

전압원 구동시의 전류형 인버터의 특성연구

이 달해 김 동희
영남 대학교 전기 공학과

이 봉섭 유 동욱*
*한국 전기 연구소 전력 전자 연구부

A study on characteristics of Current-Fed Type Inverter driven by Voltage Source

Lee Dal Hae Kim Dong hee Lee Bong Seop Yoo Dong Wook*
Yeungnam univ. *K.E.R.I P.E Lab

Abstract

It is general to make the circuit analysis of current-fed type inverter driven by current source with rippleless input under the assumption of infinite induction L_d in direct current reactor(DCL).

This paper focusing on the fact that L_d has bounded value in real circuit, examines operating characteristics by analysis of static state characteristics of current type inverter driven by voltage source and compares it with the operating characteristics of the circuit driven by current source.

1. 서론

최근, 여러종류의 신형 전력용 반도체 스위칭 소자가 출현하여, 실용화 단계를 향해 폭넓은 연구가 행해지고 있다(1)(2). 이들은 자기소호 능력을 갖는 스위칭 소자(GTO, MOSFET, IGBT 등)와 자기 소호능력을 갖지않은 스위칭 소자(A-SCR, GATT 등)로 대별된다. 상기 소자들의 Drive 제어회로 및 신형 반도체를 응용한 전력 변환회로 등의 연구가 활발히 행해지고 있다(3)(4)(5).

고주파 인버터의 용도로서는 유도가열용, 강력 초음파 발전용 전원 및 고주파 링크형 콘버터 등으로 산업계에서 그 수요가 날로 증가하고 있다(6)(7). 신형 전력용 스위칭 소자를 이용한 고주파 인버터의 개발과 평가는 전원장치 기술분야에 있어서 대단히 중요한 점으로 지적된다.

본 연구는 신형 전력용 소자 중에서도 대전력을 취급할수 있는 전류 소호형 소자에 적합한 전류형 고주파 인버터를 소개함과 동시에 직류 리액터를 유한값으로 하였을 경우, 각 상태 변수의 정상주기 해를 도출 하고 있다. 또 회로의 특성 평가는 무차원화 파라메타를 도입하여 범용성 있게 기술하고 있다.

2. 주 회로 구성과 동작양식

그림 1은 전류 소호형 소자(A-SCR, GATT)를 사용한 전류형 고주파 인버터의 주 회로구성을 나타내고 있다.

부하는 유도 가열용의 Work-Coil 과 피가열 물체의 저항(R)을 상징하고 있다. 콘덴서(C)는 직류 Cut 용, 직렬공진 전류용이며, 직류 리액터(Ld)는 직류 전원(E)로부터 리플이 적은 직류 전류를 공급하기 위한것이다.

회로 해석의 각 상태변수의 정방향은 그림 1과같이 정하고 있으며, 본 회로는 1)전류 실패시에 있어서도 Ld가 E에 직렬접속 되어 있어 보호 계어가 용이하며, 2)초기충자, 초기충전을 위한 기동 보조회로가 내장된형 이므로 기동이 용이하다는 등의 장점이 있다. 그러나 원리적으로 간접 발진 이므로 출력전류 파형의 왜율이 크고, 주파수를 높여감에 따라 스위칭 소자의 전압 책부가 급격히 과속하게 되는 등의 단점도 있다. 회로 동작은 표 1 에서 보여주는 바와 같이 Th, D 가 다같이 Off하는 Mode 1 과 Th, D 중 어느 한쪽이 On 하는 Mode 2 로 나누어 진다. 본 회로는 다이오드의 도통시간이 Th 의 역 Bias 시간으로 주어진다.

또 회로의 안정성은 Th의 역 Bias 시간(tc)에 의해 결정되고, 단순히 $t_c \geq t_{off}$ (t_{off} :Th의 turn - Off시간)의 전류조건을 만족하는 파라메타로 운전하여야 한다.

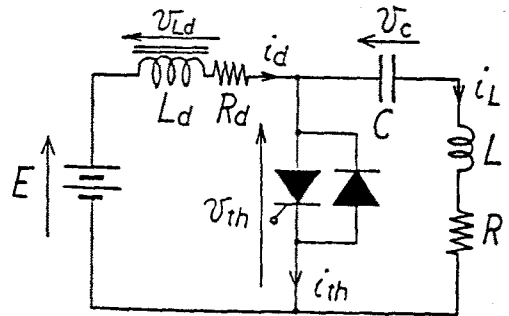


그림 1. 전압원 구동 형식

표 1 키로 동작양식

Mode 소자	Mode 1	Mode 2	
		(a)	(b)
Th	Off	On	Off
D	Off	Off	On
시간구분	t1	t2-tc	to
	To		
비고	tc: Th 역 Bias 시간 To: 인버터 동작주기		

표 2 기본량과 무차원화양

전압 기준량	E
임피던스 기준량	$2\sqrt{LC}$
전류 기준량	$I = E / 2\sqrt{LC}$
시간 기준량	To
무차원화 저항	$\lambda = R / 2\sqrt{LC}$
무차원화 주파수	$\mu = 2\pi f_0\sqrt{LC}$
무차원화 시간	$Z = t / T_0$

3. 전압원 구동시의 정상해석

그림 1 에서 Ld를 무한대로 생각해 입력전류의 맥동이 없는 직류전류 즉 전류원 구동으로서 이론적해석을 행하는것이 일반적이나, 실제 Ld를 유한값으로 하여 해석하는 것이 현실에 가깝다. 필자들은 Ld를 무한값으로 한경우의 외로해석을 기초로하여 Ld/L=100 으로 유한값을 가질경우 정상해석에 대해 논하고저 한다.

표 1 에서 나타낸 Mode 와 표 2 의 무차원화 파라메타를 도입하여 외로 방정식을 각 Mode 별 상태 방정식으로 나타내면 다음과 같다.

Mode 1

$$\frac{d}{dz} \begin{pmatrix} iL_1 \\ I \\ V_{C1} \\ E \\ E \\ E \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1+b & 4\pi\lambda & 1 & 4\pi\lambda & 1 & 4\pi\lambda \\ 1+a & \mu & 1+a & \mu & 1+a & \mu \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} iL_1 \\ I \\ V_{C1} \\ E \\ E \\ E \end{pmatrix}$$

Mode 2

$$\frac{d}{dz} \begin{pmatrix} iL_1 \\ I \\ V_{C1} \\ E \\ iD_1 \\ I \\ E \\ E \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4\pi\lambda & -4\pi\lambda & 0 & 0 \\ \mu & \mu & 0 & 0 \\ \pi & 0 & 0 & 0 \\ \mu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & b & 4\pi\lambda \\ 0 & 0 & a & \mu \\ 0 & 0 & a & \mu \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} iL_1 \\ I \\ V_{C1} \\ E \\ iD_1 \\ I \\ E \\ E \end{pmatrix}$$

단, a=Ld/L, b=Rd/R

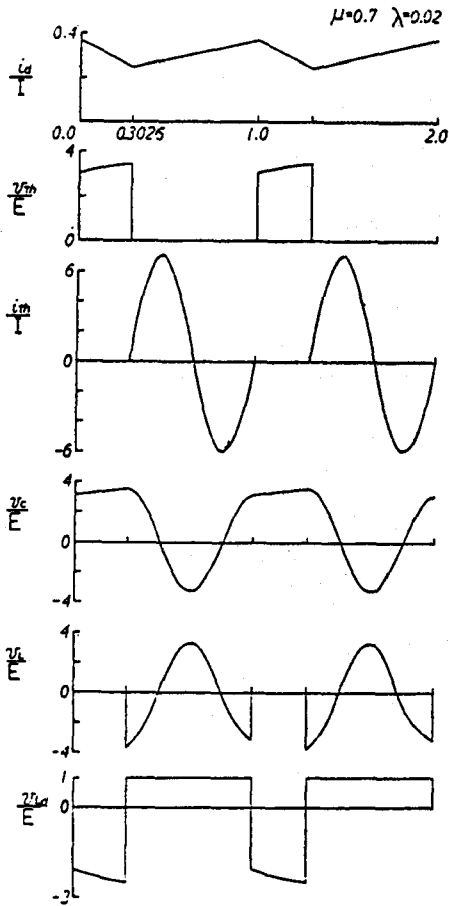


그림 2. 전압원 구동시의 각부 정상파형

본 외로는 Mode 천이 시점을 해석적으로 구할수 없기 때문에 계산기를 이용하여 각 Mode 의 정상해를 구하였다.

그림 2 는 $\mu = 0.7$, $\lambda = 0.02$ 로 하였을 경우의 각부 정상파형을 나타내고 있다. 파형에서 알수 있듯이 입력 전류의 맥동이 나타나고, 부하전류는 진동하고 있음을 알수 있다.

4. 특성평가

4.1 기동과도 특성

본 외로의 기동 과도시의 해석은 콘덴서의 초기 충전전압에 관계하는 파라메타 $K(Vc/E)$ 및 $a(Ld/L)$ 를 고려하여 행하였다. 표 3 은 (a,K)값에 대한 증부하시와 경부하시에 대한 기동시의 모양을 나타내고 있다.

전반적으로 외로가 보다 진동적으로 되는 증부하시가 기동이 용이하고, 또 a 가 적을수록 콘덴서의 초기충전 전하가 필요하므로 초기 충전전압이 일정할경우 a 가 클수록 기동이 용이함을 알수 있다.

표 3 기동시각 모양

중부하시 ($\lambda = 0.02$)					경부하시 ($\lambda = 0.1$)						
k	a	30	50	100	1000	k	a	30	50	100	1000
0.01	N	N	N	N	Y	0.01	N	N	N	N	Y
0.05	N	N	N	N	Y	0.05	N	N	N	N	Y
0.1	N	N	Y	Y	Y	0.1	N	N	N	N	Y
0.2	N	Y	Y	Y	Y	0.2	N	N	Y	Y	Y

비고 N : 실패없음 Y : 기능상관
 $\mu = 0.7$

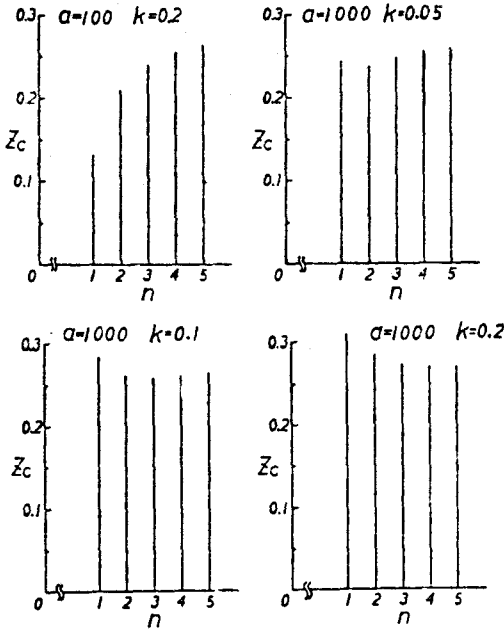


그림 3. 각 Cycle의 역 바이어스 시간

그림 3은 파라메타(a,k)의 변화에 따른 각 주기별로 본 역 바이어스 시간 특성을 나타내고 있다.

그림에서 알수 있듯이 a=100의 경우, Zc는 단조 증가함을 보여주고, a=1000일 경우 k에 무관하게 Zc의 값이 거의 안정함을 보여주고 있다.

4.2 Turn - Off 시간특성

그림 4는 회로의 무차원화 역바이어스 시간 Zc의 λ 에 대한 변화율 μ 를 파라메타로 하여 나타내고 있다.

어떤 λ 이상에서는 Zc가 존재하지 않으므로 운전 불가능이 된다. 또 μ 가 클수록 Zc는 현저히 감소하는 특성을 보여주고 있어, 동작 주파수를 높임에 따라 부하 변화 영역이 좁겨됨에 주의하여야 한다.

그림 5는 그림 4의 Zc를 파라메타로 하여 μ - λ 평면상으로 나타낸 특성곡선으로 Zc=0의 곡선과 μ 축, λ 축으로 둘러싸인 영역내가 안전동작 영역이 된다. 그러나 실제의 풍호제약은 Zc \geq 0가 아니고 Zc \geq Zcrr 이므로 Zc=0의 국

선보다 내측에서 전류 한계가 있다. 따라서 전류 동작 파라메타 영역은 전부 $\mu=1$ 의 직선하측에 있고 이것은 동작주파수가 부하 직렬공진 보다 낮아야 함을 의미 한다.

그림 6은 그림 5의 전류 안정영역내의 각점에 대응하는 파형을 나타내고 있다. μ 가 증가할수록 Thy. 에 흐르는 전류는 크지나, 회로의 역 바이어스 시간이 점차 적어져 최종적으로 전류 실패가 됨을 알수 있다.

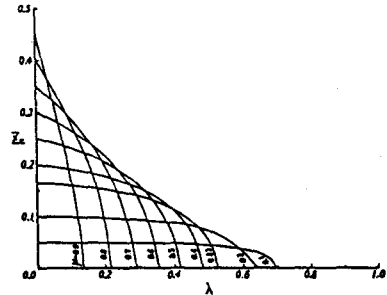


그림 4. Zc- λ 특성

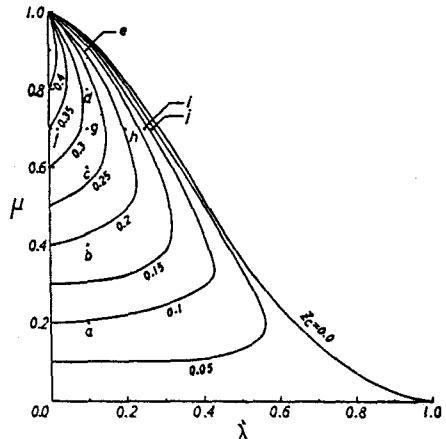


그림 5. μ - λ 특성

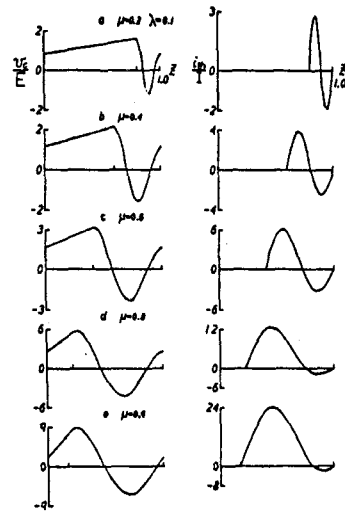


그림 6. 전류 안정영역내의 각점 파형

5. 직렬 리액터와 Ripple 을

그림 1 의 리액터의 출력단에서 인버터 측을 보면 인버터 동작은 Thy. 전압 $V_{th}(t)$ 를 발생시키고 있는 것으로 볼 수 있으므로, 정상상태 에서는 $V_{th}(t)$ 의 평균치 와 전원전압 E 와는 평형을 취하고 있다.

여기서 $V_{th}(t)$ 의 무차원화 치는

$$\frac{V_{th}(Z)}{E} = \begin{cases} \frac{\lambda}{\mu} \frac{I_d}{I} Z + \lambda \frac{I_d}{I} + \frac{V_{c1} + 0}{E} & (0 \leq Z \leq Z1) \\ 0 & (Z1 \leq Z \leq 1) \end{cases}$$

상기식을 푸리에급수로 전개하여 $V_{th}(z)/E$ 의 기본파 성분 을 구하면

$$\frac{V_{th}(Z)}{E} = a1 \cos 2\pi n Z + b1 \sin 2\pi n Z$$

로 된다. 이것을 등가 회로로 나타내면 그림 7 과 같이 표현된다. 그림 7 의 회로방정식은

$$\frac{d}{dz} \left(\frac{I_d}{I} \right) = \frac{4\pi n}{a \mu} \frac{V_{th1}}{E} (Z)$$

따라서

$$\frac{I_d}{I} = \frac{2\sqrt{a_1^2 - b_1^2}}{a \mu} \sin(2\pi n Z - \phi)$$

여기서 $\phi = \tan^{-1}(-b_1/a_1)$

$$\frac{I_d}{I} (Z) \text{의 Ripple } r = \frac{2\sqrt{a_1^2 - b_1^2}}{a \mu (I_d/I)} \leq r_0$$

여기서 r_0 = 직류 입력전류의 지정 Ripple 을

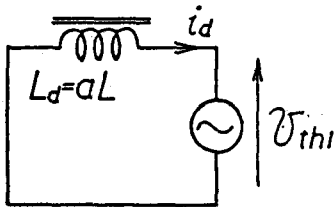


그림 7. 등가회로

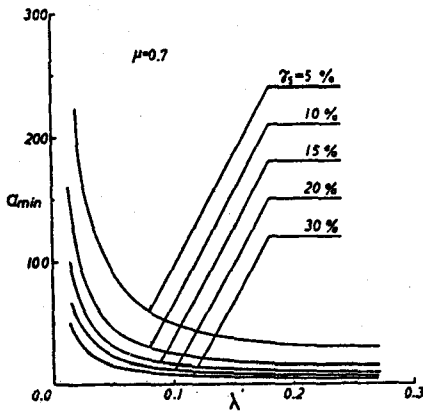


그림 8. a-λ특성

$$a = \frac{L_d}{L} \geq \frac{2\sqrt{a_1^2 + b_1^2}}{\mu r_0 (I_d/I)}$$

그림 8 은 r_0 를 파라메타로 하였을 경우 a 와 λ 와의 관계를 나타내고 있다.

6. 결론

이상 본 연구를 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

- i) 전류 소오형 소자를 갖는 전류형 고주파 인버터의 일형식을 소개함과 동시에 그 기본원리에 대해 기술하였다.
- ii) 본 인버터의 설계 전 단계에 필요한 계특성을 무차원화 파라메타를 도입하여 범용성있게 기술하였다.
- iii) 직류 리액터 L_d 를 유한 값으로한 전압원 구동시의 정상해석을 하여 실용상 전류원 구동으로서의 계특성을 평가하였다.

참고문헌

1. Z.T.Chang ; "A-SCR sine - wave inverters produce low EMI", Electronic Design, pp 99-102 March, (1981)
2. G.N.Revankar; "A H.F Bridge Inverter with series -parallel compensated Load", IEEE Vol.IE (I-21 No.1 pp.28-29, (1974)
3. R.A. Sommer; " Solid state Frequency conversion for induction heating", (1970)
4. S.Davis, "Switching Supply Frequency to Rise ; Power FETS Challenge Bipolars", EDN, Tan, pp. 44-50, (1980)
5. 김 동 희 ; "1 석 GATT 를 사용한 고주파 인버터의 특성평가와 설계법", SPC - 84-19 - 25 pp.29 - 38 (1984)