

축차비교를 이용한 전동기 기계정수 추정에 관한 연구

안종건, 백윤혁*, 박승규, 안호균
 창원대학교 전기공학과

A Study on Successive Approximation Measurement of Mechanical Parameters for Motor Control System

Jong-Keon Ahn, Yoon-Hyeok Paek, Seung-Kyu Park, Ho-Gyun Ahn
 Changwon National Univ.

Abstract - This paper presents a study on successive approximation measurement of mechanical parameters for motor control system. At the first step of servo system installation, control system gain tuning is troublesome work. Recently, auto-tuning method of motion controller for motor drive system is based on parameter measurement and identification.

On the case of first order mechanical system (mechanical parameters are modified by simple inertia and friction), it is necessary for good response to get the accurate measurement or identification of the mechanical parameters.

In this paper, novel method applies the binary successive approximation measurement to the inertia and friction coefficient. Computer simulation and experiment for the proposed method will show verification of accuracy and usefulness.

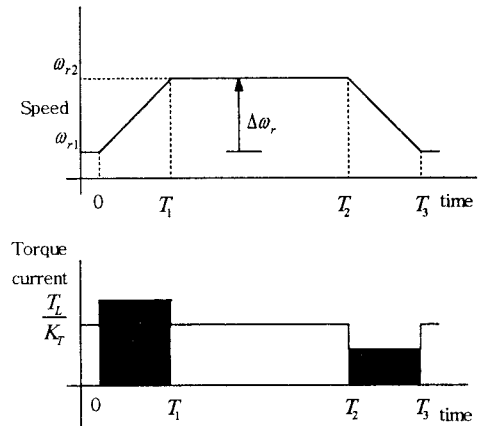


그림 1 기존의 관성모멘트(J)를 측정하는 방법

1. 서 론

전동기 제어시스템 있어서 관성 및 마찰력은 중요한 기계적 정수로서 이의 정확한 추정은 제어기의 형태의 결정 및 설계에 앞서 이루어지는 이론적인 검증과 실제 시스템의 성능의 차이를 줄여주어 정확한 특성을 파악할 수 있으며, 특히 마찰계수가 큰 시스템에 있어서 현저한 성능의 향상을 이룰 수 있으며 응용 시 제어기 게인 조정(Gain Tuning)에 소비되는 시간을 절감할 수 있다. 본 연구는 드라이브의 응용시 전동기 제어시스템의 게인(Gain)을 자동 설정하는 과정에서 필요한 기계정수의 오프라인(Off-line) 조정(Tuning)에 있어서 기존의 정수 추정방법보다 정확히 추정할 수 있는 새로운 정수추정 방법을 제안하고 유도전동기 벡터제어시스템에 응용한 예에 대한 시뮬레이션과 실험을 통하여 효과와 타당성을 입증하고자 한다.

2. 본 론

2.1 전동기 제어시스템 기계정수 추정

2.1.1 기존의 관성 추정 방법

기존의 전동기 제어시스템의 기계정수 추정방법으로는 무부하의 경우 가속에 기여하는 토크성분 전류의 적분량과 속도변화량(ω)과 관성모멘트(J)의 곱에 비례한다. 관성모멘트는 이러한 관계로부터 간단하게 구할 수 있다. 그러나 실제 토크 전류에는 마찰에 의한 손실 등을 포함하고 있기 때문에 결과적으로 조정(tuning)오차의 원인이 될 수 있으므로 일정한 가속 및 감속을 행하여 이러한 손실을 상쇄시키는 방법을 이용한다.¹⁾

$$J \dot{\omega}_m = - B_m \omega_m + T_{em} \quad (1)$$

$$J = \frac{K_T \int_0^{T_1} I_1 dt - \int_{T_2}^{T_3} I_1 dt}{2 \Delta \omega_r} \quad (2)$$

2.1.2 제안된 관성 및 마찰계수의 측정방법

식(1)과 같은 시스템에서 기계정수인 관성모멘트와 마찰계수를 구하기 위하여 임의의 토크로 가속하여 가속도가 '0'이 되도록 제어할 수 있으면 전동기의 발생 토크와 마찰에 의한 토크가 일치하는 속도로 전동기가 회전할 수 있다.

$$\lim_{\omega \rightarrow 0} J \dot{\omega}_m = - B_m \omega_m + T_{em} = 0 \quad (3)$$

이때 속도의 변화분 즉 관성에 의한 토크 성분은 없으므로 전동기의 발생 토크와 회전속도로부터 마찰계수를 계산할 수 있다.

기계정수 가속도가 '0'인 정상상태에 이르게 하기 위해서는 일정구간동안 토크를 가해주면서 속도의 변화를 측정하여 가속도의 부호에 따라 이전 구간에 가해준 토크의 절반을 가감하는 동작을 반복한다. 이러한 방법으로 시간이 무한대로 되면 가속도는 '0'으로 수렴한다.

즉 이것을 이산시간(Discrete time)의 수식으로 나타내면

$$T(k) = T(k-1) + 2^{-k} \cdot \text{sig}(\dot{\omega}) \cdot T(0) \quad (4)$$

이다.

정상상태에 이르면 가속도가 '0'이므로 식 (3)으로부터 마찰계수는

$$B_m = \frac{T_{cm}}{\omega_m} \quad (5)$$

이 되고, 이때 관성모멘트 및 마찰력에 의한 토크의 손실을 제외한 가속에 사용된 토크는

$$J = \frac{\sum_{k=0}^n T_{ak} \Delta\tau}{\omega_m} \quad (6)$$

$$\sum_{k=0}^n T_{ak} \Delta\tau \cong \sum_{k=0}^n T_k \Delta\tau - B_m \sum_{k=0}^n \omega_k \Delta\tau \quad (7)$$

이다.

이로서 식 (5), (6), (7) 로 부터 관성모멘트 및 마찰계수를 산출할 수 있으므로 기존방법에서 정확히 측정할 수 없었던 마찰계수를 포함한 전동기제어 시스템의 기계정수를 점근적 추정을 통하여 정확히 측정할 수 있다.

2.2 시뮬레이션

Simulink를 이용하여 유도 전동기의 벡터제어 시스템을 구성하고 전동기 및 구동 시스템의 기계적 파라미터는 표1에 나타낸 실제시스템의 모델을 적용하였다. 또한 구동 시스템의 마찰중 정지마찰(Static friction) 및 쿨롱마찰(Coulomb friction)은 제외하고 점성마찰(Viscous friction)에 관한 것만을 고려하였다. 전류제어에 대한 응답을 양호하게 제어기의 게인을 조정한 다음 우수한 토크 응답 특성을 확보하기 위하여 자속이 확립되는 시간(Flux build up time)을 충분히 준 다음 토크 명령을 입력하도록 구성하였다.

표 1 유도전동기 및 구동 시스템 제원

전압	320V
정격출력	22kw
정격 주파수(f_b)	60Hz
극수(P)	4극
정격 회전속도(ω_b)	1769rpm
고정자 저항(R_s)	0.058 Ω
회전자 저항(R_r)	0.039 Ω
고정자 누설인덕턴스(L_{ls})	0.59mH
상호 인덕턴스(L_m)	24.76mH
회전자 누설 인덕턴스(L_{lr})	0.59mH
회전부 관성 모멘트(J)	0.25kgm ²
마찰 계수(B)	0.053Nm/(rad/sec)

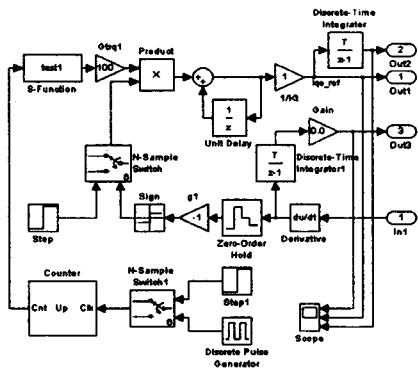


그림 2 관성모멘트 및 마찰계수 측정을 위한 제어기의 블록도

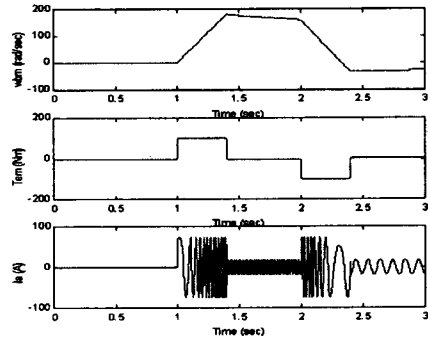


그림 3 기존의 추정방법 시뮬레이션

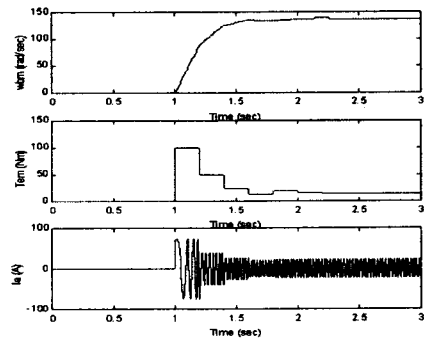


그림 4 제안된 추정방법 시뮬레이션

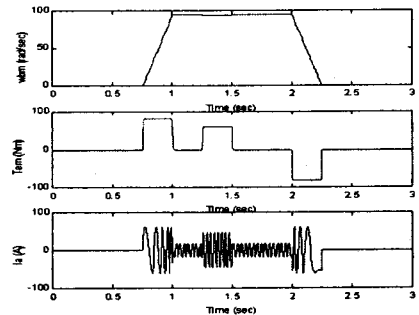


그림 5 Gain을 tuning 했을 때의 시스템 응답의 시뮬레이션 ($K_p=100, K_i=30$)

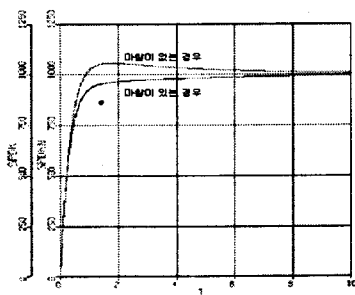


그림 6 마찰 유무에 따른 Step 응답특성

2.3 실험

2.3.1 소프트웨어의 구성

본 논문의 제안된 추정방법을 적용하기 위하여 5msec마다 수행되는 속도 제어부에서 0.5sec마다 제어를 행하도록 구성하였다.

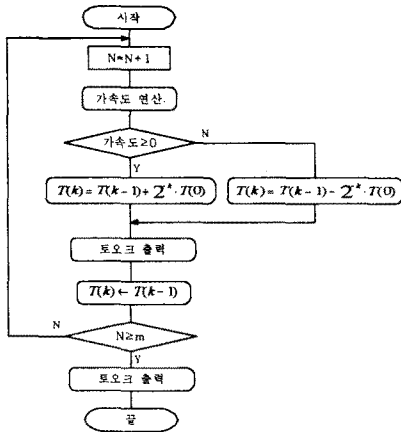


그림 7 제안된 추정방법의 신호처리 흐름도

최초 일정 토크를 명령하고 전동기의 속도를 검출하고 가속도를 산출한 다음 그 다음의 명령의 이전 명령의 값에서 절반을 가감하도록 하여 N이 16(16bit)이 될 때까지 가속도를 '0'으로 만드는 토크 값을 출력하도록 프로그램을 구성하였다.

2.3.2 실험 결과의 분석

실험의 결과인 그림 8의 속도 및 토크성분 전류에서 정상상태 도달시의 회전속도는 82rad/sec 이었고, 이때의 마찰력에 대한 전동기의 출력 토크 전류(Iq)는 2.4 A이다. 적용된 전동기의 토크 상수(Kt)가 1.83Nm/A 이므로 이때의 마찰 토크가 4.4Nm임을 알 수 있으며, 따라서 마찰계수(B)는 0.053 Nm/(rad/sec) 임을 알 수 있다.

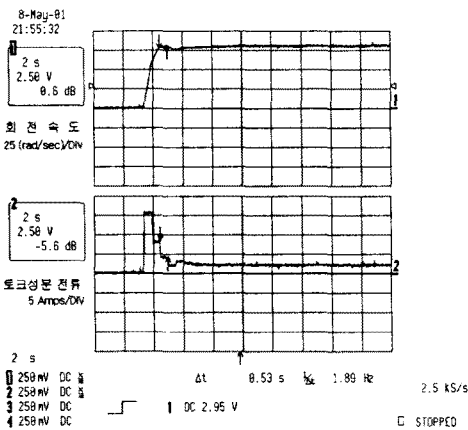


그림 8 제안된 추정방법의 실험 파형

관성 모멘트(J)는 첫 번째 가속구간의 값만으로 산출해 보면 회전속도가 60rad/sec 일 때 식 (6)과 (7)로부터 가속토크(Ta)는

$$T_a = \text{출력토크오크} - \text{관성계수}(B) \times \text{구간평균속도} = 32 - 0.053 \times 30 = 30.41 \text{ (Nm)} \quad (8)$$

이며, 관성 모멘트(J)는

$$J = 30.41/120 = 0.0253 \text{ (kgm}^2\text{)} \quad (9)$$

이다.

3. 결 론

본 논문의 요지에 대하여 시뮬레이션 및 실험을 통하여 그 결과를 검토해 보았다. 기존의 방법에 있어서는 마찰이 없거나 무시할 수 있는 경우에는 정확한 관성모멘트를 추정할 수 있으나 그림 3에서와 같이 마찰이 큰 경우의 시스템에서는 정확한 측정을 하는 것이 어렵다.

본 논문에서 제안한 방법의 경우에는 마찰력이 존재하는 시스템에서 관성모멘트 및 마찰계수의 정확한 값을 추정하는 것이 용이함을 알 수 있었고, 또 2진수적(Binary) 방법으로 접근하는 방식이 컴퓨터의 bit 단위로 값을 증감시키는 것에도 용이하며, 가령 16bit 정도의 고정소수점(Fixed point) 연산을 하는 DSP의 경우에도 컴퓨터 내부의 처리에 대한 측정오차가 거의 1/216 정도를 가지므로 유용하게 실용화될 수 있으리라 생각되며, 측정 시 노이즈에 대한 영향은 시간구간을 길게 함으로써 최소화시켰다.

[참 고 문 헌]

- [1] Makoto Iwasaki, Nobiyuki Matsui "Parameter Auto-tuning of Mechanical system", JIASC'95S, 3-6, 1995.
- [2] C. C. Hang, K. J. ström, W. K. Ho, "Refinements of the Ziegler-nichols tuning formula", IEE Proceeding-D, Vol.138, No.2, March 1991.
- [3] Haruo Naitoh "Practical Aspects of Self-commissioning for Vector Controlled Induction Motors", JIASC'95, S.3-2, 1995.
- [4] Yoshitaka Iwaji, Tomoaki Tanimoto, "Off-line Automatic Tuning schemes for Induction Motor Constants", JIASC'95, S.3-4, 1995.
- [5] Russel. J.Kerkman, Gray L.Skibinski, and David W. Schlegel, "AC Drives : Year 2000 (Y2K) and Beyond", Rockwell Automation, IEEE-APEC 1999.
- [6] Graham C. Goodwin, James S. Welsh "Analysis of a Novel Method of Autotuning a Multivariable Plant Based Quantization" American Control Conference, pp.3347-51, June 1999.