

직렬 브리지형 인버터에 의한 단상 유도전동기의 속도제어

박진길* 노영오** 정병진* 강창남*** ◦정삼식*

* 한국해양대학교 ** 목포해양대학 *** 제주대학교

A Study on the Speed Control of Single Phase Induction Motor by Full Bridge Series Inverter

Jin-Gil Park* Young-O Roh** Byung-Gun Jung*
Chang-Nam Kang*** Sam-Sig Jung*

* Korea Maritime Uni. ** Mokpo Maritime Uni. *** Jeju Uni.

Abstract - In this paper, the speed of single phase induction motor driven by full bridge inverter is controlled by a PID controller under condition of disturbance load and setpoint changes, and the current characteristics of the system is investigated to look for the good properties of A.C. motor torque through the results of experiment.

From the experimental result, it is confirmed that the speed of single phase induction motor driven by full bridge series inverter can be smoothly controlled by an analog PID controller.

1. 서론

유도전동기는 직류전동기에 비해 기계적인 구조가 간단하고 고장시 보수가 용이하며 또한 값이 저렴하다는 등의 여러 장점에도 불구하고 직류전동기에 비해 비선형요소가 많이 포함되어 있기 때문에 속도제어를 하는데 많은 어려움을 가지고 있다.

따라서 본 논문에서는 가변전압과 가변주파수의 출력을 동시에 제어하며, 특정 고조파를 제거 또는 감소시킬수 있는 PWM(Pulse Width Modulation) 인버터의 원리를 이용하여 콘덴서분상형 단상유도전동기의 전류파형을 개선한다. 또한 PID 제어를 이용하여 단상유도전동기의 원활한 속도제어 방법을 개발하는데 그 목적을 두고 있다. (1, 2, 3)

2. 이론적 고찰

2.1 단상유도전동기의 속도제어 이론

일반적으로 P극의 유도전동기의 동기속도 N_s , 주파수 f 및 슬립 S 의 관계는 다음과 같이 표현된다.

$$N_s = \frac{120}{P} f, \quad S = \frac{N_s - N}{N_s} \quad (2.1)$$

$$N = N_s (1 - S) \quad (2.2)$$

식 (2.2)에서 N 는 단상유도전동기가 시계방향으로 회전하고 있을때 전동기의 속도를 나타낸다면, 반시계방향으로 회전하는 경우에는

$$N = N_s (2 - S) \quad (2.3)$$

가 된다.

따라서 전동기 회전속도 N 는 식 (2.1) 및 (2.3)으로부터 1차 주파수 또는 슬립을 조정함으로써 제어할 수 있으나 본 논문에서는 전동기의 주파수를 제어한다.

2.2 직렬 인버터의 원리와 구조

그림 2.1은 전브리지형 직렬 인버터(Full Bridge Series Inverter)를 나타낸다. 직렬 인버터는 SCR을 전류장치(轉流裝置)에 사용하여 유도전기로 등에 이용하지만, 본 논문에서는 유도전동기의 속도제어를 위하여 트랜지스터 전력소자를 이용한 공진형 인버터로 구성하였다. (4, 5)

그림 2.1에서 TR_1, TR_4 가 동시에 통전되면 부하의 양단에 V_s 의 전압이, 반주기 후 TR_2, TR_3 가 통전되면 부하의 양단에 $-V_s$ 의 역전압이 가해진다. 따라서 직류전압은 교류로 변화되어 부하에 전달된다. 그러나 ON-OFF 상태로 전환될때 트랜지스터의 스위칭순서를 바꾸어 주게 되는데, TR_1 과 TR_2 , TR_3 와 TR_4 가 동시에 도통되면 V_s 와 접지점 사이에 단락회로가 형성되어 파워트랜지스터가 파손될 가능성이 있다. 이를 방지하기 위해서는 TR_1 과 TR_4 , TR_2 와 TR_3 를 구동시키는 ON-OFF 신호 사이에 지연시간(Dead time)이 필요하다. 지연시간이 커질수록 전원전압의 이용율이 떨어지므로 가능한 지연시간을 줄이는 것이 요구되며 본 논문에서는 $100\mu\text{sec}$ 로 하였다.

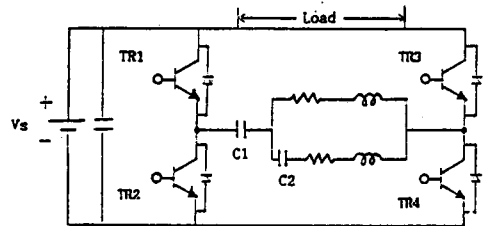


Fig. 2.1 Full-Bridge Series Inverter

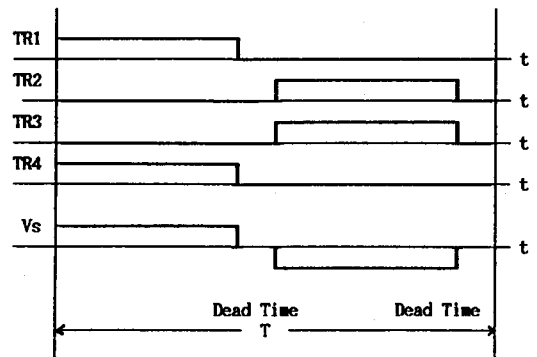


Fig. 2.2 Time Chart of Full-Bridge Inverter

인버터의 점화순서, 시기 및 부하의 전압은 그림 2.2에서 나타난다. 그림 2.2에서, 부하에 흐르는 전류를 조절하기 위하여 동일한 주파수에서 Tr_1 과 Tr_4 , Tr_2 와 Tr_3 가 동시에 통전되는 시간을 조절할 수 있다. 즉 통전시간비율 9:1에서 3:7 까지 다양하게 변화시켜 인버터의 출력전압 펄스폭을 가감함으로써 유도전동기의 전류파형을 개선하고, 소음을 줄인다.

2.3 시스템의 모델링

2.4.1 콘덴서분상형 단상유도전동기의 등가회로

콘덴서분상형 단상유도전동기는 보조권선에 직렬로 콘덴서를 접속시켜 주권선과 보조권선에 흐르는 전류의 위상차가 약 90도 정도 생기게 한 것이다. 따라서 이 전동기는 거의 완전한 2상식 회전 자장이 생기므로 기동토크가 크다.

그림 2.3은 본 논문에서 실험한 콘덴서분상형 단상유도전동기의 등가회로이며, 회전자계설(Revolving-Field Theory)에 의하여 전압은 다음과 같이 표현할 수 있다.^{8,7)}

$$V_m = I_m Z_f + I_m Z_f - j a I_m Z_f + I_m Z_b + j a I_m Z_b$$

$$= Z_r I_m - j a (Z_f - Z_b) I_m \quad (2.4)$$

$$V_a = I_a Z_{1a} + I_a Z_c + I_a a^2 Z_f + j a I_m Z_f + I_a a^2 Z_b - j a I_m Z_b$$

$$= j a (Z_f - Z_b) I_m + Z_{T a} I_a \quad (2.5)$$

식 (2.4)과 (2.5)에서 $V_m = V_a$ 라고 하면, 주-보조권선의 전류는 각각 다음과 같다.

$$I_m = \frac{V (Z_{T a} + j a (Z_f - Z_b))}{Z_r Z_{T a} - a^2 (Z_f - Z_b)} \quad (2.6)$$

$$I_a = \frac{V (Z_f - j a (Z_f - Z_b))}{Z_r Z_{T a} - a^2 (Z_f - Z_b)} \quad (2.7)$$

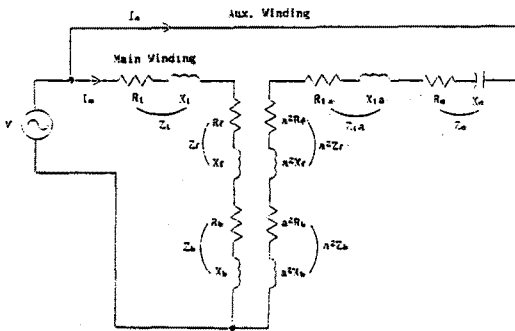


Fig. 2.3 Equi. circuit of Condenser Split-Phase I.M.

그림 2.4의 페이저(Phasor)도를 이용하여 토크를 구하면 다음과 같다.

$$T_r = R_f (I_m - j a I_a)^2$$

$$T_b = R_b (I_m + j a I_a)^2 \quad (2.8)$$

여기서, T_r, T_b : 정상(正相) 및 역상(逆相) 토크
 R_r, R_b : 정상(正相) 및 역상(逆相) 저항

식 (2.8)에서 Cosine 법칙을 적용하면 식 (2.9)가 된다.

$$T_r = R_f (I_m^2 + (a I_a)^2 + 2 a I_m I_a \sin \theta)$$

$$T_b = R_b (I_m^2 + (a I_a)^2 - 2 a I_m I_a \sin \theta) \quad (2.9)$$

식 (2.9)에서 모터의 전기적인 입력 T_a 와 출력 T_m 는 다음과 같다.

$$T_o = T_r - T_b = \{ I_m^2 + (a I_a)^2 \} (R_r - R_b) + (2 a I_m I_a \sin \theta) (R_r + R_b)$$

$$T_m = T_o (1 - \hat{S}) \quad (2.10)$$

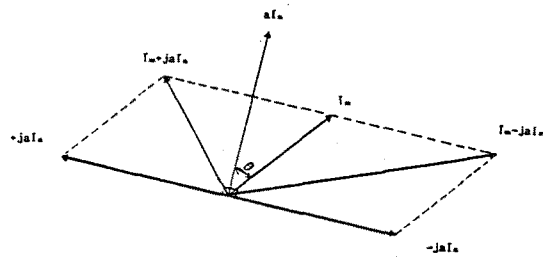


Fig. 2.4 Phasor Diagram of Condenser Split-Phase I.M.

2.4.2 시스템의 전달함수와 블록선도

시스템의 전달함수와 블록선도는 그림 2.5와 같다.

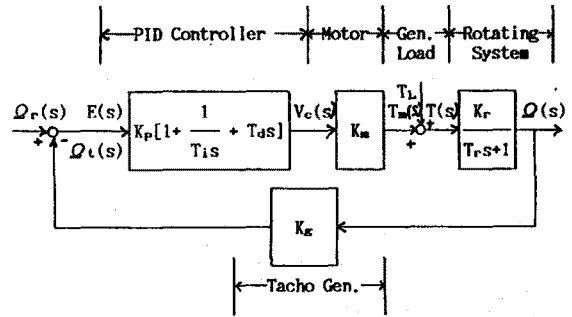


Fig.2.5 Block Diagram of Control System

실험장치의 구성

실험장치는 크게 주파수에 따른 펄스폭을 만드는 제어전용 마이크로프로세서인 EV8097BH, 직렬인버터 및 콘덴서분상형 단상유도전동기의 세부분으로 구성되어 있다.^{8,9,10,11)}

그림 3.1은 실험장치의 전체적인 개략도를 나타낸다.

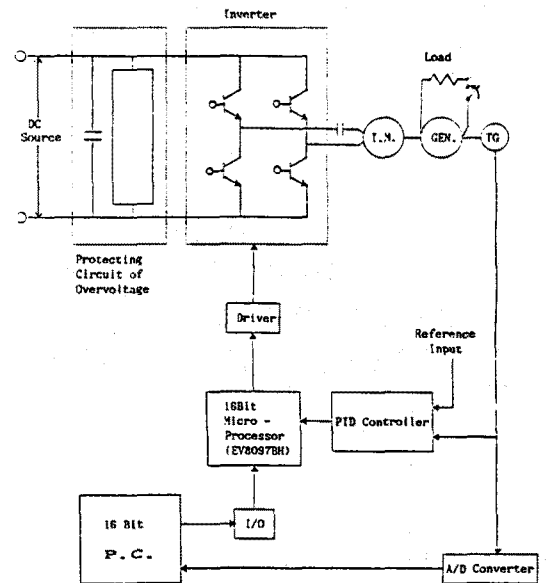


Fig. 3.1 Schematic Diagram of Experimental Equipment

4. 실험 및 결과고찰

4.1 각 주파수에서 전류파형 개선

콘덴서분상형 단상유도전동기의 R-L-C 중 콘덴서의 크기를 조절하고, 각 트랜지스터 소자의 점화시기(Firing Time) 즉 통전과 차단 시간을 조절하여 유도전동기의 전류파형을 개선하였다.

또한 각 트랜지스터 소자의 통전시간비를 9:1에서 3:7까지 다양하게 변화시켜 인버터의 출력전압 펄스폭을 가감함으로써 전류파형을 개선하였으며, 각각의 파형은 그림 4.1 - 4.4에서 나타내고 있다.

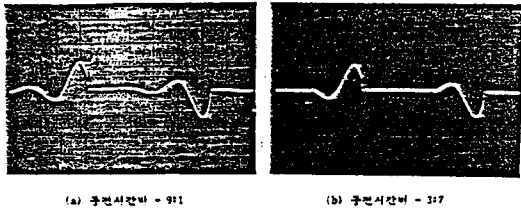


Fig. 4.1 Current Waveforms at 20Hz

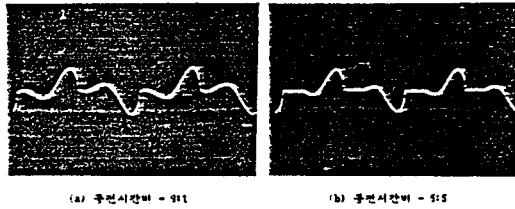


Fig. 4.2 Current Waveforms at 40Hz

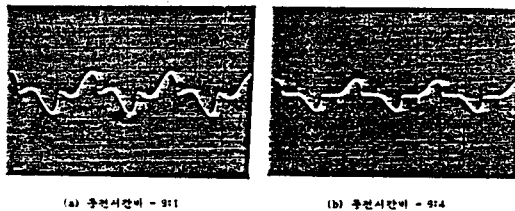


Fig. 4.3 Current Waveforms at 60Hz

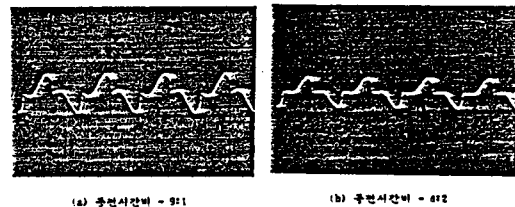


Fig. 4.4 Current Waveforms at 80Hz

4.2 실험결과 고찰

PID 제어 실험에서 계수 조정은 Ziegler 와 Nichols가 제시한 과도응답법으로 행하였다.¹²⁾

유도전동기에 직결된 교류발전기의 부하를 기피하였을 때와 제어 설정치를 변경했을때의 P,PI 및 PID 제어에 대한 각각의 속도 응답은 그림 4.5(a)(b) - 4.7(a)(b)와 같다.

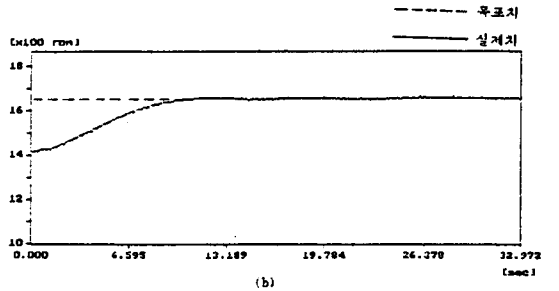
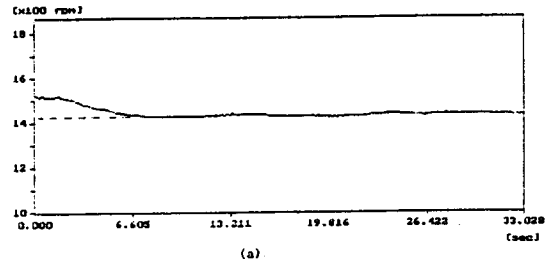


Fig. 4.5 Responses of P Control

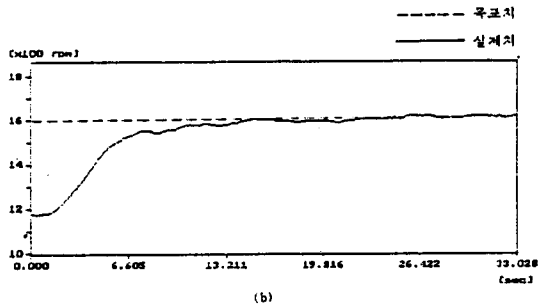
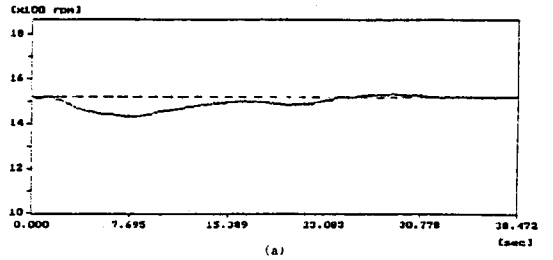
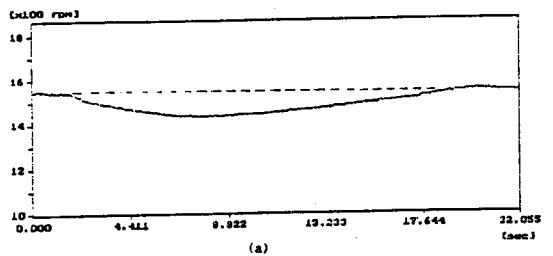


Fig. 4.6 Responses of PI Control



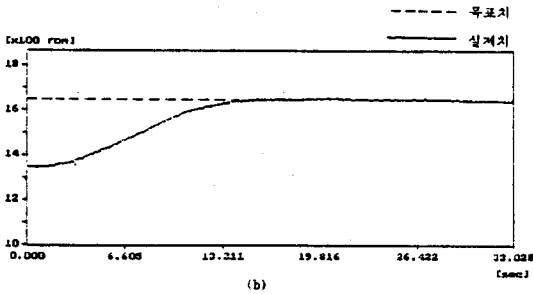


Fig. 4.7 Responses of PID Control

5. 결론

제어전용 마이크로프로세서와 아나로그 PID 제어기를 이용하여 1차주파수 제어방식으로 콘덴서분상형 단상유도전동기의 속도를 제어하여 다음과 같은 실험결과를 얻었다.

- 1) 20-80Hz의 각 주파수에서 콘덴서의 크기 및 인버터의 통전시간을 조절하여 리플이 적은 비교적 양호한 전류 파형을 얻을 수 있었다.
- 2) 제어전용 마이크로프로세서를 이용하여 시스템을 구성함으로써 제어기를 소형화 및 단순화할 수 있었다.
- 3) 인버터와 아나로그 PID 제어기를 이용하여 콘덴서분상형 단상유도전동기의 속도를 제어한 결과 외란에 대하여 큰 영향없이 목표치에 우수하게 추종함을 확인하였다.

본 논문의 속도제어 실험에서 인버터의 구동은 고속 마이크로프로세서를 이용하였으나 PID 제어기는 아나로그형으로 구성하였으므로 앞으로 디지털 PID 제어기를 이용한 제어물 연구과제로 남겨두고자 한다.

참고 문헌

1. 千熙英, 朴貴泰, 柳志潤, "마이크로프로세서에 의한 誘導電動機의 PID 制御에 관한연구, 1984
2. 尹炳道, "電氣機器", 文運堂, 1990
3. 金抗培 "直列 브리지형 인버터의 電流特性에 研究", 韓國海洋大學校 工學碩士學位 論文, 1993
4. M. H. Rashid, "Power Electronics", Prentice-Hall Inc., 1991
5. B. Mokryzki, "Pulse Width Modulated Inverters for AC motor drives", IEEE Trans., Vol. IA-13, P.38-44, 1977
6. 李承煥, "電氣機器", 형설출판사, 1984
7. CYRIL G. VEINOTT, E.E., D.Eng, "THEORY AND DESIGN OF SMALL INDUCTION MOTORS", McGRAW-HILL, BOOK COMPANY, INC, 1959
8. 나종리, 문세홍, 유영재, "인텔 8096 구조와 설계", Ohm社, 1991
9. S.B. Dewan & A. Straughen, "Power Semiconductor Circuits", John Wiley & Sons Inc., 1975
10. 김태영, "A/D-D/A 변환회로의 설계와 응용", 우진출판사, 1989
11. 見城 尚志, 高橋 久, "インバータ實用回路の設計と駆動ソフト", 総合電子出版社, 1992
12. 自動制御 實驗裝置 P-FLPT-1003AHM 取扱 説明書, 東京メータ株式会社