

직렬 브리지형 인버터의 전류특성에 관하여

박진길* 노영오** 한봉주*** 정주윤* 박재식*

* 한국해양대학교 기관공학과 ** 목포해양대학 기관공학과
*** Han's Eng.

A Study on the Current Characteristics of Full Bridge Series Inverter

Jin Gil Park* Young O Roh** Bong Joo Han*** Ju Yoon Chung* Jae Sik Park*

* Korea Maritime Uni. ** Mokpo Maritime Uni. *** Han's Eng.

Abstract - In this paper, the current characteristics of the system composed of R,L,C. load and series bridge inverter is investigated through the results of computer simulation and experiment to look for the good properties of A.C. motor driven by the above inverter.

The time schedule of conventional bridge inverter and the parameters such as resistance and damping coefficient of load is changed for good results. It is possible to get the load current of similar sine wave under various conditions.

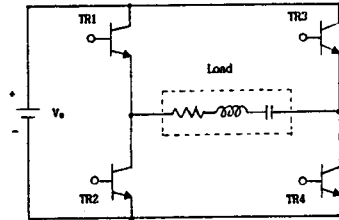


Fig. 2.1 Full-Bridge Series Inverter

1. 서론

가변속 유도전동기의 제어를 위한 시스템에는 직류-교류 전력변환 장치인 자기소호형 반도체소자를 이용한 PWM인버터가 주로 사용되는데 이는 가변전압과 가변주파수의 출력을 동시에 제어하여 자속을 일정하게 유지해 광범위한 가변속운전에 대하여 전동기의 효율과 역률의 저하없이 속도를 제어한다. 또한 이는 특정 고조파를 제거 혹은 감소시킬 수 있는 이점이 있으므로 교류전동기의 속도제어와 최대 토크운전에 많이 쓰이고 있다.

본 연구에서는 산업용 고주파 가열로에 많이 사용되는 전 브리지 공진형 인버터(Full Bridge Resonant Inverter)를 전동기의 구동용으로 응용하기 위하여 RLC의 부하에서 주파수 및 파라미터 크기의 변동에 따라 전류특성이 어떻게 변하는가를 살펴보았다. 공진형 인버터는 RLC 부하의 공진현상을 이용하여 전류(commutation)를 행하므로 깨끗한 정현파를 얻을 수 있으나 부하가 일정하여야 하며 주파수도 수 KHz의 고주파를 발생하여야 한다. 여기서는 전력용 트랜지스터를 사용하여 강제전류시키고 RLC 직렬부하의 고유주파수(f_n)와 회로의 강제주파수(f_r)의 비(f_s)를 변화시킬 때, 강제주파수(f_f)를 일정하게 유지한 상태에서 주기(T_f)와 통전시간(T_o)의 비(T_s)를 변화시킬 때, 부하의 저항과 인덕턴스에 의해 결정되는 2차계의 감쇠계수(damping coefficient)가 변동할 때의 전류특성이 어떻게 변하는가를 컴퓨터 시뮬레이션과 실험을 통하여 결과치를 비교분석함으로써 직렬브리지형 인버터의 전류특성을 알아내고자 하였다.

2. 직렬인버터의 기초이론

Fig. 2.1은 전브리지형 직렬 공진인버터의 회로도도를 나타내고 있다. 전브리지형 인버터에서 Tr1, Tr4가 동시에 통전되면 부하의 양단에 V_s 의 전압이 걸리고 반주기 후

Tr2, Tr3가 통전되어 부하의 양단에 $-V_s$ 의 역전압이 걸린다. 이때의 부하양단의 순시전압은 식(2.1)과 같다.

$$v_o = \sum_n \frac{2 V_s}{n \pi} \sin \omega t \quad n = 1, 3, 5, \dots$$

$$v_o = 0 \quad n = 2, 4, 6, \dots \quad (2.1)$$

본 논문에서는 부하에 흐르는 전류를 조절하기 위하여 직렬공진인버터(Series Resonant Inverter)에서와는 달리 Tr1과 Tr4, Tr2와 Tr3를 동시에 통전하지 않고 적당한 시간의 간격을 두어 통전과 차단 시간을 조절하여 전류파형을 바꾸어 보았다. 파워트랜지스터를 스위칭소자로 이용했을 경우 각 단차전압과 가상전류를 보면 Fig. 2.2와 같이 계단파 및 정현파로 되고 구간별로는 다음과 같은 특성을 가지고 있다.

(가) Tr2 OFF, Tr1 ON되는 기간은 콘덴서 양단의 전압은 모두 방전된 상태인 0 이고 부하에 흐르는 전류도 0인 상태이다.

(나) Tr1 ON, Tr1 OFF되는 기간은 전 전원 전압(V_s)이 Tr1에서 부하를 거쳐 Tr4까지 걸리는 시간으로 전류와 전압 사이에는 식(2.2)의 관계가 성립한다.

$$R i_o(t) + L \frac{d i_o(t)}{d t} + \frac{1}{C} \int i_o(t) d t = V_s - V_{co} \quad (2.2)$$

여기서 V_{co} 는 콘덴서 양단의 초기전압으로 Tr1이 ON되는 순간에서는 방전이 모두 끝난 상태로 보아 $V_{co}=0$ 이다.

(다) Tr1 OFF, Tr2 ON되는 기간은 전원전압은 차단되나 부하의 인덕턴스(L)에 저속되어 있는 자기에너지가 Tr4로 방출되는 기간으로 전류와 전압 사이에는 식(2.3)이 성립한다.

$$R i_o(t) + L \frac{d i_o(t)}{d t} + \frac{1}{C} \int i_o(t) d t = - V_{co} \quad (2.3)$$

(라) Tr2 ON, Tr4 OFF되는 기간은 전원전압이 차단된 상태에서 부하의 인덕턴스(L)에 저축되어 있던 전기 에너지와 콘덴서(C)에 저축되어 있던 전기 에너지가 Tr2또는 Tr4로 방출되는 기간으로 식(2.3)의 전압-전류관계가 성립한다.

(마) Tr4 OFF, Tr3 ON되는 기간은 부하에 저축되어 있던 에너지가 모두 방출된 상태이므로 전류의 흐름이 0이 되는 기간이다.

(바) Tr3 ON, Tr3 OFF되는 기간은 부하에 전 전원전압이 부하에 역으로 걸리는 기간으로 식(2.2)에서 Vs는 -Vs로 되고 부하전류 io(t)는 Tr3에서 부하를 거쳐 Tr2로 흐른다.

(사) Tr3 OFF, Tr4 ON되는 기간은 (다)에서와 같이 전압과 전류사이에는 식(2.3)의 관계가 성립하며 자기 에너지가 Tr2로 방출되는 기간이다.

(아) Tr4 ON, Tr2 OFF되는 기간은 (라)에서와 같이 부하에 저축되어 있는 자기 및 전기에너지가 Tr2 또는 Tr4로 방출되는 기간이다.

위와 같이 트랜지스터의 통전시간과 차단시간을 적절히 컴퓨터로 조절함으로써 주파수(ff)와 통전시간비(Ts)를 임의로 변경할 수 있고 부하의 파라미터 조절에 따라 여러가지 형태의 전류파형을 얻을 수 있을 것이다.

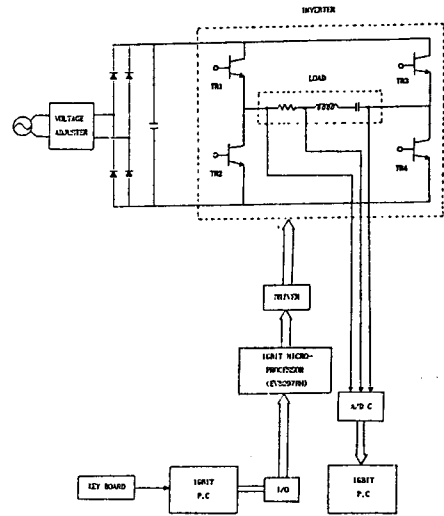


Fig. 3.1 Schematic Diagram of Experiment Equipment.

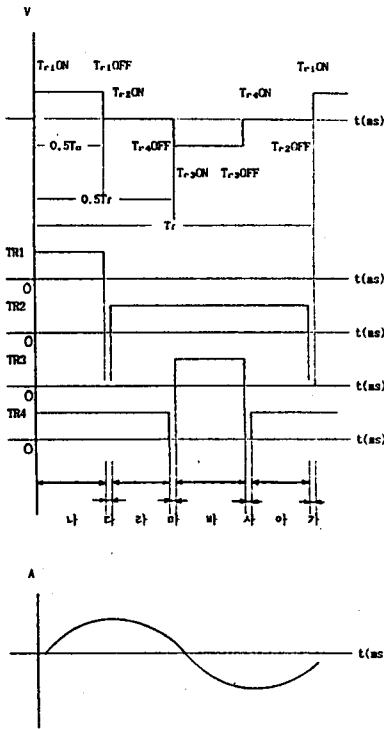


Fig. 2.4 Time Chart of Full-Bridge Inverter

3. 실험 장치

본 연구에서 설계된 직렬 브리지형 인버터는 주파수에 따른 펄스폭을 만드는 제어전용 마이크로프로세서인 EV8097BH, 이와 통신하는 16bit PC 및 직렬인버터로 구성된 전체 하드웨어는 Fig. 3.1과 같다.

4. 시뮬레이션과 실험결과

4.1 수치계산과 파형해석

Fig. 2.1은 RLC부하를 갖는 회로로써 부하전류식은 식(4.1)과 같이 쓸 수 있다.

$$Ri_o(t) + L \frac{di_o(t)}{dt} + \frac{1}{C} \int i_o(t) dt = Vs \{ (t-A) - (t-B) - (t-C) + (t-D) \} \quad (4.1)$$

식(4.1)에서 Vs(t)는 펄스형태의 전압이 걸리므로 초기치를 0으로 하고 라플라스변환을 하면 식(4.2)로 된다.

$$I_o(s) \left[s^2 + \frac{R}{L}s + \frac{1}{LC} \right] = \frac{Vs(s)}{L} (e^{-As} - e^{-Bs} - e^{-Cs} + e^{-Ds}) \quad (4.2)$$

여기서 A = K Tf

$$B = kTf + 0.5 \cdot Tf \cdot Ts = Tf(k + 0.5 \cdot Ts)$$

$$C = kTf + 0.5 \cdot Tf = Tf(k + 0.5)$$

$$D = kTf + 0.5 \cdot Tf + 0.5 \cdot Tf \cdot Ts = Tf(k + 0.5(1+Ts))$$

$$k = 0, 1, 2, 3, \dots$$

식(4.2)은 2차계로 식(4.3)과 같이 표현할 수 있다.

$$I_o(s) = \frac{U(e^{-As} - e^{-Bs} - e^{-Cs} + e^{-Ds})}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (4.3)$$

여기서 $2\zeta\omega_n = R/L$, $\omega_n^2 = 1/LC$, $U = Vs(s)/L$

식(4.3)의 분모를 0으로 두면 특성방정식이 되며 그 근(Root)을 쉽게 구할수 있으나 k의 값에따라 전류의 해는 다르게 됨으로 컴퓨터로 그래를 구하여 이를 해석하였다.

4.1.1 감쇠계수(ζ)와 주파수비(fs)

표(4.1)은 각 주파수에서 감쇠계수를 변동시켰을 때의 전류진폭을 비교한 것이다.

표 4.1 주파수 및 감쇠계수의 변화에 대한 전류진폭 (Vs=30V, fn=40Hz, 단위:A)

Hz	fs	ζ	0.1	0.225	0.9	2.0
30	0.75	0.099	0.075	0.014	0.018	0.018
40	1.0	0.27	0.12	0.018	0.018	0.018
60	1.5	0.06	0.057	0.015	0.018	0.018
80	2.0	0.033	0.031	0.013	0.018	0.018

4.1.2 통전시간비(Ts)

표4.2는 감쇄계수 $\zeta=0.225$ 와 2.0일 때의 전류진폭을 비교한 것이다.

표4.2 주파수 및 Ts의 변화에 의한 전류진폭

($\zeta=0.225, V_s=30V, f_n=40Hz$, 단위:A) ($\zeta=2.0, V_s=30V, f_n=40Hz$, 단위:A)

Hz	fs	Ts	0.3	0.5	0.9	Hz	fs	Ts	0.3	0.5	0.9
30	0.75	0.055	0.075	0.114	30	0.75	0.018	0.018	0.03		
40	1.0	0.081	0.114	0.162	40	1.0	0.018	0.018	0.03		
60	1.5	0.039	0.06	0.081	60	1.5	0.015	0.018	0.033		

4.2 실험결과 분석

부하실험은 RLC부하에서 $R=26\Omega, L=230mH, C=70\mu F$ 로 공진 주파수 $f_n=40Hz$ 를 기준으로 하여 기준치보다 높은 주파수 60Hz($f_s=1.5$), 80Hz($f_s=2.0$)에서, 또 낮은 주파수는 30Hz($f_s=3/4$), 20Hz($f_s=0.5$)에서 실험을 행하였고 파라미터는 저항만을 변경하여 $R=26\Omega(\zeta=0.226)$, $R=92\Omega(\zeta=0.85)$, $R=224\Omega(\zeta=1.95)$ 로 실험을 하였다.

4.2.1 감쇄계수(ζ)와 주파수비(f_s)

표4.3은 여러 주파수에서 감쇄계수를 변화시켰을 때 전류진폭을 비교한 것이다.

표 4.3 주파수 및 감쇄계수의 변화에 대한 전류진폭 ($V_s=30V, f_n=40Hz$, 단위:A)

Hz	fs	ζ	0.225	0.85	1.95
30	0.75	0.30	0.18	0.10	
40	1.0	0.20	0.15	0.10	
60	1.5	0.11	0.10	0.08	
80	2.0	0.08	0.075	0.06	

4.2.2 통전시간비(Ts)

표4.4는 감쇄계수 $\zeta=0.225$ 와 $\zeta=1.95$ 일 때의 전류진폭을 비교한 것이다.

표 4.4 $\zeta = 0.225$ 에서의 전류진폭 ($V_s=30V, f_n=40Hz$, 단위:A) ($V_s=30V, f_n=40Hz$, 단위:A)

Hz	fs	Ts	0.3	0.5	0.9	Hz	fs	Ts	0.3	0.5	0.9
30	0.75	0.187	0.300	0.420	30	0.75	0.065	0.080	0.110		
40	1.0	0.120	0.200	0.280	40	1.0	0.065	0.080	0.105		
60	1.5	0.080	0.110	0.145	60	1.5	0.065	0.080	0.095		

5. 결론

RLC로 구성된 부하에 직렬브리지형 인버터로 톨니형태의 전압을 교번으로 가하여 그 전류파형을 시뮬레이션과 실험을 통해 조사하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 전류파형에 가장 영향을 크게 미치는 것은 감쇄계수(ζ)로 부하의 저항이 작을수록, 즉 이 값이 작아질수록 파형은 정현파에 가까워지며 진폭도 증대한다.
2. 전류파형은 공진주파수에서 가장 정현파에 가까우며, 이 보다 커지거나 작아질 경우에는 삼각파 혹은 1차계의 파형으로 변한다. 진폭은 저주파수일수록 커지고 높은 주파수일수록 감소한다.
3. 통전시간비(Ts)는 진폭과 파형에 커다란 영향을 미치며 감쇄비가 작을수록 통전시간비는 클수록 진폭은 증대하고 파형은 감쇄계수 및 통전시간 비가 적으면 정현파에 가까

워지며 감쇄계수 및 통전시간비가 클수록 삼각파 및 1차계의 파형에 가까운 파형으로 변한다.

전류의 진폭과 파형은 주파수가 일정하더라도 감쇄계수와 통전시간비에 따라 크게 변동하므로 이를 적절히 활용하면 10-100Hz의 주파수 영역에서 부하의 크기에 따라 알맞은 유사 정현파전류를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

참고 문헌

1. M. H. Rashid, "Power Electronics", Prentice-Hall Inc., 1991
2. Praveen K. Jain & Shashib. Dewan, "A Performance Comparison of Full and Half-Bridge Series Resonant Inverters in High-Frequency High-Power Application", IEEE TRANS. IND. APP., Vol.26, no.2, MAR/APR,1991
3. Katsuhilo Ogata, "Discrete-Time Control Systems", Prentice-Hall Inc., 1991
4. 見城岡志, "ACサ-ボモ-タマイコン 제어", 總合電子出版社, 1983
5. 나종래, 문세홍, 유영재, "인텔 8096 구조와 설계", Ohm社, 1991
6. Karl J. Astrom & B.Jorn Wittenmark, "Computer-controlled Systems", Prentice-Hall Inc., 1990
7. S.B.Dewan & A.Straughen, "Power Semiconductor Circuits", John Wiley & Sons Inc., 1975
8. 김태영, "A-D/D-A 변환회로의 설계와 응용", 우진출판사, 1989
9. B.Mokryzki, "Pulse Width Modulated Inverters for AC motor drives", IEEE Trans., Vol. IA-13, P.38-44, 1977
10. 박민호, 홍순찬, 정승기, "인버터에서 스위칭 시간 지연이 미치는 효과의 분석 및 그 보상", 전기학회논문집 제40권 제1호, P.58-66, 1991
11. 정병건, 박진길, "6단계 인버터로 구동되는 유도전동기의 속도제어에 관한 연구", 한국해양대학 공학석사 학위논문집, 1990
12. 임달호, 장석명, 이규중, "단상 유도전동기의 효율적인 운전을 위한 전력제어기의 연구개발", 전기학회논문집 제34권 제12호, P47-55, 1985

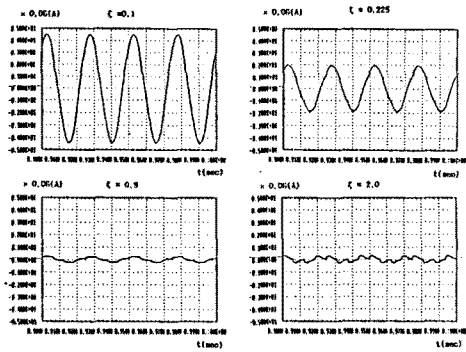


Fig. 4.1 Current waveforms according to ζ Changes at 40kHz ($T_p=0.5, V_m=30V$)

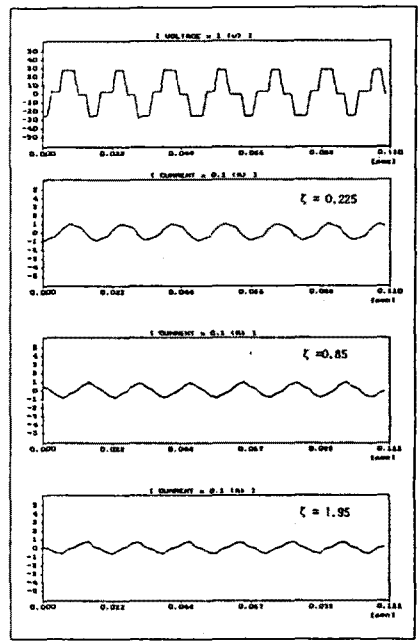


Fig. 4.4 Current Waveforms according to ζ changes at 60kHz

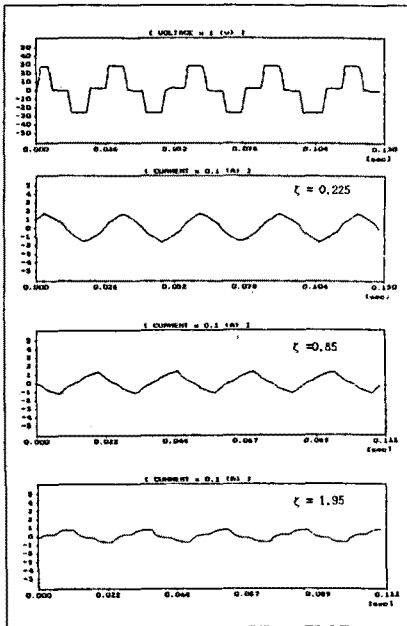


Fig. 4.2 Current Waveforms according to ζ Changes at 40kHz

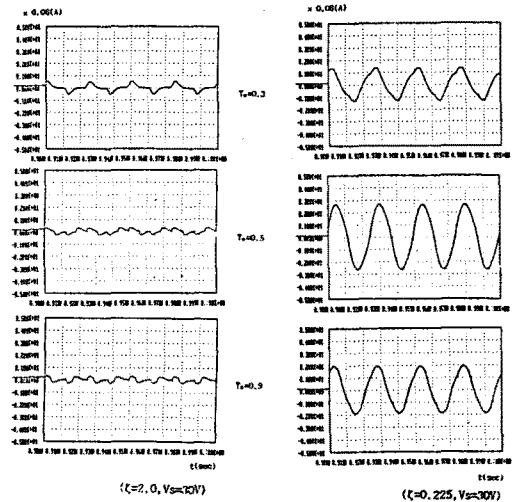


Fig. 4.5 Current Waveforms according to T_s Changes at 40kHz

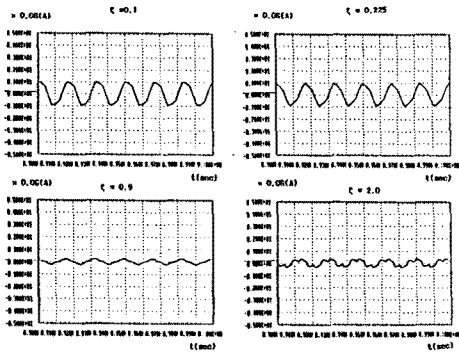
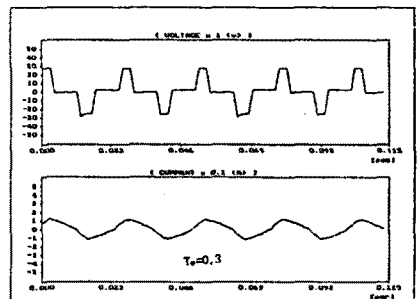


Fig. 4.3 Current Waveforms according to ζ Changes at 60kHz ($T_p=0.5, V_m=30V$)



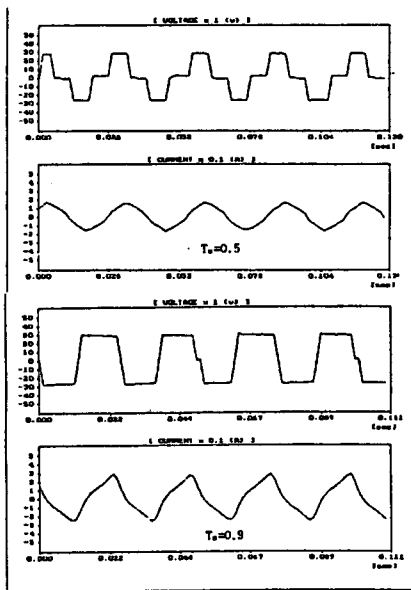


Fig.4.6 Current Waveforms according to T_s Changes at 40kb($\zeta=0.225$)

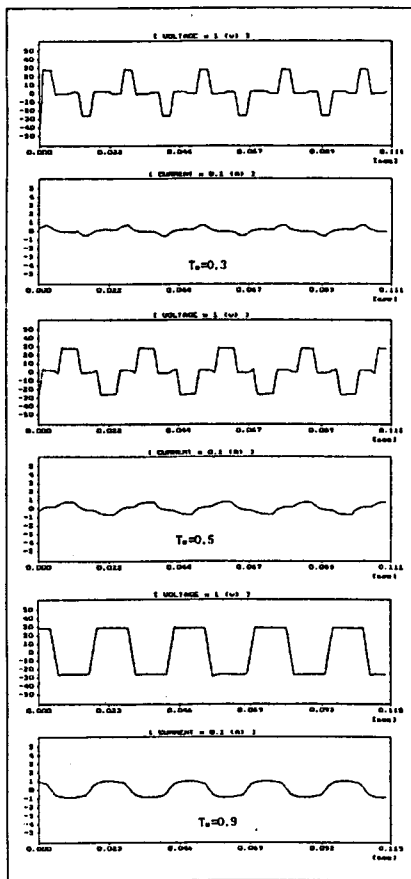


Fig.4.7 Current Waveform according to T_s Changes at 40kb($\zeta=1.95$)