

모터의 기계정수 추정에 관한 연구

강호진, 안중건, 안호균, 박승규
 창원대학교 전기공학과

Study for Mechanical Parameters Measurement Estimate of the Motor

Ho-Jin Kang, Jong-Keon Ahn, Ho-Kyun Ahn, Seung-Kyu Park
 Changwon University

Abstract - 전동기 제어 시스템에서 전동기 상수의 추정은 전기적 상수의 추정과 기계적 상수의 추정을 목적으로 하는 두 가지로 나눌 수 있다. 전기적 상수의 경우 실험과 측정기를 통해 비교적 정확히 추정할 수 있으며 기계적 상수의 경우 실험을 통해서 추정이 가능하다. 본 논문에서는 DSP를 사용하여[1][2] 기계정수를 추정하고 추정된 값을 사용하여 시뮬레이션을 제작하며 시뮬레이션과 실제 전동기를 비교함으로써 추정법의 성능을 시험한다.

1. 서 론

전동기의 관성 및 마찰력은 중요한 기계적 정수로서 이의 정확한 추정은 제어기 설계시 실제 시스템과 이론적인 검증의 성능차이를 줄여주며 정확한 특성을 파악할 수 있어 성능향상을 이룰 수 있다.

전동기 제어 시스템의 전기적 정수 추정법은 실제 측정기를 사용하여 측정하거나 주파수 응답을 통해 나온 결과값을 해석하여 얻어진다.[4] 등속 시험과 구속시험을 통해 흐르는 전류량이 전기정수를 구할 때 사용된다.

전동기 제어 시스템의 기계정수 추정방법은 무부하일 때 가속에 기여하는 토크성분 정류의 직분량은 속도변화량과 관성모멘트의 곱에 비례하는 성질을 이용한 방법이 있다. 관성모멘트는 이 관계를 통해 간단히 구할 수 있지만 실제 토크 전류에는 마찰에 의한 손실 등이 포함되어 있기 때문에 결과적으로 오차가 발생하게 된다.[3] 이에 본 연구에서는 전동기의 기계정수를 추정하기 위해 우선 전기적 상수와 마찰계수를 추정하고 이를 관성모멘트 추정에 사용하여 더 정확한 값을 얻어낸다. 전동기를 제어하기 위해 DSP를 사용하였으며 추정된 상수로 시뮬레이션 프로그램을 작성하고 DC전동기 시뮬레이션과 실제 전동기의 속도와 전류특성을 비교하여 기계 상수 추정법의 성능을 시험한다.

2. 본 론

2.1 전기적 상수 및 기계적 상수 추정

DC모터의 전기적 상수를 구하기 위하여 구속시험을 하면 내부 전기자 저항을 쉽게 구할 수 있으며 인덕턴스 성분의 경우 측정기를 이용하거나 구속후 주파수 응답을 이용하여 구할 수 있다. [4] (Lock the rotor shaft)

$$R_a = \frac{v_a}{i_a} \quad (1)$$

$$\frac{I(j2\pi f)}{E(j2\pi f)} = \frac{1/R_p}{(L_p/R_p)j2\pi f + 1} \quad (2)$$

(At high frequency)

$$\frac{I(j2\pi f)}{E(j2\pi f)} = \frac{1}{(2\pi f)L_p}, L_p \cong \frac{1}{(2\pi f)(I/E)} \quad (3)$$

기계정수인 관성과 마찰계수를 구하기 위하여 전압을 제어하여 가속도가 0이 되도록 제어하면 전동기 발생토크와 마찰에 의한 토크가 일치하는 속도로 전동기를 회전 시킬 수 있다.

$$\lim_{\omega \rightarrow 0} J\dot{\omega}_m = -B_m\omega_m + T_{em} = 0 \quad (4)$$

기계정수 가속도가 0인 정상상태에 이르게 하기 위해서는 일정구간동안 전압을 가해주면서 속도의 변화를 측정하여 가속도가 양이면 전압 듀티비를 줄이고 가속도가 음이면 전압 듀티비를 늘이면서 반복한다. 이것

을 이산시간의 수식으로 나타내면

$$D(k) = D(0) - K \cdot sig(\dot{\omega}) \cdot D(k-1) \cdot \dot{\omega} \quad (5)$$

이 된다. 정상상태에 이르면 가속도는 0이므로 역기전력 상수는

$$K_b = \frac{v_a - R_a i_a}{\omega_m} \quad (6)$$

이 되며 DC모터의 경우 역기전력 상수와 토크상수가 거의 같으므로[4] 이를 토크상수에 적용 시킬 수 있다. 이를 이용해 토크를 계산할 수 있다. 또한 정상상태에 이르면 가속도는 0이므로 마찰계수는

$$B_m = \frac{T_{em}}{\omega_m} \quad (7)$$

이 되고, 이때 관성계수 및 마찰력에 의한 토크 손실을 제외한 가속에 사용된 토크는

$$J = \frac{\sum_{k=0}^m T_{ak} \Delta \tau}{\omega_m} \quad (8)$$

$$\sum_{k=0}^m T_{ak} \Delta \tau \cong \sum_{k=0}^m T_k \Delta \tau - B_m \sum_{k=0}^m \dot{\omega}_k \Delta \tau \quad (9)$$

이다. 이로서 식으로부터 관성모멘트 및 마찰계수를 산출할 수 있다.[5]

토크를 계산하기 위해서는 전류값을 측정해야 하는데 DC모터 전류신호는 내부 회전자와 정류자에 의해 회전자기 회전시 리플이 발생한다.[6] 이러한 리플성분을 제외한 전류값은 리플이 포함된 전류값의 평균값과 일치하므로 본 논문에서는 리플성분을 제외한 전류값을 토크 계산에 사용한다.

$$i_a = i_{aDC} \pm \Delta i_a, i_a \cong i_{aDC} \quad (10)$$

$$T_{em} = K_t i_{aDC} \quad (11)$$

2.2 실험 장치 구성

본 연구에서는 모터의 관성 및 마찰계수를 측정하기 위해 실험장치를 구성하였다. 엔코더를 결합한 Geared DC모터와 엔코더 출력신호수집과 더불어 스위칭 주파수를 출력하기 위한 DSP28335, DC모터를 구동할 모터 드라이버와 엔코더와 보드 동작을 위한 전원공급기(SMPS), 전압과 전류체크를 위한 오실로스코프 등을 이용하였다.

<표 1> 사용된 모터의 전기적 상수 및 시스템

전압	24V
정격출력	34.7W
회전자저항	1.9Ω
인덕턴스	1.248mH
정격 회전속도(내부)	5900RPM
기어비	1/144
엔코더 펄스	내부 1 rev=19pulse

표1은 사용된 모터의 전기적 상수와 모터 특성으로 회전자 저항과 인덕턴스 값은 측정기를 이용하여 측정하였다. 기어비의 경우 엔코더에서 나오는 펄스의 주파수를 역으로 계산하고 측정하여 값을 얻어냈다. 듀티비를 높게 설정할 경우 구속 시험시 큰 구속 토크가 필요하기 때문에 듀티비는 25%로 설정하여 실험하였다.

2.3 실험 결과 및 검토

표2는 DSP real time 시 측정된 Data와 측정 전류값을 나타낸다.

〈표 2〉 실험시 Switching 주파수와 측정된 Data

듀티비	25%
듀티비에 의한 입력전압	6V
Switching frequency	20kHz
정상상태시 전류 I	484mA
최대 전류 I	3.7A
eQEP frequency	100Hz
정상상태시 각속도	2.224 rad/sec
정상상태시 엔코더 주파수	975Hz
가속구간 sample(2),(3),(4)	[15, 21, 27]
가속상태시(sample(3)기준)전류 I	2.2A
가속상태시 sample 변화량 delta	6.00

eQEP frequency는 eQEP모듈의 인터럽트 주기이며 delta는 가속구간에서 측정되는 QPOS LAT 레지스터 값의 차이이다.[1] 측정된 값으로 역기전력 상수를 식 (6)과 실험결과인 표2의 정상상태 도달시 회전속도인 2.224(rad/s)을 이용해서 구하면 $(6 - 0.484 \times 1.9) / 2.224 = 2.2844$ (V/rad)이 된다. 역기전력 상수와 토크상수는 DC모터의 경우 거의 같으므로 토크상수도 2.2844(Nm/A)가 된다.

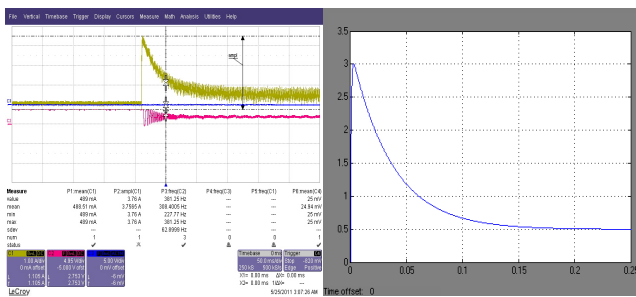
표2를 보면 정상상태 도달시 마찰력에 대한 전동기의 출력토크 성분 전류 I_0 는 0.484(mA)이다. 적용된 전동기의 토크 상수가 2.2844(Nm/A)이므로 이때 마찰 토크는 1.1056(Nm)임을 알 수 있고 마찰계수 B는 식 (7)에 의해 0.4971 (Nm/(rad/s))임을 알 수 있다.

관성모멘트 J는 가속구간을 이용해 산출한다. DSP28335가 real time Mode일 때 측정된 가속구간의 데이터는 표 2의 가속구간 sample에서 볼 수 있는데, 0.01초당 샘플링 할 때 {2}, {3}, {4} 가속구간의 값이 15, 21, 27이며 회전속도는 다음 식을 만족한다.

$$w = sample \times eQEP f / \text{채배수/기어비} \times 2\pi / 19 \quad (12)$$

값이 21일 때 회전속도는 1.2056(rad/s)이며 이때 가속토크 Ta는 식 (9)를 만족한다. 가속구간에서 전류값이 2.2(A)이므로 출력토크는 5.0257 (Nm)이며 구간 평균속도는 1.2056(rad/s)이므로 가속토크 Ta는 4.4264 (Nm)이다. 관성모멘트(J)는 샘플 변화량 delta값을 이용한다. 식 (12)를 이용하면 J값은 $J = 4.4264 / 34.4473 = 0.1285(\text{kgm}^2)$ 이다.

그림 1은 실제 오실로스코프에 측정된 전류 파형(a)와 Simulink로 구현된 전류파형(b)을 비교해 놓은 것이다. 전류의 최대 값은 각각 3.7(A)와 3(A)로 오차를 19.8(%)로 비교적 차이점을 보이지 않지만 정상상태에서의 전류값은 각각 484(mA)와 486(mA)로 오차를 0.4(%)로 큰 차이점을 보이지 않는다.



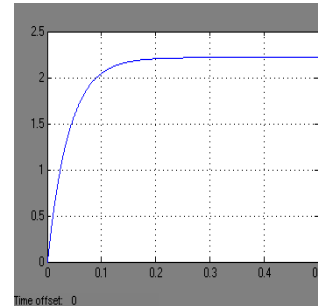
〈그림 1〉 실험 전류파형(a)과 시뮬레이션 전류파형(b)

표 3은 Workspace에서 추출한 데이터 값이며 시뮬레이션에서 나타난 각 가속도는 시간 0.01초에서 0.03초 구간일 때 (1.167637-0.459306)/0.02 = 34.9228(rad/sec²)임을 알 수 있다. 각 가속도 값의 측정된 값은 34.1973(rad/sec²)이므로 오차는 2.1%임을 알 수 있다.

〈표 3〉 Workspace Data

시간(s)	각속도(rad/sec)
0.01	0.472561
0.02	0.868248
0.03	1.17454

그림2는 시뮬레이션으로 측정된 각속도이며 평형상태인 0.5초 일 때 2.238(rad/sec)임을 알 수 있다. 실제로 측정된 정상상태시 각속도가 2.224(rad/sec)이므로 오차가 0.6(%)알 수 있다.



〈그림 2〉 시뮬레이션으로 구현된 각속도

표4는 실제 측정된 값과 시뮬레이션 값을 비교하였다. 전류 최대 값은 오차가 19.8%로 큰 편이며 정상상태 전류, 각속도와 각 가속도의 오차는 2%내외로 작은 편이다.

〈표 4〉 실험 Data와 시뮬레이션 Data의 비교

	실제 측정	시뮬레이션	오차
전류 최대값	3.7(A)	3(A)	19.8(%)
정상상태 전류	484(mA)	486(mA)	0.4(%)
정상상태 각속도	2.224(rad/sec)	2.238(rad/sec)	0.6(%)
각 가속도	34.4473(rad/sec ²)	35.0990(rad/sec ²)	1.9(%)

3. 결 론

본 연구에서는 전동기의 토크를 제어하여 모터의 기계적 상수를 추정하는 방법을 제안하고, 그 결과를 검증하기 위해 시뮬레이션 값과 실제 모터에서 측정된 값을 비교하였다. 시뮬레이션 값과 전류파형의 측정값의 변화는 비슷한 양상을 보이며, 정상상태시의 값 역시 거의 일치함을 확인할 수 있다.

실제 모터를 제어하면서 모터의 특성을 모르고 제어하는 경우가 많다. 따라서 본 연구에서처럼 모터의 상수를 추정하면 제어기 설계 시 실제 시스템의 특성을 파악할 수 있어 성능향상을 이루는데 도움이 될 것이다.

감사의 글

본 연구는 2011년도 창원대학교 연구비와 지방기술혁신사업(RT004-10-03)지원으로 수행되었음.

[참 고 문 헌]

- [1] TEXAS INSTRUMENTS, "DSP Reference Guide APRUG05A", TMS320x2833x, 2823x Enhanced Quadrature Encoder Pulse Modul, 2008
- [2] TEXAS INSTRUMENTS, "DSP Reference Guide APRUG04A", TMS320x2833x, 2823x Enhanced Pulse Width Modulator(ePWM) Modul, 2009
- [3] Makoto Iwasaki, Nobiyuki Matsui, "Parameter Auto-turning of Mechanical system", S.3-6, JIASC'95
- [4] University of Wisconsin-Madison ME/ECE577 Automatic Controls Laboratory, "Frequency Domain, Fourier Transform System Identification on a Servo Drive", pp 2-4, 2010
- [5] 안종건, "전동기 제어시스템 기계정수의 점근적 추정에 관한 연구", 창원대학교 대학원 석사논문, 2001
- [6] 양철호, 김형진, 이대성, "DC 모터의 고장 진단을 위한 전류신호 해석", 대한전기학회 광주·전남지회 추계학술대회 논문집, pp 79-84, 2009,