

# Zero-Voltage-Switching 을 이용한 고주파 인버터

심광열<sup>o</sup> 문창수 김동희 김용훈\* 유동욱\*\*  
 영남대학교 전기공학과 \*진영Eng \*\*한국전기연구소

## High Frequency Inverter using Zero-Voltage-Switching

K.Y. Sim, C.S. Moon, D.H. Kim, Y.H.\* Kim, D.W. Yoo\*\*  
 YoungNam Uni. Dep. of Electrical Engineering, \*JinYoung co., \*\*KERI

### <Abstract>

This paper describes high frequency inverter using zero voltage switching(ZVS). The ZVS operation is achieved to reduce the switching stress and switching loss under high speed switching.

The proposed circuit configuration and performance are discussed. Its operation characteristics are evaluated through computer-aided simulation.

### 1. 서론

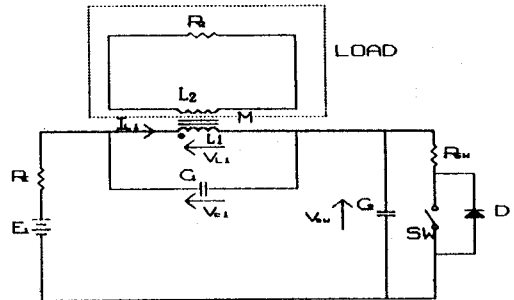
신형 전력용 반도체 스위칭소자를 이용한 전력 변환 장치는, 출력주파수를 고주파 영역에서 스위칭 동작이 이루어짐에 따라 전자통신, 가전민생 응용기기등의 산업응용분야에서 부품의 소형·경량화, 저소음화등의 요구를 실현시킬 수 있게 되었다.(1)(2)(3)

최근, 가전 민생 응용기기 분야에 있어서는 고주파 인버터 회로와 응용system기술, 고주파 인버터 링크 직류 콘버터 회로와 응용기술이 많이 이용되고 있다. 이와같은 고주파 인버터를 도입한 전원장치로서는 성분품화, 저손실화 저COST화등을 도모하고, 회로구성이 간단한 E급 스위칭 MODE 공진회로 Topology의 인버터 콘버터가 적용되고 있다.(4)(5)

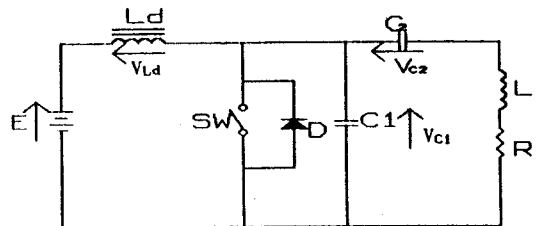
본연구에서는 신형자기소호형 소자를 대상으로 회로가 간단하고 부품수가 적으며, 고출력 주파수에 따른 스위칭 손실을 저감할수 있는 Zero Voltage Switching (ZVS)을 이용하고 있는 회로방식으로써,(6) 유도가일원리를 이용한 전자조리용 전원장치에 응용될수 있는 고주파 인버터의 한 형식을 제안하여, 회로구성 및 특징에 대해 기술한다. 또 무차원화 parameter를 도입한 이론적 해석과 기동운전 및 정상운전 특성을 평가한다.

### 2. 고주파 인버터의 회로구성 및 특징

그림 1의 (a),(b)는 공진용콘덴서  $C_1, C_2$ 를 분할설치한 전압 및 전류형 회로를 나타내고 있다. 그림 1의 a) b)는, ZVS 동작을 하는 고주파 인버터의 주 회로를 나타내며, 부하로는 유도가일부하( $L_2-R_2$ )를 고려하였다. 본 회로는 고주파 인버터와 유도가일 부하계가 상호유도 결합으로 있기 때문에, 누설인덕턴스분을 공진용 인덕턴스로 사용할 수 있다.



(a) 전압형 인버터



(b) 전류형 인버터

그림 1. 전압형과 전류형 고주파인버터

본 연구에서는 그림 1 (a)에 관해서만 기술 하기로 한다. 본 회로의 특징으로서는 ZVS 동작으로 스위칭 소자의 Turn on 손실을 0으로 하는것이 가능하고, 스위칭 소자의 전압파형이 0에서 완만하게 공진적으로 상승하는 소프트 스위칭 동작으로 Turn-off 손실을 작게 억제 할수 있다. 또 회로

구성이 간단하고 성분품의 소형 경량 저COST와 할수 있다. 회로구성은 그림 1(a)에서 알수 있듯이, L<sub>1</sub>과 병렬로 공진용 콘덴서 C<sub>1</sub>과 스위치와 병렬로 C<sub>2</sub>를 부착하여, C<sub>1</sub>=αC<sub>0</sub>, C<sub>2</sub>=(1-α)C<sub>0</sub>로 정의되는 새로운 변수 α를 도입함으로써 회로해석을 보다 범용성 있게 할수 있다.

그림 1(a)에서 α=1 일 경우에는 공진콘덴서 C<sub>1</sub>과 여자모일 L<sub>1</sub>과 병렬로 연결된 인버터터로 구성되며 스위치 OFF시 전류가 전원으로 feed back되는 현상은 없고 입력전류가 불연속 MODE가 된다. 또, α=0일 경우에는, 공진용콘덴서 C<sub>2</sub>가 스위치와 병렬로 구성된 인버터터가 되고, 스위치 OFF시 많은 전류가 전원으로 feedback 되어진다. α의 변화에따라 전압원으로 feedback 되는 loop(α=1)와 feedback되지 않는 loop(α=0)로 구성되어지고, 전압원에는 일반적으로 내부저항이 존재하고 이것에 의한 손실이 α=1의 인버터쪽이 작다.

또 공진용 콘덴서 C<sub>2</sub>의 전압이 C<sub>1</sub>의 전압보다는 전압원만큼 높게되어 콘덴서 C<sub>2</sub>는 C<sub>1</sub>보다 높은 내압이 필요하다.

α=1인 인버터는 단락전류에 의하여 스위칭 소자의 파괴의 가능성이 있고, 스위칭 소자에 큰 공진전압이 걸리기 때문에 고내압 소자가 필요하다.

따라서 α를 연속적으로 변화시키는 것에 의해, 이 두 인버터의 중간특성을 나타낼 수있게 된다.

### 3. 제안 회로 해석

그림 1(a)의 회로는 다이오드와 스위치의 온, 오프 동작에 따라 2가지 모드로 나눌 수있다.

각 MODE별 회로의 상태방정식을 무차원화 변수를 도입하여 무차원화한 상태방정식을 다음과 같이 나타낸다.(7)

MODE 1.

$$\frac{1}{Z} \begin{pmatrix} \phi_1^* \\ \phi_2^* \\ V_{C1}^* \\ V_{C2}^* \end{pmatrix} = \frac{4\pi}{\mu} \begin{pmatrix} 0 & -\frac{1}{\tau_2} \frac{1}{k^2-1} & -\frac{1}{k^2-1} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{\tau_2} \frac{1}{k^2-1} & \frac{K}{k^2-1} & 0 \\ -\frac{1}{4} \frac{1}{\alpha} & 0 & -\frac{1}{4\lambda_1} \frac{1}{\alpha} & -\frac{1}{4\lambda_1} \frac{1}{\alpha} \\ 0 & 0 & -\frac{1}{4\lambda_1} \frac{1}{1-\alpha} & -\frac{1}{4\lambda_1} \frac{1}{1-\alpha} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \phi_1^* \\ \phi_2^* \\ V_{C1}^* \\ V_{C2}^* \end{pmatrix} + \frac{\pi}{\mu\lambda_1} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{\alpha} \\ \frac{1}{1-\alpha} \end{pmatrix}$$

MODE 2.

$$\frac{d}{Z} \begin{pmatrix} \phi_1^* \\ \phi_2^* \\ V_{C1}^* \\ V_{C2}^* \end{pmatrix} = \frac{4\pi}{\mu} \begin{pmatrix} 0 & -\frac{1}{\tau_2} \frac{1}{k^2-1} & -\frac{1}{k^2-1} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{\tau_2} \frac{1}{k^2-1} & \frac{K}{k^2-1} & 0 \\ -\frac{1}{4} \frac{1}{\alpha} & 0 & -\frac{1}{4\lambda_1} \frac{1}{\alpha} & -\frac{1}{4\lambda_1} \frac{1}{\alpha} \\ 0 & 0 & -\frac{1}{4\lambda_1} \frac{1}{\alpha} & -\frac{1}{4} \left( \frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} \right) \frac{1}{1-\alpha} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \phi_1^* \\ \phi_2^* \\ V_{C1}^* \\ V_{C2}^* \end{pmatrix} + \frac{\pi}{\mu\lambda_1} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{\alpha} \\ \frac{1}{1-\alpha} \end{pmatrix}$$

상기 MODE1, MODE2의 무차원화 상태방정식의 해를 수치해석에 의해 구하였다. 계산기에의한 수치해석의 결과, 그림 1(a)에서 제안된 정상상태동작 파형은, 그림 2와 같다. 파

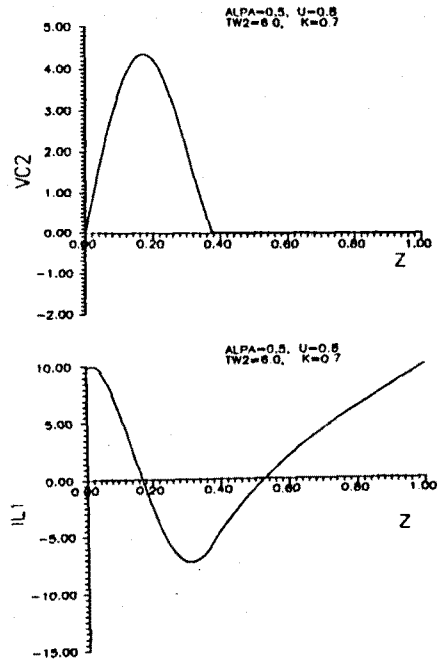


그림 2. 정상상태 동작파형

형에서 알 수있듯이, 다이오드가 ON는 시점에서 스위치를 ON함으로써, ZVS를 실현 시킬 수있다.

### 4. 특성 평가

그림 3,4는 본 회로의 출력 특성을 나타내고 있다.

그림 3에서는 부하가 중부하로 갈수록 출력이 증가됨을 알수 있다. 특히 스위칭 주파수가 낮을수록, 이 현상은 현저히 나타나는데, 이는 스위칭 주파수를 낮게 하면 MODE 2 구간이 커져서 전원이 L<sub>1</sub>을 통해 전력을 공급하는 시간이 길어지기 때문이다. 그림 4는 U에따른 출력의 특성도이다. 주파수를 제어함으로써, 출력 전력을 광범위하게 제어할수 있음을 볼수있다.

그림 5,6은 각 parameter에 대한 최대 스위치 전압특성을 나타낸다. 그림 5는 주파수 U가 커질수록 스위치전압이 감소하는것을 나타낸다. 이것은 L<sub>1</sub>에 의해 C<sub>2</sub>가 충전하게 되는데, 주파수U에 따라 L<sub>1</sub>의 전력이 전원으로 부터 적게 공급되므로, 따라서 C<sub>2</sub>도 보다 적은 값으로 충전되므로, 충전 전류가 줄어드는것을 알 수 있다. 그림 6은 결합계수 K에 따른 스위치의 최대 전압을 나타낸다. K가 커질수록 스위치 전압은 증가한다. 이것은 K가 크면 밀결합이되고, 누설성분이 줄어들어 실제 공진에 기여하는 L<sub>1</sub>의 값이 적어지고, L<sub>1</sub>과 병렬로 연결된 C<sub>1</sub>에 흐르는 전류보다 L<sub>1</sub>에 흐르는 전류가 훨씬 크게 되고, 이 전류가 C<sub>2</sub>를 충전시키므로 전압은 K에 따라상승한다.

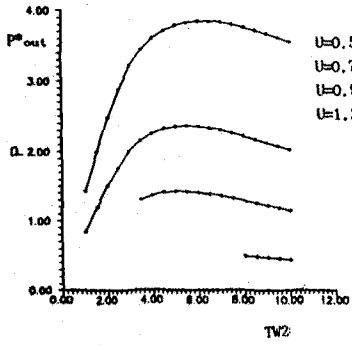


그림 3. 부하에 따른 출력특성

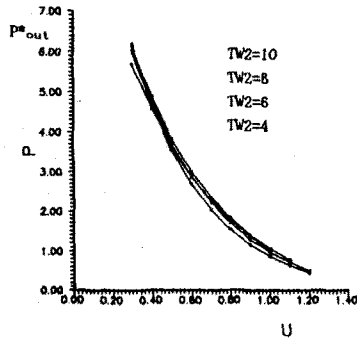


그림 4. U에 따른 출력특성

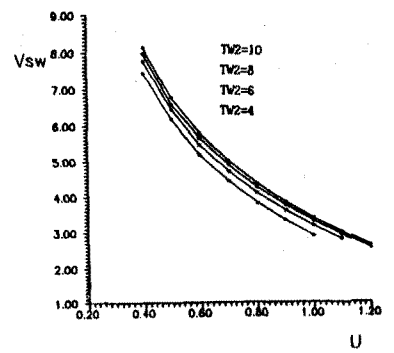


그림 5. U에 따른 최대스위칭전압

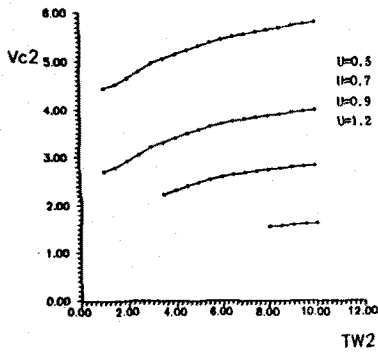


그림 6. 부하에 따른 최대스위칭전압

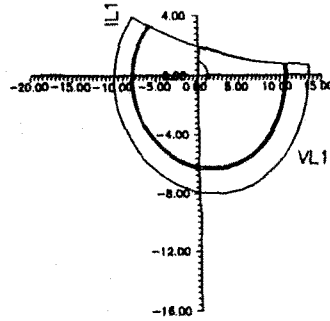


그림 7.  $I_{L1}$ 과  $V_{L1}$ 의 상태궤적도( $U=0.7$ )

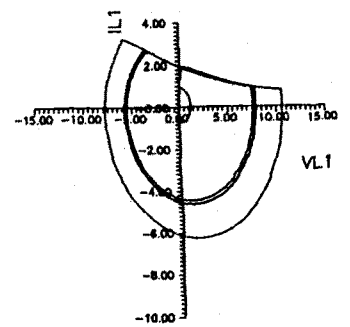


그림 8.  $I_{L1}$ 과  $V_{L1}$ 의 상태궤적도( $U=0.5$ )

< 참 고 문 헌 >

### 5. 기동 과도 특성

그림 7,8은 주파수  $U$ 에 따른  $I_{L1}$ 과  $V_{L1}$ 의 상태궤적에 의한 기동특성을 나타낸다. 그림에서 보듯이 기동 운전시, 특성값의 Overshoot가 없고, 대체로 4~5 CYCLE이내에 정상 상태에 도달함을 보여주고 있다.

$U$ 가 증가함에 따른 기동시 순간적인 특성값의 변화는 작고, 응답속도도 양호하게 나타나는것을 알수 있다.

### 6. 결 론

본 논문에서는 유도가열원리를 이용한 전자조리용 전원장치에 적용할수 있는, 공진 콘덴서 분할형 고주파 인버터회로를 제안하여, 회로구성 및 특성에 대하여 기술하였다.

또한 공진용 콘덴서와 여자 Coil  $L_1$ 과 병렬로 구성된 인버터와 공진용 콘덴서와 스위치와 병렬로 구성된 인버터의 특징에 대하여 기술하고 공진용 콘덴서 분할비  $\alpha$ 에 따른 회로특성을 무차원화 변수를 도입한 시뮬레이션에 의해서 운전기동상태 및 정상상태 특성을 평가하였다.

제안회로는 ZVS동작에 의한 스위칭 손실을 극히 적게 억제할 수 있어 고주파화가 가능하고, 소형·경량화, 저잡음화를 도모할 수 있으리라 사료된다.

1. J.JOZWIK ; "Analys and Design of class-E2 DC/DC Converter"EEE,IndustralelecVol.37, No.2, pp173-183, 1990
2. K.Kit Sum and Bruce W.Carsten ; "Trends in High Frequency Power conversion", HFPC, 1988, May
3. Wen-Jian,Koosuko Harada ; "A Circuit Model for the Class E Resonant DC-DC Converter Regulated at a Fixed Switching Frequency", IEEE,TRANCTIONS ON POWER ELECTRONICS, Vol.7, No.1, 1992
4. N.O.Skal etc ; "class E-A new class of High Efficiency Turned Singled Ended Switching Power Amplifiers", IEEE,Vol.sc-10,No.3, pp168-176, June (1975)
5. G.Lutteke etc ; "220V mains 500kHz class-converter Using A Bimos", PESC,pp127-135,1985
6. 노채균 ; "E급 스위칭모드 DC/DC 콘버터에 관한연구", 전력전자 연구회 논문집,제12회
7. 노채균 ; "E급 스위칭제어형 고주파인버터에 관한연구", 대한전기학회 하계학술 발표대회(1991), pp 537 - 540