

마이크로 컴퓨터를 이용한 직류 서어보전동기의

파라미터 측정의 자동화

천희영* 박귀태* 임영철** 오장영학** 조경영**

* 고려대학교

** 전남대학교

Automation of the Parameter Measurement of D.C. Servomotors Using a Microcomputer

Hee-Young Chun* Gwi T. Park* Young C. Lim** O Young H. Jang** Kyeong Y. Cho**
* Korea Univ. ** Chonnam National Univ.

Abstract

This paper describes the efforts to develop an PC based parameter identification system for the D.C. servomotor. The whole identification process of signal generation, measuring, parameter determination is fully automated. To minimize errors due to the ripple component in the measured armature current, digital averaging filter is employed. The proposed parameter correction method using the deadzone current and the time to reach the peak current resulted in excellent agreement between the measured current and estimated current using the model.

를 구할 수 있는 산술절차를 제시하였다. 또 여러단계의 측정과 파라미터의 산출을 자동화하기 위하여 온라인 측정 시스템을 설계하였다.

2. 직류전동기의 전류및 속도곡선

타여자 직류서어보 전동기의 모든파라미터를 포함한 경우의 동작회로는 그림 1 과 같고 전압방정식및 기계적 평형식은 다음과 같다.

$$V(t) - E_g(t) = R_a i_a(t) + L_a \frac{di_a(t)}{dt} \quad (1)$$

$$E_g(t) = K_a \omega(t) \quad (2)$$

$$T(t) = K_t i_a(t) \quad (3)$$

$$T(t) = J \frac{d\omega(t)}{dt} + B\omega(t) + T_f \quad (4)$$

1. 서 론

종래의 파라미터 측정법에는 전기적이고 기계적인 여러가지의 분리된 별개의 측정으로 이루어지므로 많은 시간과 번잡함을 수반하게 된다. [1-3] 더우기 관성이 매우 적은 서어보 전동기의 경우 측정과정에서 파라미터에 변화를 주기 쉽다. 그리고 인가되는 제어 전압이 계단적으로 변화하는 경우가 많으므로 정상상태에서 행하여진 측정치들은 동작응답을 해석하는 경우 오차를 유발하게된다. [4,5] 그래서 Pasek 은 계단형의 전기자전압을 서어보전동기에 가하므로서 전류응답을 얻고 선형모델의 파라미터를 구하는 방법을 시도하였으며, Lord는 점성마찰과 축수마찰을 포함한 경우에도 파라미터의 산출이 가능함을 밝혔다.[6-8] 그런데 전동기의 전류응답에는 맥동성분이 포함되어 있어서 측정시 정확성을 기하기 힘들다.

본 논문에서는 맥동에 의한 묵시오차를 없애기 위하여 디지털 평균법을 적용하고 정확히 각종 파라미터

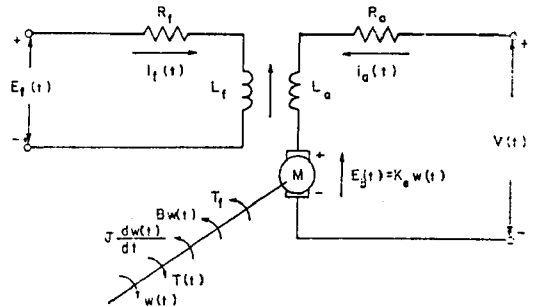


그림 1 타여자 직류서어보 전동기의 동작회로

계자권선에 일정전압을 유지한 상태에서 전기자에 계단 입력전압을 가하면 전기자의 인덕턴스때문에 전기자전류는 급격히 변화하지 못한다. 그리고 일정한 크기의 축수마찰이 존재하므로 회전자는 전기자전류가 마찰토크를 발생시킬 때까지 회전하지 못한다. 따라서 불감대가 존재하게 되어 구간선형으로 동작하게 된다. 전기자 전류와 속도곡선은 그림 2와 같다.

2-1. 불감대 시간

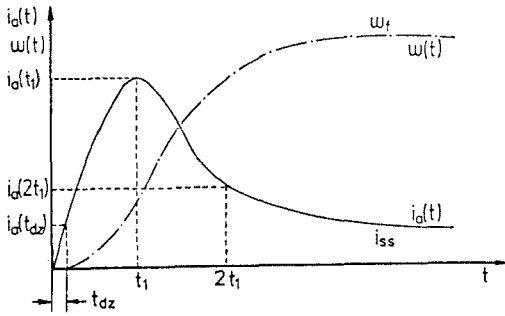


그림 2 불감대 효과를 나타낸 전류와 속도곡선

그림 2에서 전기자 전류가 $i_a(t) = I_r/K_f$ 가 될 때까지 회전하지 못하므로 속도가 0이되어 역기전력이 발생하지 않기 때문에 다음의 관계가 성립한다.

$$T_r/K_f = I_{sc} (1 - e^{-tdz/\tau_a}) \quad (5)$$

$$e^{-tdz/\tau_a} = K' \quad (6)$$

$$tdz = \tau_a \log_e \left(\frac{1}{K'} \right) \quad (7)$$

2-2. 불감대의 전류 및 속도곡선

$$\omega(t) = 0 \quad (8)$$

$$i_a(t) = I_{sc} (1 - e^{-t/\tau_a}) \quad (9)$$

2-3. 불감대 이후의 전류 및 속도곡선

2-3-1. 부족제동의 경우

$$\omega(t) = \omega_r \left[1 - \frac{\sqrt{c_2}}{c_1} e^{-(t-t_dz)/\tau_a} \cos [d(t-t_dz) + \theta] \right] \quad (10)$$

$$i_a(t) = I_{sc} \left[1 - K' + \frac{K'}{r} e^{-(t-t_dz)/\tau_a} \sin [d(t-t_dz)] + K' (1-K) \left[1 - \frac{\sqrt{c_2}}{c_1} e^{-(t-t_dz)/\tau_a} \cos [d(t-t_dz) + \theta] \right] \right] \quad (11)$$

2-3-2. 임계제동의 경우

$$\omega(t) = \omega_r (1 - e^{-(t-t_dz)/\tau_a}) + r(t-t_dz) e^{-(t-t_dz)/\tau_a} \quad (12)$$

$$i_a(t) = I_{sc} \left[1 - KK' + K' (K-1) + (t-t_dz) \left(\frac{1}{\tau_a} + r - rK \right) e^{-(t-t_dz)/\tau_a} \right] \quad (13)$$

2-3-3. 과제동의 경우

$$\omega(t) = \omega_r \left[1 + \frac{r_3}{r_3 - r_4} e^{-(t-t_dz)/\tau_a} - \frac{r_3}{r_3 - r_4} e^{-(t-t_dz)/\tau_a} \right] \quad (14)$$

$$i_a(t) = I_{sc} \left[1 - KK' + \frac{K'}{r_3 - r_4} \left(\frac{1}{\tau_a} + r_3 - r_4 K \right) e^{-(t-t_dz)/\tau_a} - \frac{K'}{r_3 - r_4} \left(\frac{1}{\tau_a} + r_3 - r_3 K \right) e^{-(t-t_dz)/\tau_a} \right] \quad (15)$$

3. 디지털 평균법

전류응답을 실제로 측정하면 정류자편과 브러시의

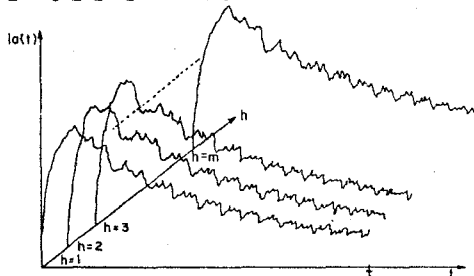


그림 3 실제의 전류응답

마찰로 인한 맥동성분이 포함되어서 그림 3과 같이 된다. 측정된 전류응답은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$i_a(t) = i_a(t)_s + n(t) \quad (16)$$

그런데 m 번 측정하여 디지털 평균하면 잡음은 0으로 접근하며, S/N 비가 \sqrt{m} 배 만큼 개선됨을 알 수 있다.

4. τ_m, τ_a 의 산출알고리즘과 Pasek의 조건식

4-1. τ_m, τ_a 의 산출알고리즘

Lord는 각각의 K와 K'에 대해 τ_m, τ_a 과 관련된 $i_a(2t_1)/i_a(t_1)$ 곡선과 t_1/τ_a 곡선을 그래프로 표시하고 그 그래프로부터 τ_m, τ_a 를 구하였는데 이 방법으로는 자동화가 불가능하고 목시오차가 존재하므로 정확성을 증대하고 자동화가 가능하도록 하기위해서 수치해석적인 방법으로 τ_m, τ_a 을 구할 수 있는 알고리즘을 제시한다.

4-1-1. 부족제동의 경우

식(11)에서 t_1/τ_a 를 구한다.

$$\frac{t_1}{\tau_a} = \frac{\tan^{-1} \left[\frac{2\tau_a b}{1 - (1-K)/(K \cdot \tau_m/\tau_a)} \right]}{\tau_a b} + \frac{tdz}{\tau_a} \quad (17)$$

식(11)에 $t=t_1, t=t_2$ 를 대입하면 $i_a(2t_1)/i_a(t_1)$ 는 τ_m/τ_a 의 함수로서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{i_a(2t_1)}{i_a(t_1)} = f(\tau_m/\tau_a) \quad (18)$$

4-1-2. 임계제동의 경우

식(13)에서 t_1/τ_a 를 구한다.

$$\frac{t_1}{\tau_a} = \frac{2 \cdot K \cdot (\tau_m/\tau_a)}{K \cdot (\tau_m/\tau_a) - 1 + K} + \frac{tdz}{\tau_a} \quad (19)$$

식(13)에 $t=t_1, t=t_2$ 를 대입하면 $i_a(2t_1)/i_a(t_1)$ 는 τ_m/τ_a 의 함수로서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{i_a(2t_1)}{i_a(t_1)} = f(\tau_m/\tau_a) \quad (20)$$

4-1-3. 과제동의 경우

식(15)에서 t_1/τ_a 를 구한다.

$$\frac{t_1}{\tau_a} = \frac{\log_e \left[\frac{1 - K(K \cdot \tau_m/\tau_a) \left[-\frac{1}{2} \left(1 + \frac{1-K}{K \cdot \tau_m/\tau_a} \right) - \tau_a \cdot b \right]}{1 - K(K \cdot \tau_m/\tau_a) \left[-\frac{1}{2} \left(1 + \frac{1-K}{K \cdot \tau_m/\tau_a} \right) + \tau_a \cdot b \right]} \right]}{2 \tau_a \cdot b} + \frac{tdz}{\tau_a} \quad (21)$$

식(15)에 $t=t_1, t=t_2$ 를 대입하면 $i_a(2t_1)/i_a(t_1)$ 는 τ_m/τ_a 의 함수로서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{i_a(2t_1)}{i_a(t_1)} = f(\tau_m/\tau_a) \quad (22)$$

이상의 관계로부터 τ_m, τ_a 의 산출알고리즘은 그림 4와 같다.

4-2. Pasek의 조건식

$i_a(2t_1)/i_a(t_1) - i_a(t_1)/I_{sc}$ 을 계산하면 그림 5과 같이 이것이 거의 0에 가까우므로 다음과 같이 식이성립한다

$$\frac{i_a(2t_1)}{i_a(t_1)} = \frac{i_a(t_1)}{I_{sc}} \quad (23)$$

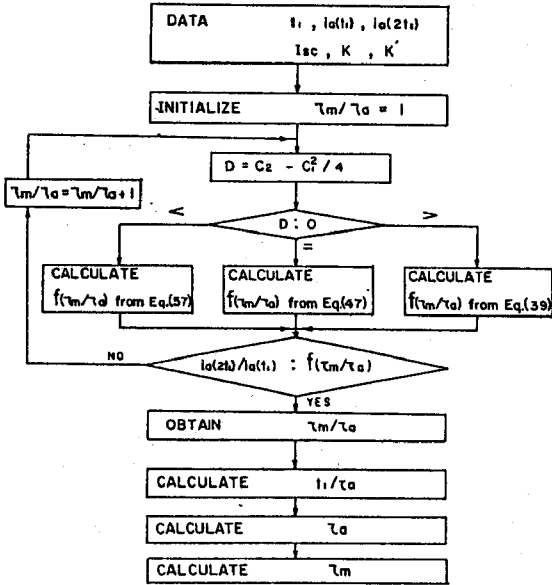


그림 4 τ_a, τ_m 의 산출알고리즘

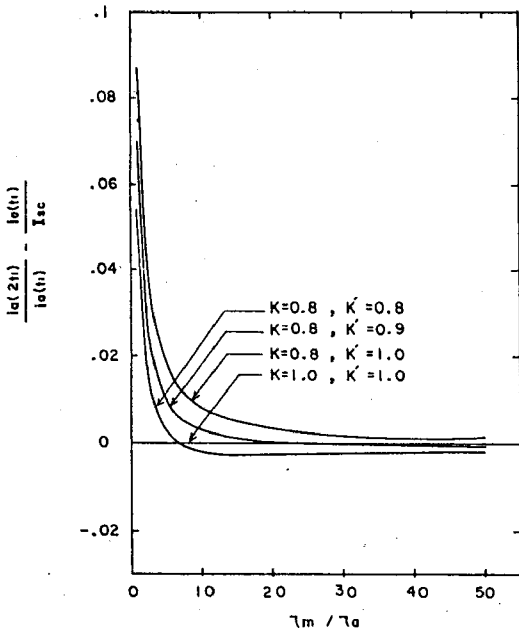


그림 5 τ_m/τ_a 대 $\frac{i_a(2t_1)}{i_a(t_1)} - \frac{i_a(t_1)}{I_{sc}}$ 의 그래프

5. 파라미터의 산출절차

Pasek의 조건식이 성립하므로 디지털평균법에 의해 맥동이 제거된 전기자 전류곡선으로부터 그림 6과 같은 순서로 파라미터를 산출할 수 있다.

6. 온라인 시스템의 구성

측정시의 목시오차를 제거하고 측정절차를 자동화하기 위하여 그림 7과 같이 IBM-PC를 이용하여 온라인 시스템을 구성하였다.

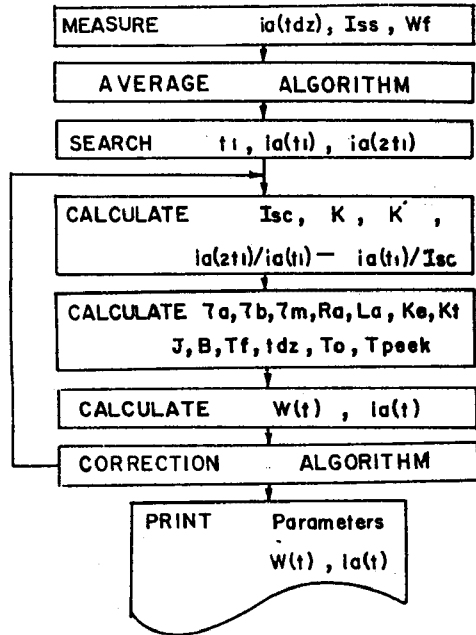


그림 6 파라미터산출 프로그램의 흐름선도

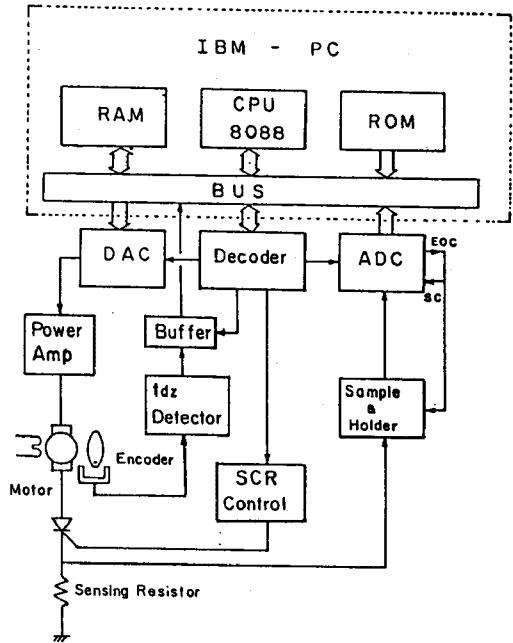


그림 7 온라인 측정 시스템의 블록선도

7. 실험결과 및 고찰

7-1. 디지털 평균법의 효과

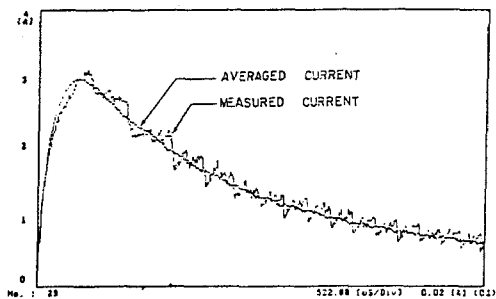


그림 8 디지털 평균법의 효과.

7-2. 파라미터의 산출 및 보정

디지털 평균법을 이용한 응답곡선으로부터 각종 측정치들을 마이크로 컴퓨터로 감지하여 구한 값은 표 1과 같다.

표 1 측정된 전류응답 데이터

$i_a(t_1)$	$i_a(2t_1)$	$i_a(t_{d2})$	I_{sc}	t_1	V	ω_f
2.824 (A)	2.392 (A)	0.145 (A)	0.267 (A)	1.87 (ms)	2 (V)	52.97 (K.P.H.)

측정치들을 파라미터 산출 프로그램에 입력시켜 얻어진 파라미터를 관계식에 대입하여 전류곡선을 구하여 평균된 전류와 비교하면 그림 9와 같다.

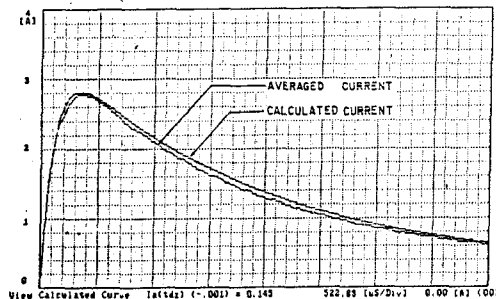


그림 9 보정전의 계산된 전류곡선과 디지털평균된 전류곡선

따라서 t_{dz} 와 t_1 을 각각 보정하면 그림 10과 같이 잘 일치하게 되고 이때의 파라미터는 표 2와 같다.

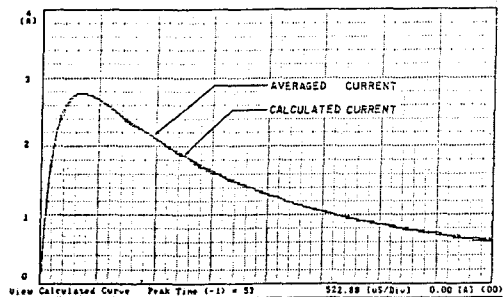


그림 11 보정후의 계산된 전류곡선과 디지털평균된 전류곡선

표 2 보정후의 파라미터

parameter	value	parameter	value
t_a	0.541 (ms)	J	1.80×10^{-6} (Nms ²)
t_m	9.878 (ms)	B	8.69×10^{-6} (Nms ²)
t_b	207.447 (ms)	T_f	4.45×10^{-3} (Nms)
I_{sc}	3.176 (A)	t_{d2}	20.637 (ms)
R_a	6.611 (Ω)	K_e	0.025 (Vs/rad)
L_a	2.213 (mH)	T_0	7.26×10^{-3} (Nms)
K_s	0.025 (Nms/A)	T_{frank}	7.79×10^{-2} (Nms)

8. 결 론

- 1) 디지털 평균법을 이용하여 전류응답곡선의 잡음성분을 제거함으로써 측정오차를 방지할 수 있었다.
- 2) 불감대전류치와 점두치 전류시간의 보정술 하는 알고리즘을 이용하여 정확한 파라미터를 구할수 있었다
- 3) 마이크로 컴퓨터를 이용하여 온라인 측정시스템을 구성하여 파라미터 측정의 완전자동화 하였다.
- 4) 종래의 미리 구해진 특성곡선으로부터 묵시적으로 t_a , t_m 을 찾아내는 불편함과 부정확성을 제거할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. H.D.Snivery, "Measurement and Calculation of DC Armature Circuit Inductance," AIEE Trans., 69, pt. 2, pp.1228-1235, 1950.
2. J.S.Ewing, "Lumped Circuit Impedance Representation for DC Machines," IEEE Trans., Power App. Sys., PAS-87, pp.1106-1110, 1968.
3. Y.C.Lim, "A study on the Parameter Measurement of DC Servomotors by Frequency Response," THCH REV.Chonnam Nat.Univ. Vol.27, pp.7-16, 1985.
4. B.Szabados, "A Realistic Math Model for DC Motor," Control Eng., 19, pp.49-53, 1972.
5. N.K.Sinha, "Modeling of DC Motors for Control Applications," IEEE Trans., IECE-21, pp.84-88, 1974.
6. E.Pasek, "Novy Zpusob Urceni Zakaladnich Dynamickych Parametru Stejnosmernero Motoru," Elektrotech obz., Vol.51, pp.109-114, 1962.
7. W.Lord and R.M.Roberge, "Effect of Viscous Damping on Pasek's method for Determining DC Servomotor Time Constants," Electron Letter, 5, pp. 56-58, Feb., 1969.
8. W.Lord and J.H.Hwang, "DC Servomotors- Modeling and Parameter Determination," IEEE Trans., Vol. IA-13, No.3, pp.234-243, May/June, 1977.