'94 대한전기학회 하계학술대회 논문집(1994, 7, 21~ 23)

비례 - 적분 제어기를 이용한 단상 유도 전동기의 속도 제어

상두환* , °정달호* , 김정철* , 오민진**
(주) 금성사 *생활 SYSTEM 연구소, ** 세탁기 OBU설계실

The speed control of the Single-Phase induction motor using P-I controller

Sang Doowhan* , °Cheong Dalho* , Kim Jungchul*, Oh Minjin**
GOLDSTAR CO., LTD. * LIVING SYSTEM LABORATORY , ** WASHING MACHINE ENG. DESIGN DEPT.

Abstract

The Single-Phase induction motor is widely used in home appliances, especially refrigerator, air conditioner and washing machine. Recently many home appliances that use the motor require the speed control to get the various and convenient functions for the customers. Generally it is so hard to control the speed of the Single-Phase induction motor and to get the wide range of the speed variation.

In this paper, the speed controller using P-I is designed for the Single-Phase induction Motor. The experimental results of the phase controller using P-I show the wide speed control of the Single-Phase induction motor and robust control to load change.

1. 서론

최근 가전제품(세탁기, 냉장고, 에어컨등)에 있어서 사용자의 편의를 위해서 다양한 기능이 추가되고 있다. 이러한 기능을 위해 많은 제어 이론(Fuzzy, Chaos등)이 적용되고 있으나, 가전 제품에 사용되고 있는 Motor를 가변속 제어 System으로 추구하지 않고는 한계를 극복할 수 없게 되었다.

가전 제품에 사용되고 있는 Motor는 대부분 구조가 간단한 저 가격의 단상 유도 전동기를 채용하고 있으나, 이를 가변속 시키기에 많은 어려움이 수반되며, 가변속이 용이한 BLDC Motor를 채용시 가격이 비싼 단점을 갖고 있다.

본 논문에서는 단상 유도 전동기의 가변속 제어를 P-I 제어기를 채용하여 위상 제어시 부하에 강인성을 가지며, 광범위한 속도 제어를 행하는 저가격의 가변속 System을 세탁기에 적용하여 실험하였다.

2. 단상 유도 전동기의 Modeling

단상 유도전동기의 d-q축변환에 의한 등가회로는 그림 1과 같으며, 전압 방정식은 식(1), (2)와 같다.

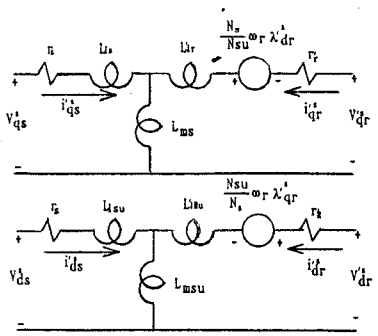


그림 1. 단상 유도전동기의 등가회로

$$Vqds = rsiqds + p\lambda qds \quad - - - (1)$$
$$Vqdr = rriqdr - \omega r\lambda dqr + p\lambda qdr \quad - - - (2)$$

여기서 $(\lambda dqr)^T = [\lambda dr - \lambda qr]$ - - - (3)

식 (1), (2)를 d-q축의 전압, 전류, Reactance로 나타내면, 식 (4) ~ (7)과 같다.

$$v_{qs} = r_s i_{qs} + \frac{x_{ss}}{w_b} p i_{qs} + \frac{x_{ms}}{w_b} p i'_{qr} \quad - - - (4)$$

$$v_{ds} = r_{su} i_{ds} + \frac{x_{ssu}}{w_b} p i_{ds} + \frac{x_{msu}}{w_b} p i'_{dr} \quad - - - (5)$$

$$v'_{qr} = \frac{x_{ms}}{w_b} p i_{qs} - \frac{1}{n}\frac{w_r}{w_b} x_{msu} i_{ds} + r'_r i'_{qr} + \frac{x'_{rr}}{w_b} p i'_{qr} - \frac{1}{n}\frac{w_r}{w_b} x'_{RR} i'_{dr} \quad - - - (6)$$

$$v'_{dr} = n\frac{w_r}{w_b} x_{ms} i_{qs} + \frac{x_{msu}}{w_b} p i_{ds} + r'_r i'_{dr} + \frac{x'_{RR}}{w_b} p i'_{dr} + n\frac{w_r}{w_b} x'_{rr} i'_{qr} \quad - - - (7)$$

여기서 Wb는 Inductance reactance를 계산 하기위한 전기각 속도, n은 유효권선비 Nsu/Ns, iqr', idr' 은 각각 (Nr/Ns) iqr, (Nr/Nsu) idr이다.

농형 회전자 구조에서 전기자 전압 Vqr, Vdr은0이 되며, 식 (4) - (7) 으로 부터 정역 회전을 하는 단상 유도전동기에서 상태 방정식을 표시하면, 식 (8)과 같다.

$$\begin{bmatrix} i\dot{q}s \\ i\dot{d}s \\ i\dot{q}r' \\ i\dot{d}r' \end{bmatrix} = \frac{1}{\sigma}\begin{bmatrix} -w_b x_{rs} r_s & -\frac{1}{n}(x_{ms})^2 w_r & x_{ms} r'_{rr} w_b & -\frac{1}{n} x'_{rr} x_{ms} w_r \\ n(x_{ms})^2 w_r & -w_b x_{rs} r_s & n x_{ms} x'_{rr} & -w_b x_{ms} x'_{rr} \\ w_b x_{ms} r_s & \frac{1}{n}\frac{x_{ms}}{x'_{rr}} w_r(\sigma+(x_{ms})^2) & -\frac{w_b}{x'_{rr}} r_r(\sigma+(x_{ms})^2) & \frac{1}{n} w_b x'_{rr}(\frac{x_{ms}^2}{x'_{rr}}+\sigma) \\ -\frac{w_r}{x'_{rr}}((x_{ms})^2+\sigma) & w_b x_{ms} r_r & -n w_r((x_{ms})^2+\sigma) & -\frac{w_b r'_r}{x'_{rr}}((x_{ms})^2+\sigma) \end{bmatrix}\begin{bmatrix} i_{qs} \\ i_{ds} \\ i'_{qr} \\ i'_{dr} \end{bmatrix}$$

$$+ \frac{wb}{\sigma}\begin{bmatrix} x'_{rr} \\ x'_{rr} \\ x_{ms} \\ -x_{ms} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} v_{qs} \\ v_{ds} \\ v_{qs} \\ v_{ds} \end{bmatrix} \quad --- (8)$$

여기서 σ는 $\sigma = x'_{rr}x_{ss} - x_{ms}^2$ 되며 ,Electromagnetic Torque 방정식은 식 (9)와 같이 표시된다.

$$Te = (\frac{P}{2})(\frac{N_{ss}}{N_s})(\frac{x_{ms}}{w_b})(i_{qs}i'_{dr} - i_{ds}i'_{qr}) \quad --- (9)$$

식 (8),(9)를 이용하여 단상 유도 전동기의 Dynamic특성을 얻을수 있다.

3. 제어기 구성

단상 유도전동기의 속도 제어기의 구성은 그림 2와 같이 구성되어 있다.

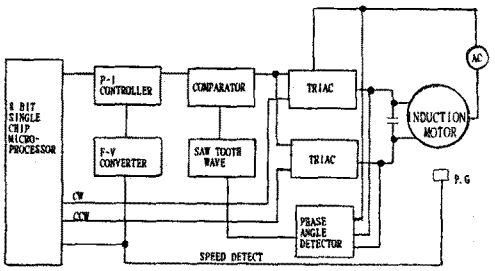


그림 2. 단상 유도 전동기의속도 제어기의 구성도

그림 3은 위상 제어기의 BLOCK도를 나타낸 것이다. $G_c(s)$는 P-I제어기 Transfer Function이며, 식(10)과 같다.

$$G_c(S) = K_p + K_i / S \quad ---- (10)$$

여기서 K_p : 비례 상수
K_i : 적분 상수

H1(S)는 속도 Feedback Transfer Function 이며 식 (11)과 같다.

$$H1(S) = K_{wf} * K_w \quad ---- (11)$$

여기서 K_{wf} : 속도 Feedback 상수
K_w : 속도 Feedback 이득 상수

유도 전동기의 Torque는 식 (12)와 같이 입력 전압의 위상각 θ 의 함수로 표시 할수 있으며, H2(S)의 Transfer function은 식 (13)과 같다.

$$Tm = f(Vac^2) = f(\theta) \quad ---- (12)$$

$$H2(S) = K\theta \quad ---- (13)$$

여기서 Kθ : 위상각 상수

P(s)는 단상 유도 전동기의 Transfer Function이 된다.

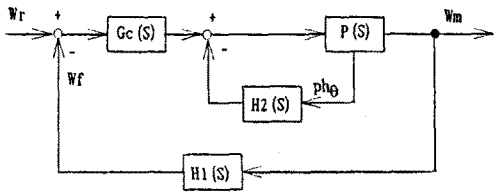


그림3. 단상 유도전동기의 속도제어기의 Block Diagram

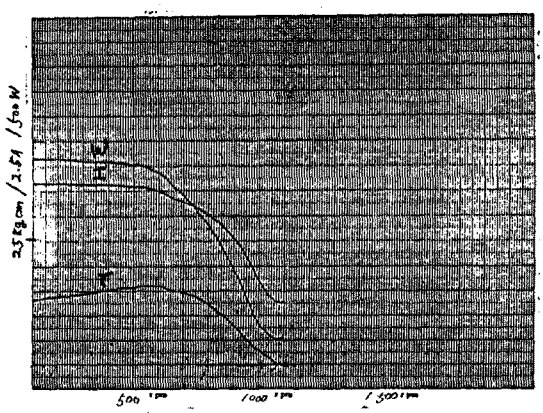
4. 실험 및 결과

실험에 사용된 단상 유도전동기는 현재 가전제품에 사용되고 있는 Capacitor Run Type이며, Parameter는 표1과 같다.

표1. Single-Phase Induction Motor Parameter

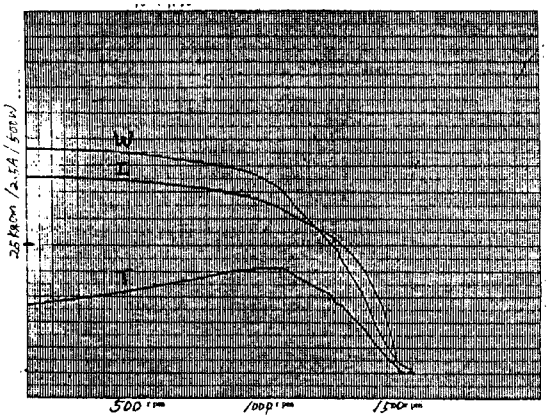
정격 출력	:	150 [Watts]
Pole수	:	4 극
Capacitor 용량	:	12 [μF]
고정자 주권선 저항(r1m)	:	3.946 [Ω]
고정자 주권선 Reactance(x1m)	:	2.505 [Ω]
고정자 보조권선 저항(ra)	:	3.945 [Ω]
고정자 보조권선 Reactance(xa)	:	2.505 [Ω]
회전자 저항 (r2)	:	7.545 [Ω]
회전자 Reactance (x2)	:	2.745 [Ω]
상호 Reactance (xm)	:	31.05 [Ω]

그림 4는 단상 유도 전동기의 위상제어에 있어서, P-I제어기를 이용하여 속도 제어를 하였을 경우 Speed-Torque 곡선으로 Dynamometer set를 이용하여 무부하속도가 1000[rpm],1500[rpm]일 경우 실험한 특성 곡선이며, 그림 5는 500[rpm]-1700[rpm]범위까지 실험한 특성 곡선을 나타낸 것이다.그림 6은 이때의 효율을 나타내고 있다.



(a) 무부하 속도 1000[rpm]

그림 4. 위상 제어시 Speed-Torque 특성곡선



(b) 무부하 속도 1500 [rpm]

그림 4. 위상 제어시 Speed-Torque 특성곡선

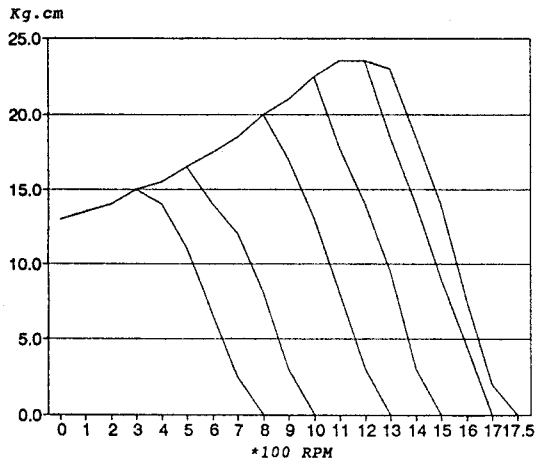


그림 5. 위상 제어시 Speed-Torque 특성곡선

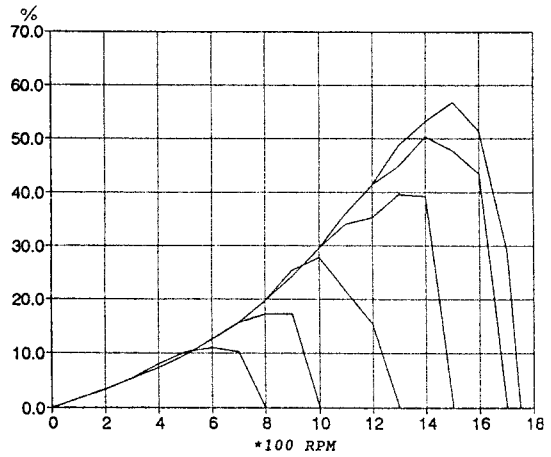


그림 6. 위상제어시 효율 곡선

그림 7은 위상제어 System에서 단상 유도 전동기의 속도지령치와 F/V converter에서 Feedback되어지는 전압의 양을 나타내고 있다. 그림 8은 이때 유도전동기의 입력 전류 파형을 나타내고 있다.

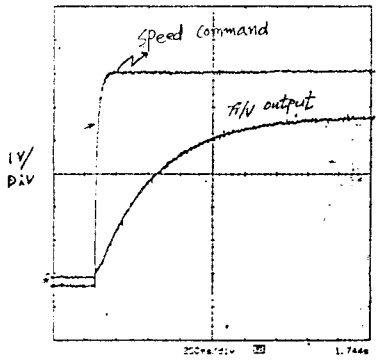


그림 7. 위상제어 System 에서 속도 추정 파형

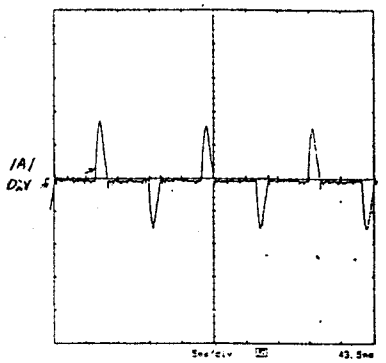


그림 8. 위상제어시 유도전동기의 입력 전류 파형

5. 결론

본 논문에서와 같이 단상 유도 전동기의 가변속 제어를 위하여 P-I 제어기를 적용한 위상 제어 방식으로 구성 할 경우 저 가격의 가변속 System을 만들수 있으며, 광범위한 가변속 (300 - 1700 rpm)범위에서 부하에 강인성을 갖는다.
기존의 단상 유도 전동기가 적용된 제품(세탁기, 냉장고, 에어콘 등)에 있어서 P-I제어기를 적용한 위상 제어 System으로 가변속을 할경우 부하에 따라 속도 변동이 적은 저 가격의 가변속 제품을 만들수 있다.

참고문헌

[1] P.C KRAUSE AND C.H TOMAS ' Simulation of symmetrical induction machinery ' Vol. PAS - S4 . No.11 , PP 1038 ~1053 1965.

[2] P.C KRAUSE, ' Simulation of unsymmetrical 2phase induction machines ' Vol. PAS -84 , PP 1025 ~ 1037 1965.

[3] P.C KRAUSE, ' Analysis of electric machinery

[4] Katsuhiko Ogata, 'Modern controlengineering '

[5] B.K BOSE , ' Power electronics and AC drives .

[6] M.J.GRIMBLE, 'Robust Multivariable Feedback Control .