

직렬형 및 병렬형 고주파 (공진형) 인버터의 특성연구

김은수, 김종수, 변영복, 이중무

한국전기연구소

A Performance Comparison of Series and Parallel Resonant
Inverters in High-Frequency Applications

E.S KIM, J.S KIM, Y.B. BYON, J.M LEE

(KERI)

Abstract

This paper presents a comparative analysis of two inverter power supply topologies for induction heating and melting applications. The comparison is based on criteria such as resonant condition, component ratings, minimum and maximum operating frequencies, operation under varying load conditions, inverter starting current, and diode reverse recovery time. The voltage source series/parallel resonant inverters are found to offer the best overall performance with respect to converter utilization.

I. 서론

Power 반도체 소자를 사용한 정지형 인버터들은 유도 가열용 전원장치로 현재 널리 사용되고 있다. 이들 인버터들은 사용되는 부하조건 및 가열조건(표면가열, 국부가열, 단조가열등)에 따라서 여러가지로 개발되어 왔다. 이들중에 현재 사용되고 있는 회로의 Topolgy는 전압형 직렬 인버터와 전류형 병렬 인버터가 있다. 특히 전압형 직렬 인버터인 경우는 가장 최근까지 널리 사용되고 있다.

본 논문은 이 전압형 인버터를 회로의 조건에 따라 직렬형 및 병렬형으로 구분하여 분석하였으며 부하를 유도가열 목적으로 사용할 경우 각 Component 값

즉,

○ 입력 전압 (E)

○ L의 순시전류 (I)

○ 콘덴서 전압 (Vc)

○ L에 걸리는 전압 (VL)

○ 스위칭 소자 (SW1)의 전압

○ 스위칭 소자 (SW1)의 전류

○ RLC에 걸리는 전압 (Vrlc)

○ 부하 R에 걸리는 전압 (Vo)

그리고 무차원화 변수 ($\mu = \frac{f_o}{f_s}$, $r = \frac{R}{Z_s}$)에 따른 직렬형 및 병렬형 특성 비교

즉,

○ 공진 조건

○ 회로 동작 상태

○ 초기 전류

○ 다이오드 도통시간

로서 분석하여 각 부하조건에 따른 설계 자료를 제시하였다.

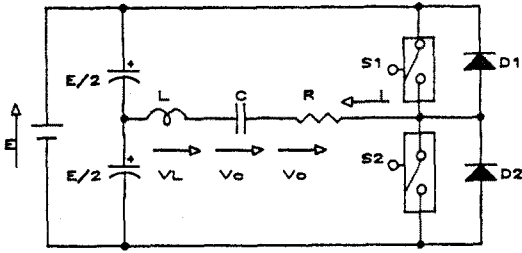
II. 고주파 인버터의 회로 구성

전압형 고주파 인버터의 기본적인 회로구성은 그림 1과 그림 2와 같이 직렬형/병렬형으로 구성할 수가 있으며 다음과 같은 가정을 도입해서 회로 분석을 하였다.

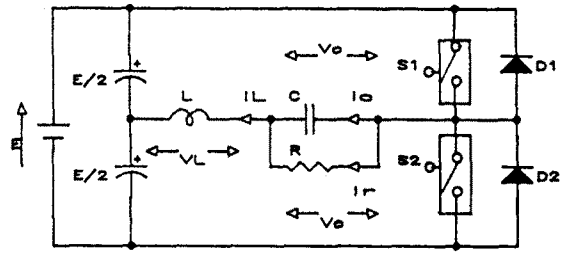
1. Switching 소자와 Diode는 이상적이고, Dead Time은 고려하지 않는다.
2. 배선의 저항과 인덕턴스가 회로 동작에 영향을 미치지 않으며, 손실이 없는 것으로 한다.
3. 공진용 L과 C는 이상적인 소자로 간주한다.
4. 전원 분할용 콘덴서는 그 값이 충분히 커서 고주파 인버터의 전원전압 (E/2)은 변화가 없는 일정한 값으로 한다.

■ 직렬형 인버터 등가회로 해석

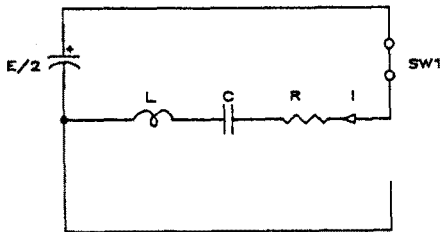
■ 병렬형 인버터 등가회로 해석



a) 직렬형 인버터 회로도



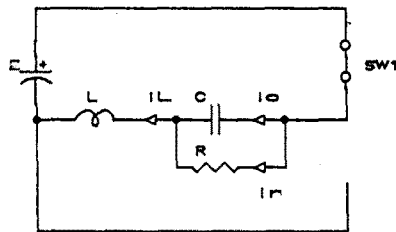
a) 병렬형 인버터 회로도



b) MODE 1 (0 < Z < 0.5)
SW1 : ON, SW2 : OFF

$$\frac{E}{2} = L \cdot \frac{di(t)}{dt} + Ri(t) + \frac{1}{C} \int_0^t i(\tau) d\tau + V_C(o)$$

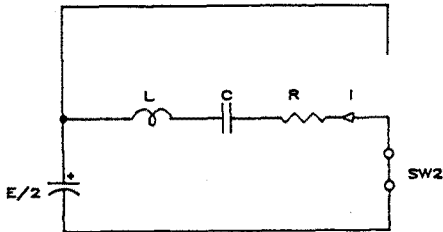
$$V_C(t) = \frac{1}{C} \cdot \int_0^t i(t) dt + V_C(o)$$



b) MODE 1 (0 < Z < 0.5)
SW1 : ON, SW2 : OFF

$$E = V_C + L \cdot \frac{di_L}{dt}$$

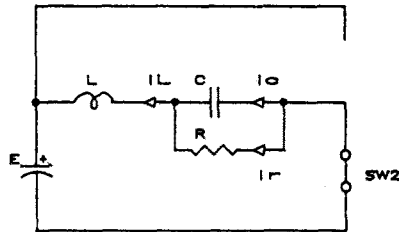
$$I_L = i_c + i_r = C \cdot \frac{di_C}{dt} + \frac{V_C}{R}$$



c) MODE 2 (0 < Z < 0.5)
SW1 : OFF, SW2 : ON

$$-\frac{E}{2} = L \cdot \frac{di(t)}{dt} + Ri(t) + \frac{1}{C} \int_0^t i(\tau) d\tau - V_C(o)$$

$$V_C(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i(t) dt - V_C(o)$$



c) MODE 2 (0 < Z < 0.5)
SW1 : OFF, SW2 : ON

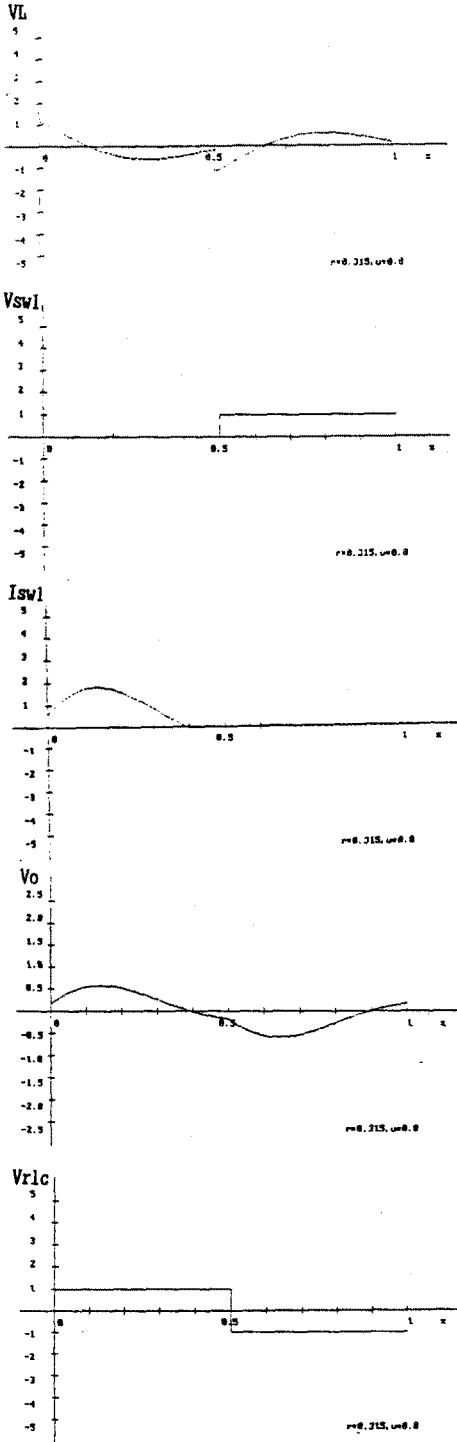
$$-E = V_C + L \cdot \frac{di_L}{dt}$$

$$I_L = i_c + i_r = C \cdot \frac{di_C}{dt} + \frac{V_C}{R}$$

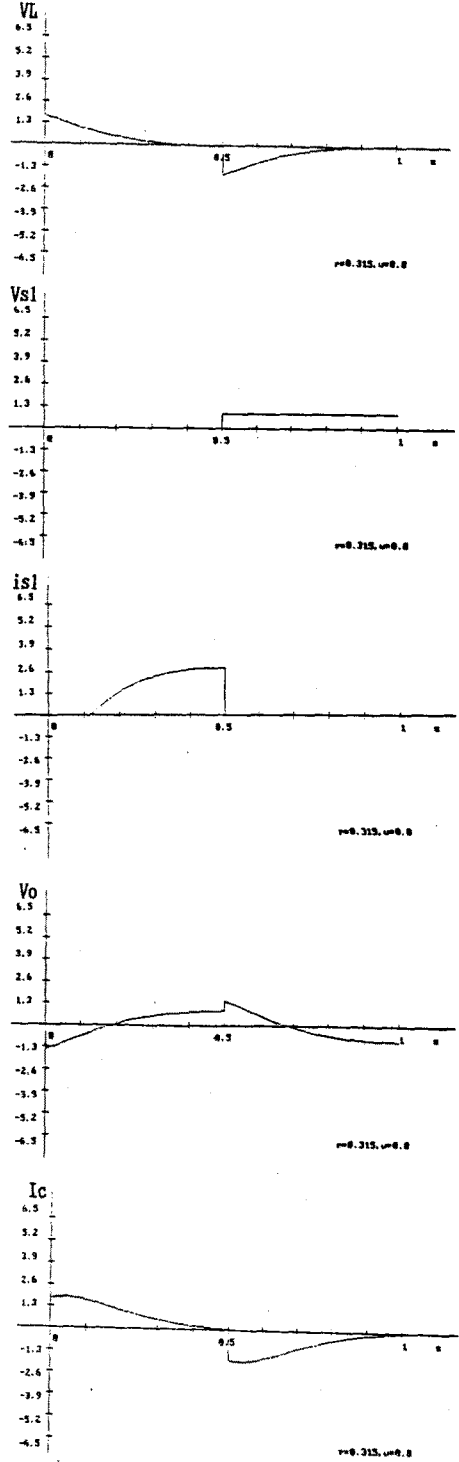
그림 1. 직렬형 Half-Bridge 인버터 회로도

그림 2. 병렬형 Half-Bridge 인버터 회로도

직렬형 인버터



평행형 인버터



지면 관계상 $r = 0.315$, $\mu = 0.8$ 일때 각부 정상 파형만 기재하며 초기상태 전류를 파형을 생략합니다.

III. 결론

본 논문은 유도가열 및 용해용 전원 장치로서 전압형 직렬 인버터와 병렬 인버터를 무차원 변수를 도입하여 각 부하조건에 따른 설계 자료를 제시하였으며 그 결과는 표 1 및 표 2와 같다.

표 1. 무차원화량 변수 (U, r)에 따른 직렬 공진형과 병렬 공진형 인버터의 특성 비교

항 목	변수 U, r	직렬형	병렬형
공진조건	r	$0 < r < 1$	$r > 1$
최고동작 상태	r	$0 < r < 1$	$r > 1$
	U	U < 1 U > 1	U < 0.8 U > 1
전력 Poa	r	r이 적률수 Poa는 커짐	r이 작을수록 Poa는 커짐
	U	U = 1 근처에 Poa는 최대	U=1 근처에서 Poa는 최대
초기전류 Io	r	$0 < r < 1$	$\infty < r < 1$ $r > 1$
	U < 1	-	모든 U에서 U > 0.8 -
	U=0	0	-
다이오드 도통시간 Zc	r	$0 < r < 0.15$	모든 U에서 U > 0.8
	U < 1	U, R이 작을수록 Zc는 커어짐	r이 작을수록 U가 적률수 R이 적률수 Poa는 커어짐
	U=0	Zc = 0	U가 적률수 R이 적률수 Poa는 커어짐
Zc	U > 1	U가 적률수, R이 작을수록 Zc는 커어짐	U < 0.8 U가 적률수 R이 적률수 Poa는 커어짐

표 2. 직렬 공진형과 병렬 공진형 인버터의 특성 비교

항 목	직렬형	병렬형
부하임피던스	小	大
부하전압	저전압	고전압
부하전류	대전류	저전류

표 3. 기준량에 대한 무차원화량

항 목	기 준 량	무 차 원 화 량
시 간	$T_s = \frac{1}{f_s}$	$Z = \frac{t}{T_s}$
주 파 수	$f_s = \frac{1}{2\sqrt{LC}}$	$u = \frac{E_s}{E_s} = \frac{2\sqrt{LC}}{T_s}$
임피던스	$Z_s = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$	$\lambda = \frac{R}{Z_s} = \frac{R}{2\sqrt{\frac{L}{C}}}$
전 압	E_s	$e^*(z) = \frac{e(z)}{E_s}$
전 류	$I_s = \frac{E_s}{Z_s}$	$i^*(z) = \frac{i(z)}{I_s}$
전 력	$P_s = E_s \cdot I_s = \frac{E_s^2}{Z_s}$	$p^*(z) = \frac{p(z)}{P_s}$

fo : 인버터의 출력주파수

fs : 차분공진 주파수

참고문헌

- (1) J.E. Gibson : Nonlinear Automatic Control (1963) Mc Graw-Hill
- (2) F.M Gardner: Phaselock Techniques (1966) John Wiley
- (3) B.R. Pelly : "Latest developments in static high frequency power sources for induction heating", IEEE Trans. Industr. Electronics Control Instrum., IECEI-17, No. 4 (1970)
- (4) V.M. Popov: Hyperstability of Control System (1973) Springer
- (5) George A. Baker, Jr.: Essentials of Pad'e Approximants (1975) Academic Press
- (6) J. Davies, et al. : Induction Heating Handbook (1979) Mc Grow-Hill
- (7) S.Y. Kung, et al : "Optimal Hankel-Norm Model Reduction : Multivariable System", IEEE Trans. Automatic Control, AC-26 No. 4 (1981)
- (8) T. Matsuo : Realization Theory of Continuous Time Dynamical System (1981) Springer
- (9) W.E. Frank, et al. : "Solid state RF generators for induction heating application", IAS-82, 35A (1982)
- (10) "New Development in High Frequency power Sources" by W. E. Frank. IEEE Transactions IGA, Vol. IGA-6, No. 1, January/February 1970