

고속설계시스템에 의한 직류전동기 구동시스템의 부하변동에 강인한 속도제어

황재현*, 이용석, 지준근
 순천향대학교 정보기술공학부

Robust Speed control to Load variation of DC motor Drive System by Rapid Design System

Jae-Hyun Hwang*, Yong-Seok Lee, Jun-Keun Ji
 Division of information Technology Engineering, Soonchunhyang University

Abstract - 본 논문에서는 리얼타임의 DSP를 사용하는 고속설계시스템에 의한 부하토크관측기 및 속도 제어기의 설계에 대하여 소개한다. 고속설계시스템은 CEMTool/SIMTool 소프트웨어 프로그램과 RG-DSPIO 제어보드, AUTOTool 프로그램으로 구성되어 있고 이것을 DC Motor 구동시스템에 사용하였다. SIMTool 블록들을 사용함으로써 짧은 시간동안에 다양한 형태의 제어기를 설계 및 구현할 수 있도록 해주는 장점이 있기 때문에 DC Motor의 부하토크관측기 및 속도제어기를 제어 목적에 따라서 쉽게 설계하고 구현할 수 있다.

공학 계산을 수행하는 과학기술 범용 패키지이고, SIMTool(Simulation Tool)은 블록 다이어그램 프로그램 방식의 블록 구조 설계 패키지이다. CEMTool의 경우 CEMTool 상의 문법뿐만 아니라 제어용 소프트웨어로 가장 많이 사용되고 있는 MATLAB의 문법도 지원하므로 기존에 작성해 놓은 M-file을 사용할 수 있다. SIMTool에서는 시스템을 형성하는 각종 요소들을 기본적으로 제공되는 100개 이상의 블록들의 조합으로 나타내어 그 특성을 표현함으로써, 복잡한 시스템을 손쉽게 모델링하고 시뮬레이션 할 수 있게 한다. 그리고 선형요소 뿐만 아니라 기존의 프로그래밍 형태의 시뮬레이션 패키지에서는 나타내기 힘들었던 각종 비선형 요소들도 간단히 모델링 할 수 있다. SIMTool을 이용하면 연속 시간 시스템과 이산 시간 시스템 각각의 시뮬레이션은 물론이고, 두 요소가 섞여 있는 하이브리드 시스템의 시뮬레이션 또한 가능하다. 또한 고급기능으로 매우 복잡한 시스템을 간편하고 체계적으로 모델링하기 위한 슈퍼블록(Super block)과 매크로블록(Macro block) 기능이 있다.

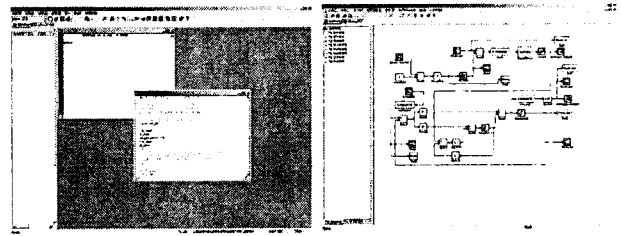
1. 서 론

전동기 제어 기술은 과거의 하드웨어를 주체로 한 아날로그 방식으로부터 마이크로프로세서의 보급에 따라 성능의 향상과 제어의 정밀도를 위해 디지털 기술로 바뀌어 가고 있다. 이러한 이유는 소프트웨어 알고리즘은 사용자가 원하는 제어방식에 따라 조작과 변환이 용이하여 하드웨어 자체를 바꾸지 않아도 되므로 시간적으로나 경제적으로 유리하다.

DC Motor의 속도제어에서, PI 제어기의 경우 구현이 쉽고 간단하여 제어기 이득을 적절히 조절함으로써 최적의 운전상태를 얻을 수 있다. 그러나 PI 제어 부하 토크가 운전범위에 제한을 받는다. 따라서 일반적으로 부하가 있는 경우에 내부모델 원리를 기초로 하여 출력에서 부하의 영향이 나타나지 않는 부하상쇄를 고려할 필요가 있다.

본 논문에서는 고속의 DSP(Digital Signal Processor)를 사용한 고속설계시스템을 이용함으로써 제어기 구현을 CEMTool, SIMTool, AUTOTool S/W를 사용하였다. 그래픽 프로그램으로 속도 제어기를 설계하고 모터 속도의 제한은 속도센서인 타코미터(Tachometer)를 사용하였다.

부하변동에 강인한 속도제어기를 설계하기 위해서, 부하토크 전향(Feedforward) 보상제어를 적용한 직류전동기의 속도제어를 고려하였다.



<그림 2> CEMTool, SIMTool의 실행화면

2. 본 론

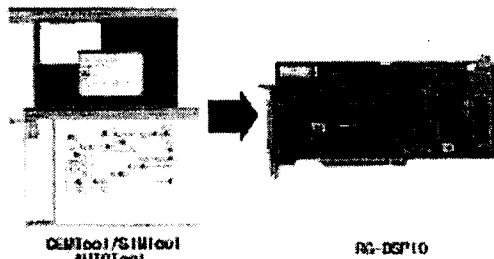
2.1 고속설계시스템

2.1.1 고속설계제어기(RG-01D)의 개요

고속설계제어기란 전에는 제어 시스템 개발을 각각의 하드웨어에 맞추어 C언어를 이용하여 큰 프로그램을 장기간에 걸쳐 개발을 진행하여 왔지만, 이러한 프로그램을 간단히 블록다이어그램이나 명령어 방식으로 제어기 등을 설계하여 바로 실시간으로 외부 입력, 출력장치와 연결하여 실제 실험을 할 수 있는 장치이다.

RG-01D 모델은 이러한 기능을 수행하는 고속설계제어기중의 하나로 CEMTool과 블록 알고리즘을 구성할 수 있는 SIMTool을 이용하여 블록으로 알고리즘을 구성하면 그 블록을 자동으로 C코드로 생성하여 주는 C코드 생성기인 AUTOTool을 포함한 소프트웨어와 고속 연산을 수행할 수 있는 DSP chipset을 사용하고 외부 입출력을 할 수 있는 I/O 기능이 있는 RG-DSPIO 보드로 구성되어 있어 가장 빠른 실시간 시스템을 구성할 수 있는 장점이다.

고속설계제어기(RG-01D)의 개념도는 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 고속설계제어기(RG-01D)의 개념도

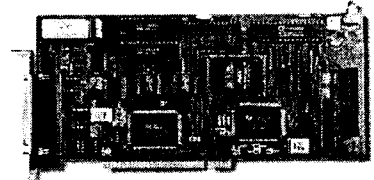
2.1.2 CEMTool, SIMTool의 구성

CEMTool(Computer-aided Engineering & mathematics Tool)은 수학과

2.1.3 RG-DSPIO 보드의 구성

<그림 3>은 고속설계제어기의 RG-DSPIO 보드의 모습이다. RG-DSPIO는 고속 데이터 연산을 위한 DSP 기능을 내장하고 있다. DSP CPU는 TI사의 floating point type DSP chip인 TM320C32를 사용하고, 60MHz의 clock으로 동작한다. 이 DSP chip은 2개의 타이머, 4개의 사용자 인터럽트를 갖고 있으며 256word의 내부 메모리를 갖고 있어 시스템의 레지스터 등으로 사용이 가능하다.

Monitoring기능을 담고 있는 ROM은 128KB의 용량으로 사용자 프로그램의 다운로드, 실행 데이터 업로딩, 디버깅을 위한 함수 등을 담고 있다. 프로그램의 실행을 위한 메모리는 256KB의 용량으로 no-wait cycle의 고속 SRAM이다. 시스템과 사용자간의 데이터 교환은 PCI 버스를 통해 이루어지는데, PCI interface chip 과 DSP 사이에 고속 데이터 교환을 위해 16bit 버스를 이용하는 DPRAM(Dual Port RAM)을 장착하고 DPRAM의 인터럽트를 사용함으로써 데이터의 교환에 필요한 overhead를 최소화한다.



<그림 3>RG-DSPIO Board

2.2 DC Motor 모델링

<그림 4>는 직류전동기를 모델링한 모습이다.

전기자 전압 : $V_a = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + e$

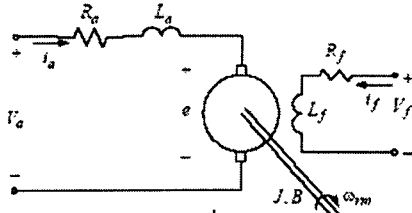
계자 전압 : $V_f = R_f i_f + L_f \frac{di_f}{dt}$

계자권선에 의해 전기자에 쇄교하는 자속 : $\lambda_f = f(i_f) = L_f i_f$

역기전력(Back Electro-Motive Force) : $e = k\lambda_f \omega_{rm} = K_e \omega_{rm}$

회 전 력 : $T_e = k\lambda_f i_a = K_T i_a$

기계 방정식 : $T_e = J \frac{d\omega_{rm}}{dt} + B\omega_{rm} + T_L$



〈그림 4〉 직류전동기 모델링

2.3 부하토크 관측기 설계

속도 및 위치 제어를 목적으로 하는 모션 분야에서는, 대부분의 경우에 지배적인 영향을 미치는 것이 부하토크이다. 이 부하토크를 추정할 수 있을 때는 그것을 전향(Feedforward) 보상하여 부하토크 상쇄가 가능하게 되며 부하변동에 대한 강한 속도 제어를 할 수 있다. 제어대상에 대한 부하토크 T_L 을 입력전류 i_T 와 각속도 ω_{rm} 에서 추정하는 것을 고려한다. 또한 K_T 는 토크상수, J 는 전동기의 관성 모멘트, w_{rm} 은 전동기의 각속도를 나타내고, 이때 시스템에 대한 운동방정식을 T_L 에 대하여 나타내면 식 (1)과 같다.

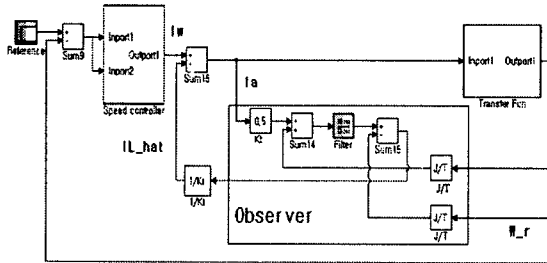
$$T_L = K_T i_a - J \frac{dw_{rm}}{dt} \quad (1)$$

여기서, 입력전류와 각속도의 미분 값에서 T_L 을 계산하여 구할 수 있다. 그러나, 이 방법 또한 각속도의 미분이 필요하기 때문에 그 실현은 어렵고, 만약 실현이 가능하다고 하여도 고주파에서는 고이득으로 되기 때문에 관측 노이즈의 영향을 상당히 받게 된다.

그래서 아래의 식 (2)와 같이 저역통과 필터를 통하여 얻은 출력 \hat{T}_L 을 T_L 에 대한 추정값으로 보면 된다. 그러나 w_{rm} 에서 \hat{T}_L 까지의 전달함수가 다음과 같이 미분인자를 사용하지 않은 형태로 될 수 있다.

$$\hat{T}_L = \frac{1}{Ts+1} T_L \quad (2)$$

$$-\frac{Js}{Ts+1} = -\frac{J}{\tau} \left(1 - \frac{1}{Ts+1}\right) \quad (3)$$



〈그림 5〉 부하토크관측기와 부하토크 상쇄제어 블록도

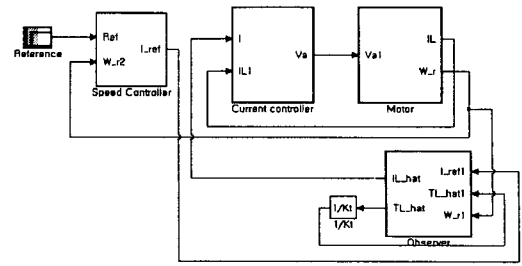
위 식 (3)에 대한 SIMTool은 〈그림 5〉와 같이 부하토크 관측기를 이용한 부하토크 상쇄 제어로 나타낼 수 있고, 여기서 부하토크 관측기 극점은 식 (2)의 저역통과 필터의 극점에 해당하기 때문에 필터의 시정수를 가능한 작게 잡아서 지연이 적은 추정치를 얻을 수 있다.

2.4 시뮬레이션

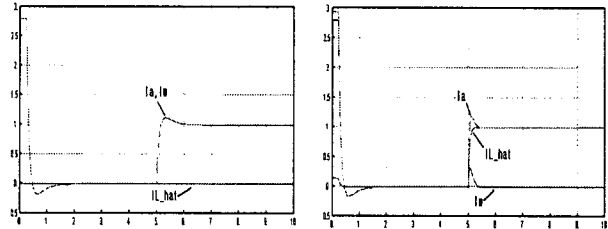
본 논문에서는 <표 1>의 파라미터를 근거로 <그림 5>에 의해 <그림 6>과 같이 CEMTool과 SIMTool을 사용하여 시뮬레이션을 실행하였다. <그림 6>은 부하토크 관측기를 사용한 SIMTool 전체 시스템 모델링이다. SIMTool의 기능중 하나인 Super Block 기능을 사용하여 블록도를 간단히 하였다. 부하는 스텝부하를 사용하였다.

〈표 1〉 직류전동기 파라미터

Parameters	Unit
Ra(armature)	8[Ω]
La(armature)	0.08[H]
Rf(field)	265
L(field)	0.001
Moment of Inertia	0.0025[kgm ²]
Vt(rated)	120[V]
ia(rated)	2.8[A]
n(rated, in rpm)	180[RPM]
if(rated)	0.4
Torque Flag	0
Master/Slave Flag	1



〈그림 6〉 SIMTool 전체 시스템 모델링

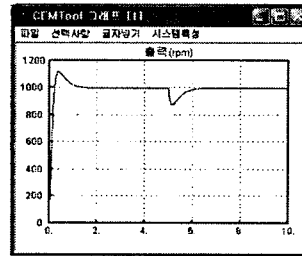


〈그림 7〉 전류응답(PI속도제어) 〈그림 8〉 전류응답(부하토크보상)

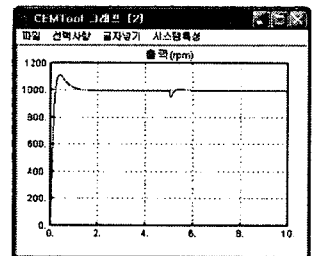
5초에서 부하 변동시, <그림 7>은 PI 속도제어만을 사용한 경우 전류 응답을 나타낸 것이고 <그림 8>은 부하토크 관측기를 사용한 경우 전류 응답을 나타낸 것이다.

<그림 5>에서 보여주는 것과 같이 $i_w + \hat{i}_L = i_a$ 가 되므로, 만약 속도 변동이 없다면 Δw_{rm} 은 항상 "0" 이 되어 $\hat{i}_L = i_a$ 을 유지한다. 그러나 만약 부하토크 외란이 들어오면 동시에 외란의 크기만큼의 \hat{T}_L 이 추정되어 전향 보상 해중으로써 부하토크 T_L 분 전류와 추정치 \hat{T}_L 분 전류가 서로 같게 되어 속도의 변동은 없게 된다.

<그림 9>은 PI 속도제어만을 사용한 경우 속도 응답을 나타낸 것이고, <그림 10>은 부하토크 관측기를 사용한 경우 속도 응답을 나타낸 것이다.



〈그림 9〉 속도응답(PI속도제어)



〈그림 10〉 속도응답(부하토크보상)

<그림 9>는 PI 속도제어만을 적용하였을 시 속도응답 파형으로, 속도의 변동(130rpm)이 심하다. <그림 10>은 부하토크 관측기를 적용하여 속도제어를 한 경우에 대한 속도응답 파형으로, 부하에 대해 빠르게 반응하여 속도의 변동(30rpm)을 상당히 개선한다는 것을 볼 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 고속설계시스템을 사용하여 부하변동에 강한 속도제어를 구현하기 위하여 부하토크 관측기를 적용한 전향(Feedforward) 보상 제어방법을 설계하였다.

SIMTool을 사용하여 DC Motor의 속도제어를 설계하였고, 부하토크 관측기를 구현하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 현재 실험중이다.

그 결과 종전에 사용하였던 PI 속도제어기보다 전향(Feedforward) 보상 제어방식이 부하변동에 대하여 더 강한 속도응답 특성을 갖고 있음을 알 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김종식, 한영철, "제어시스템설계", 청문각, 2004년
- [2] 지준근, 이동민, "고속설계시스템에 의한 AC 서보시스템의 속도관측기 및 속도 제어기 설계", 산학기술학회 추계학술발표논문집, 2004년
- [3] 지준근, 이용석, "dSPACE 1104 시스템을 이용한 직류 전동기 속도 및 전류제어", 산학기술학회 추계학술발표논문집, p 198~201, 2005년
- [4] 김영준, 조문택, "외란 상쇄 관측기를 이용한 유도전동기 외란 제어", 한국산학기술학회, Vol. 7, No 2, 2006년
- [5] 리얼게인(사), "고속설계제어기(RG-01D) 활용"
- [6] 리얼게인(사), "CEMTool 5.0 사용자 안내서"
- [7] 리얼게인(사), "SEMTTool 4.0 사용자 안내서"