E 급 스위칭 제어형 고주파 인버어터에 관한연구

노 채 균 남 승 식 심 광 열 문 창 수°
영남 대학교 전기공학과

A Study on High Frequency Inverter using E-Class Swithing Control

Ro - Chae Cyun Nam - Seung Sig Sim - Kwang Yeol Moon - Chang Su°
Department. of Electrical Engineering University of Yeungnam

Abstract

This paper discusses with a voltage - fed Type high frequency inverter with simple main circuit and high efficiency. The proposed inverter is proper as a high frequency inverter of home applications applied with induction heating principle of high frequency .

Further, its operating characteristics necessary to its design is estimated by analysis of a lumped circuit of heating system as a model.

1. 서 론

인가된 직류 또는 교류전력을 원하는 형태로 변환,조정하기 위해 각각의 전력 변환방식에 대응한 반도체 전력변환회로(인버어터,콘버어터 등)가 사용되고 있다.

전력변환회로에 사용되는 스위칭 소자는 다종 다양하며, 전력변환회로가 갖는 특성 즉 동작 주파수,내압,최대전류 그리고 필요한 Drive 회로 등에 의해 최적인 소자의 선택이 필요하다.

수 10 KHZ - 수 100 KHZ 대 에서의 고주파 전력 변환기술 응용을 주체로 하는 고주파 인버어터는 여러종류가 있으나, 부품수가 적으면서 간단한 회로구성으로 되고,고전력 밀도화가 가능한 E 급 스위칭 모드 고주파 공진형이 주목을 받고 있다(1)(2)(3). 고주파 인버어터의 응용은 다양한 분야에 걸쳐서 이용되고 있으며,그 중에서도 유도가열 응용으로서 가전용 전자조리기는 Gas 전열에 비해 안전성과 청결성이 우수하다는 등의 장점이 있다.

전자조리기의 가열코일에 고주파 전류를 공급하는 고주파 인버어터는 부하변동에 대해 안정하여야 하며,전력가변이 용이할것 그리고 저 코스트 등이 요구되므로 전압형 E 급 스위칭 모드 고주파 인버어터가 사용되고 있다(4)(5)(6).

본 연구는 상기와 같은 배경으로 전자조리기용 고주파 인버어터 회로의 한형식을 제안하여 그 동작 원리 및 특징에 대해 기술하고 있다. 아울러 회로해석을 통해 설계 전단계에 필요한 동작 제특성을 가열계 집중회로 모델로하여 범용성있게 특성평가를 행하고 있다.

2. 주 회로구성과 동작

그림 1 은 공진용 콘덴서를 분할한 E 급 스위칭 제어 고주파 인버어터 회로를 보여주고 있다. 부하로는 유도 가열부하(R2 - L2)를 고려하였다. 따라서 인버어터의 구성요소는 전압원 E1,가열 Coil L1 그리고 공진용 콘덴서 C1,C2 자기소호형 소자 Tr 과 역병렬 Diode D 로 된다.

인버어터의 본체와 부하와의 결합은 가열 Coil L1과 부하의 인덕턴스분 L2와의 상호유도 작용에 의하므로 결합계수 K 가 1 이하로 된다. 본 회로의 E 급 스위칭 동작이란 역병렬 Diode 가 도통하고 있는 상태에서 스위치를 점호하여 스위칭 소자의 Turn - On 손실을 영으로 하는것을 의미한다. (준 E 급 동작이라 칭함)

그림 1 의 회로동작은 다음과 같다.지금 어떤시점 to에서 Tr에 On 신호를 인가하면, L1 과 C1 C2 그리고 부하에 의해 진동이 발생한다. 이 기간중 L1 에 축적된 에너지가 부하로 방출된다. 진동이 끝나는 시점 t1 에서 다이오드의 인가전압이 역 Bias 에서 순 Bias 로 반전해 Diode 를 Turn - On

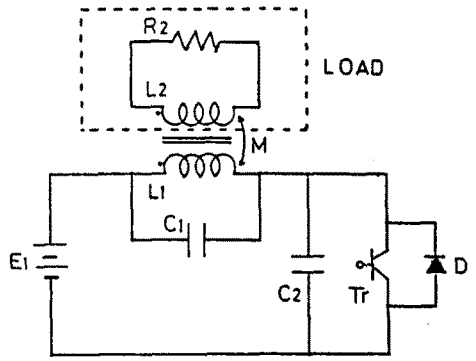


그림 1. E 급 스위칭 제어 고주파 인버어터

시킨다. 그후 Diode 전류는 단조증가해 전류값이 영이 되는 t2 시점에서 Turn - Off 한다.

이 t1 - t2 기간중에 스위치 Tr에 On 신호를 인가 한다면 E 급 스위칭 제어를 실현할수 있다. t2 이후 Tr에 Off 인가해 t3 까지의 기간에는 tr 에 단조증가된 전류가 흐르며,가열 Coil L1에 에너지가 축적된다. 상기의 동작을 주기적으로 반복하여 발진을 계속하게 된다.

3. 이론적 해석

3.1 유도가열 부하모델

실제의 유도가열 부하는 가열이 진행됨에 따라 그 등가 R - L 파라메타 값이 시시각각 변화하는 시변부하이나,그 변화는 비교적 완만하므로 어떤동작점 근방에 있어서는 거의 정상상태로 볼수 있다.

따라서 해석에 있어서 R - L 파라메타를 정수로 가정하여 그림 2 에 나타낸 유도가열 부하 모델을 사용한다. 그림 2 의 회로 방정식은 (1) 식과 같다.

$$V_{L1} = \frac{d\phi_1}{dt} + \frac{d\phi_1}{dt}$$

$$0 = \frac{1}{\tau}\phi_2 + K^2\frac{d\phi_1}{dt} + \frac{d\phi_2}{dt} \quad \cdots (1)$$

여기서 $\tau_2 = L2/R2$, $K = M/\sqrt{L_1L_2}$,

$\phi_1 = L1*I1$ $\phi_2 = M*I2$

3.2 회로 상태방정식

그림 1 의 회로는 Tr과 D 의 On/Off 동작에 의해 표 1 과 같이 3 개의 동작모드로 분류 할수 있으며,각 모드의 등가회로는 그림 3 과 같다. 또 해석결과에 일반성을 부여하기 위하기 위해 표 2 와 같이 무차원화 파라메타를 도입 하였다.

표 1 . 동작 Mode 천이

Mode / S W	Mode 1	Mode 2 (a)	Mode 2 (b)
Tr	Off	On	Off
D	Off	Off	On

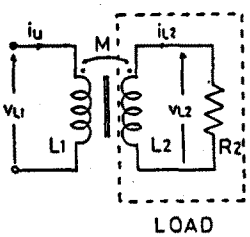
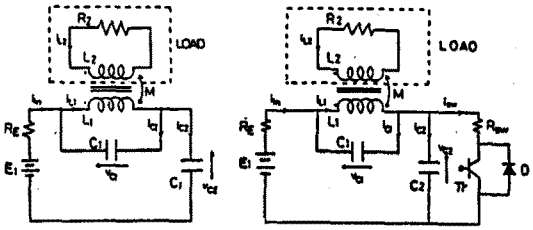


그림 2 . 부하 Model



(a) 모드 1 (b) 모드 2

그림 3 . 등가 회로

표 2 . 무차원화 파라메타

무차원화 기준량	
$E_B = E_1$	$f_B = 1/(2\pi\sqrt{L_BC_B})$
$C_B = C_0$	$T_B = 1/f_0$
$L_B = L1$	$I_B = E_B/Z_B$
$Z_B = 2\sqrt{L_B/C_B}$	$\phi_B = L_B*I_B$
$\tau_B = L_B/Z_B = \sqrt{L_BC_B/2}$	$P_B = E_BI_B$
무차원화 파라메타	
$Z = t/T_B$	$V^* = V/E_B$
$\mu = fo/f_B$	$I^* = I/I_B$
$\tau_2^* = \tau_2/\tau_S$	$\phi^* = \phi / \phi_B$
$\lambda_1 = R_E/Z_B$	$P^* = P/P_B$
비고 fo: 인버어터의 동작주파수 To: 인버어터의 동작주기	

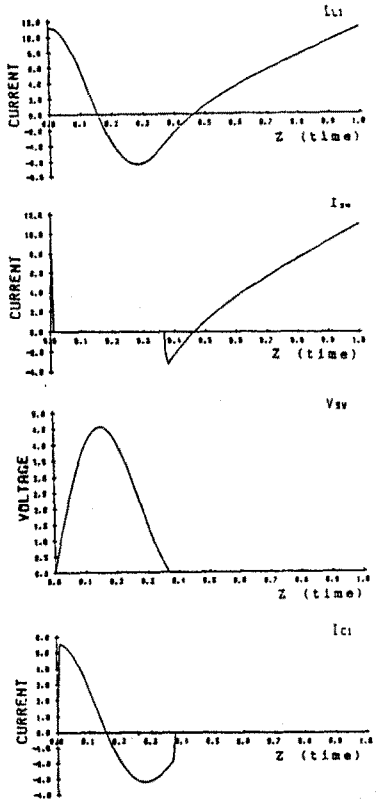
각 모드에 있어서 상태방정식은 상태변수 ϕ_1,ϕ_2,파라메타 K ,τ_2, α(=C1/Co)를 사용하여,무차원화 시키면 다음과 같다.

Mode 1

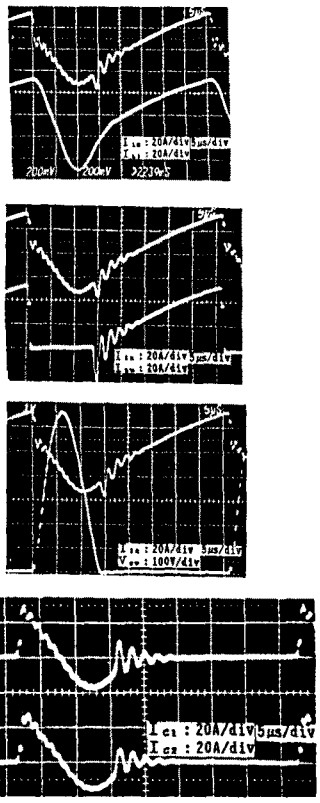
$$\frac{d}{dZ}\begin{pmatrix}\phi_1^*\\ \phi_2^*\\ V_{C1}^*\\ V_{C2}^*\end{pmatrix} = \frac{4\pi}{\mu}\begin{pmatrix} 0 & -\frac{1}{\tau_2^*}\frac{1}{k^2-1} & -\frac{1}{k^2-1} & 0\\ 0 & -\frac{1}{\tau_2^*}\frac{1}{k^2-1} & \frac{1}{k^2-1} & 0\\ -\frac{1}{4}\frac{1}{\alpha} & 0 & -\frac{1}{4\lambda_1}\frac{1}{\alpha}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

Mode 2

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



(a) 이론파형(α = 0.5)



(b) 실험파형(α = 0.5)

그림 4 . 이론파형과 실험파형

그림 4 는 각 모드의 상태방정식을 수치해석에 의해 얻어진 이론파형과 실측파형을 나타내고 있다.

파형에서 알수 있듯이 이론파형과 실측파형이 거의 일치하고 있어 본회로 해석의 정당성을 뒷받침 하여준다.

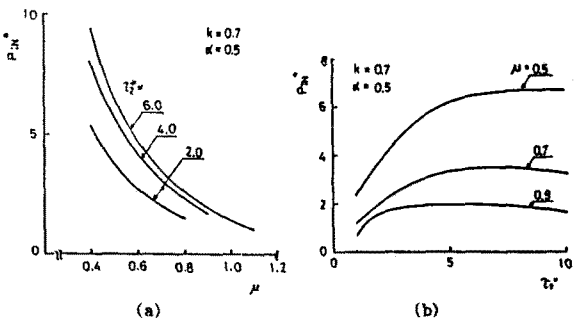
실험 회로는 부록에 나타내었다.

4. 운전특성

그림 5 (a),(b) K=0.7 , α = 0.5 의경우, τ_2^* 및 μ 를 파라메타로 한 입력특성을 나타내고 있다.

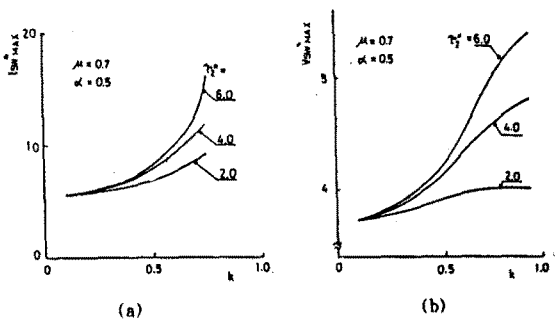
그림 에서 보는바와 같이 μ의 증가에 대해 입력전력은 단조 감소하고 있다. 이것은 동작주기가 감소해 모드 1 의 동작기간이 감소 하므로 전력의 공급이 되지않음을 나타낸다. 본 회로는 μ의 조정으로 입력전력을 제어 할수 있음을 알수 있다. 또 τ_2^* 의 증가에 대해서는 입력은 증가함을 나타내나, 최대치를 넘으며 점차 감소하는 특성을 나타내고 있다. 그림 6 (a),(b)는 τ_2^* 를 파라메타로 하여 K의 변화에 따른 스위치의 전압, 전류의 최대치 특성을 나타내고 있다. K 의 감소에 대하여 각각의 특성은 일점에 수속된다.

이것은 점차 무부하 상태에 가까워 짐을 의미한다.



(a) (b)

그림 5. 입력특성



(a) (b)

그림 6 . 스위치의 전압,전류특성

5.결 론

본 고에서는 전자 조리기에 사용가능한 E 급 스위칭 제어 고주파 인버어터의 한 회로형식을 소개하여,기본회로 구성 및 동작원리에 대해 기술하였다.

아울러 회로해석을 무차원화 파라메타를 도입하여 범용성을 부여 하였으며, 제안회로의 기본운전 특성을 도설하였다. 향후 분할비 α 에 따른 특성 및 실용화에 따른 제반 문제점들을 검토할 예정이다.

참고문헌

(1) N.O.Skal etc,"Class E - A New Class of High Efficiency Tuned Single Ended Switching Power Amplifiers",IEEE ,Vol. SC - 10 ,NO.3
pp 168-176 June(1975)

(2) G.Lutteke etc,"220V mains 500 KHZ Class - E Converter Using A Bimos",PESC'85. pp 127-135(1985)

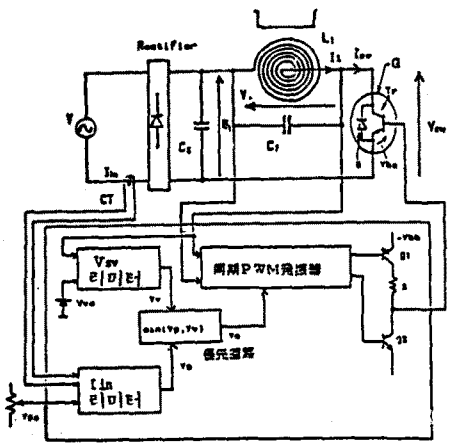
(3) 노채균 ," E 급 스위칭 모드 DC/DC 콘버어터에 관한 연구", 전력전자 연구회 논문집,제 12 회
pp 87-92 (1991).

(4) 本多 ,"Clean-Range" ,Mitsubishi.pp 64-67.
Vol 59.NO.9. (1985)

(5) United States Patent,"Solid State Induction Cooking Applications and circuits",DEC.25 ,(1985)

(6) J,Uoeda,etc,"Zero - Current Switched Guasiresonant Converters with One Additional Fully Regulated Output ",IECON '90 ,Vol. II. pp 863-868 (1990)

부록 1



실험회로