 동작은 부하단의 출력파형을 검출하여 파형을 정형한 후 VCO의 출력신호와 비교하여 타임딜레이 회로를 거쳐 위상 검출기의 기준 신호를 만든다. 위상검출기로부터 출력되는 신호는 LPF를 거쳐 VCO의 제어신호로 사용하며, 회로 공진시 90°의 위상차를 갖도록 되어있다.

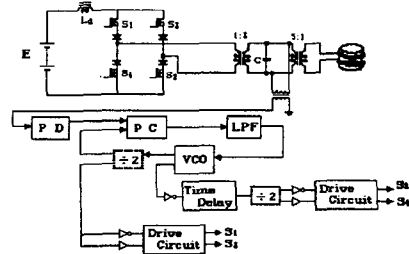


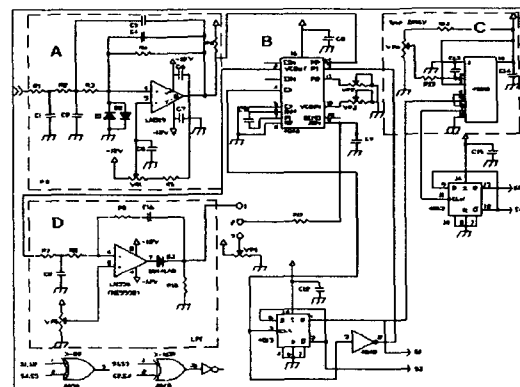
그림 6. 시스템 블록도

실험에서 사용된 파라메타 및 사용한 소자는 표 3과 같다.

표 3. 회로 파라메타

Input Voltage	Vdc=20[V]
스위칭 주파수	46[kHz]
Mosfet	San Rex FBA50BA50
Diode	IR 40HF L60SO2
Ld	5.6[mH]
L	0.7[uH]
C	14.1[uF]
R	0.05[Ω]

그림 7은 본 실험장치에서 사용한 위상천이 제어용 PLL회로이다.



A:파형정형부(P.D), B:VCO발전부 C:타임 딜레이(T.D), D: LPF

그림 7. 위상천이용 PLL 제어회로

위상천이 제어용 PLL회로를 사용하여 스위칭소자의 게이트 신호를 위상천이에 따라 측정된 파형으로서 위상천이에 따라 1/2의 듀티비를 갖고 위상이 제어됨을 볼 수 있다.

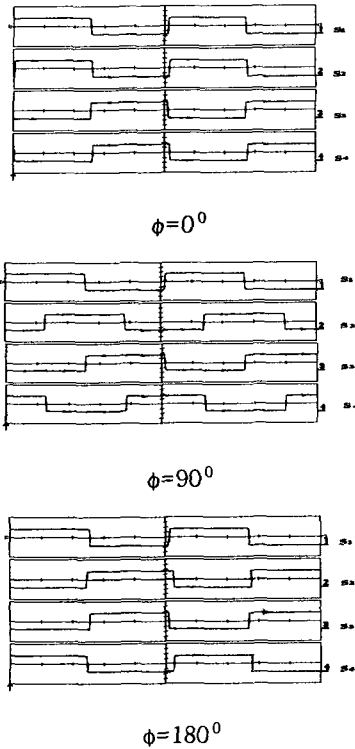


그림 8. 스위칭 소자의 게이트 신호

그림 9는 인버터 회로에서 탱크회로에 주입되는 입력전류의 파형을 나타낸다. 위상이 180° 일 때는 스위치의 아암 단락으로 탱크회로에 입력이 거의 되지 않는다.

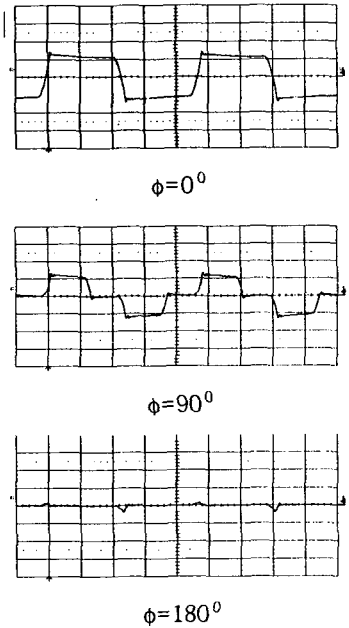


그림 9. 탱크회로의 입력전류

그림 10은 이론해석에서 얻은 시뮬레이션 결과파형과 실험파형을 비교하여 나타내었다 그림에서 이

론 파형과 거의 일치하며 위상천이에 따라 선형적으로 제어됨을 알 수 있다.

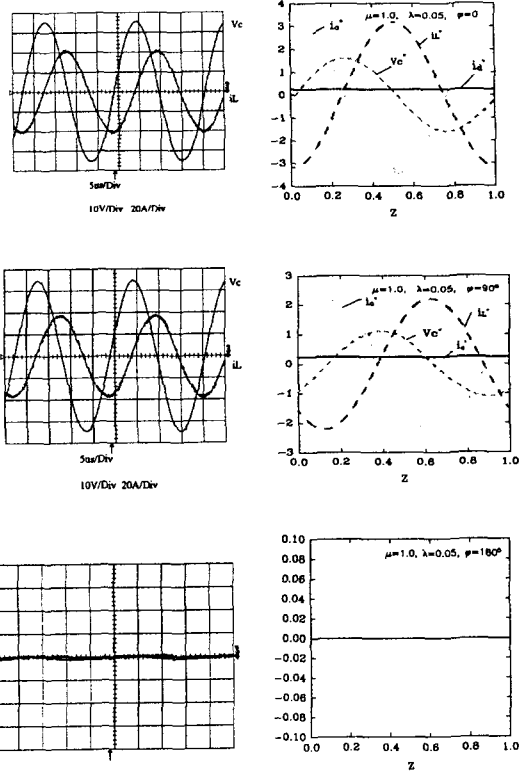


그림 10. 각부의 파형

4. 결론

본 논문에서는 종래의 풀-브릿지 전류형 고주파 인버 회로에 기존의 스위칭 구동방식에서 출력전력을 제어할 수 있는 위상천이 제어형 스위칭 구동방식을 제안하고 비교 검토하였다. 그리고 실제 실험장치를 제작하여 공진조건하에서 주파수를 변화시키지 않고 고주파 인버터로 동작하며 위상천이에 따라 출력이 선형적으로 제어됨을 볼 수 있었으며 출력제어가 더 용이함을 알 수 있었다. 앞으로 고주파 출력제어를 필요로 하는 전원장치 분야에 응용되리라 사료된다.

참고문헌

- [1] Patrick R. Palmer and Muhammad S. Abu Khaizaran, "The Series connection of IGBTs in a Current Source Inverter", PESC, conference Proceedings, vol. 1, pp. 170 ~ 175, 2001
- [2] J. M. Espl, "Features Design of the Voltage-Fed L-LC Resonant Inverter for Induction Heating", IEEE/PESC. Vol. 2, pp. 1126 ~ 1131, 1999.