

선형 추진 BLDC 모터에 대한 파라미터 추정기법을 이용하는 오토튜닝(Auto Tunning) PI 제어기설계

차영범 · 송도호^{*} · 김진애^{**} · 최중경^{***}

삼성테크윈 · KIMM · 창원대학교

The Design of an Auto Tunning PI Controller using Parameter Estimation Method for the Linear BLDC Motor

Youngbeom Cha · Doho Song^{*} · Jinae Kim^{**} · Jungkeyng Choi^{***}

Samsung Techwin · KIMM · Changwon International University

E-mail : ybcha0510@yahoo.co.kr

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업[RTI04-01-03] 지원으로 수행되었습니다.

요 약

서보 모터는 컴퓨터와 센서로부터 오는 지령에 대해 높은 위치 정밀도와 정확한 속도제어가 가능해 자동화 시스템에서 중요한 부분으로 사용된다. 본 논문에서는 선형추진 BLDC모터로부터 얻어지는 파라미터를 추정하여 정현여자에 의해 구동되는 방식을 제안했다. 파라미터 추정은 제어기의 게인 튜닝과 외란 관측기를 통해 이루어졌다. 이러한 것을 가능하게 하기 위해 DSP(TMS320F240)를 사용하여 시스템을 구성 하였으며 FOC(Field Oriented Control)방식을 적용하였다. 본 시스템에 사용된 TMS320F240은 A/D Converter와 PWM 발생부, 다수의 IO Port를 내장하고 있어 서보모터 제어에 유용하게 사용될 수 있는 프로세서이다.

ABSTRACT

Servomotors are used as key components of automated system by performing accurate positioning, accurate speed regulation, and precise motion control in response to commands from computers and sensors. Especially linear brushless servomotors have numerous advantages over ball screws, timing belts, rack/pinion drives and friction drives compared with rotary servomotors. This paper proposes the estimation of unknown parameters from the linear brushless DC motor which is operated by sinusoidal commutation. The estimated parameters are used to tune the controller gain and disturbance observer. In order to agree with this purpose, Digital Signal Processor(TMS320F240), developed for implementation of a speed Field Oriented Control(FOC), adopted in this study. The processor playing an important role in controller has A/D converters, PWM generators, riched I/O port internally.

키워드

linear brushless servomotor, estimation, FOC

1. 서 론

현대의 산업사회에서 기계와 전자가 밀접한 상호연관성을 지님에 따라 전자공학에서 기계를 제어하는 메카트로닉스 산업이 중심적 테마가 되어

가고 있으며 공작기계, 크레인, 자동문, 컴퓨터의 주변기기에 이르기까지 다양한 전자적 제어의 액츄에이터로서 선형전동기가 사용되고 있다.[1] 선형전동기는 일반 회전형 전동기에 비해 직선구동력을 발생시키는 특유의 추력이 있어 기계적인

입력 u 를 구성하는 K_p , K_i 의 조건식은 아래와 같이 구해진다.

$$K_p = -\frac{\lambda_1 + \lambda_2 + a_{22}}{a_{23}}, \quad (11)$$

$$K_i = -\frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2}{a_{23}}$$

식 (11)에서 안정한 극점 λ_1, λ_2 를 때 입력 이득 값을 구하였다.

정밀한 위치제어를 위하여 현 지점과 목표지점 간의 오차를 구하여 위치를 추종하기 위한 속도를 프로파일링하였다. 이론상으로는 속도에 대한 적분 값을 이용하여 위치를 구할 수 있으나, 마찰, 부하 등의 외란으로 인하여 오차가 발생하므로 초기에는 속도 프로파일을 추종하며 목표지점과 현 지점의 오차가 일정 거리 이내에 들면 P제어기와 PI 제어기를 병행하여 실행하였고, 가속구간에는 Trapezoidal 프로파일과 S-curve 프로파일을 사용하였다. 16bit 프로세서의 경우 연산능력의 한계로 인하여 프로파일 할 수 없는 상황이 발생하므로 본 논문에서 시간에 따른 가속시간과 감속시간을 모두 결정하여 프로파일하지 않고 가속구간만을 시간에 따라 프로파일링한 후 정속구간에서 감속구간으로의 진입은 전적으로 위치 오차에 의한 제어기에 할당함으로써 목표위치에 빠르고 정확하게 수렴할 수 있도록 하였고, 시간에 따른 제약도 없었다.

4. 선형추진 BLDC 전동기 파라미터 추정

스텝응답으로부터 시스템의 다이내믹을 유도하기 위해 최적제어에서 적용되는 기법을 파라미터 추정방법에 적용할 수 있다.

$$\hat{y}_i = a_0 + a_1 x_i$$

$$e_i = y_i - \hat{y}_i = y_i - a_0 - a_1 x_i$$

$$\min_{a_0, a_1} \varepsilon = \sum_{i=1}^5 e_i^2 = (y_i - a_0 - a_1 x_i)^2$$

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = 0 \rightarrow \hat{a}_0 = \frac{S_{xx}S_y - S_{xy}S_x}{rS_{xx} - (S_x)^2}$$

$$\hat{a}_1 = \frac{rS_{xy} - S_xS_y}{rS_{xx} - (S_x)^2}, \quad (12)$$

$$S_x = \sum_{i=1}^r x_i, \quad S_{xx} = \sum_{i=1}^r x_i^2,$$

$$S_y = \sum_{i=1}^r y_i, \quad S_{xy} = \sum_{i=1}^r x_i y_i$$

본 논문에서는 식(12)를 이용하여 선형 BLDC 전동기의 파라미터를 추정한다. 그러나 이 방법은 모든 다이내믹이 선형이라는 가정 하에서 출발한다. 우선 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 사용자가 설정한 가상의 파라미터를 식(12)를 이용하여 추정한 후 시뮬레이션 상에서 비교 분석하는 과

정을 통해 추정될 파라미터의 신뢰성을 향상시킨다. 그 다음 시뮬레이션에서의 신뢰성이 확보되면, 같은 방법으로 여기서 설정된 적절한 이득을 실제 선형 BLDC 전동기의 이득으로 설정하고 속도 스텝지령을 인가하여 식(12)에 의한 파라미터 추정기법을 시스템에 적용하였다.

그림 2, 그림 3은 이러한 방법으로 추정한 파라미터를 다시 시뮬레이션의 모델로 재설정하고 스텝속도 500mm/sec와 1000mm/sec를 주었을 때 나타나는 속도응답곡선을 보여주고 있다.

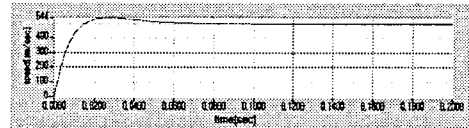


그림 2 스텝속도 500mm/sec 시의 속도파형(시뮬레이션)

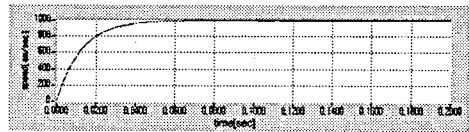


그림 3 스텝속도 1000mm/sec 시의 속도파형(시뮬레이션)

그림 4, 그림 5는 추정된 파라미터로 실제 선형 BLDC 전동기의 이득을 결정하고 시뮬레이션과 동일한 조건하에서 스텝 속도 500mm/sec와 1000mm/sec를 인가했을 때의 출력결과를 보여주고 있다.

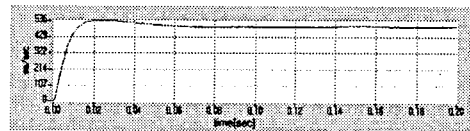


그림 4 스텝속도 500mm/sec 시의 속도파형(선형 BLDC)

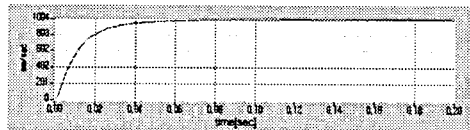


그림 5 스텝속도 1000mm/sec 시의 속도파형(선형 BLDC)

Linear regression 방법에 의해 추정된 파라미터는 다음과 같다.

$x = w$
 $w = -17.5w + 11200i_a + 0$
 여기서, $T_L = 0$, 단위는 ω [mm/sec], i_a [A]이다.

5. 실험결과

본 논문에서 사용된 선형 BLDC 전동기의 파라미터를 추정하고 제어기의 이득을 결정하며, 가동자의 전류와 고정자의 전류를 독립적으로 제어하는 벡터제어를 적용하였을 때의 실험 결과를 나타내었다.

그림 6은 지령속도를 1000mm/sec로 설정하고, Trapezoidal 속도 프로파일 및 PI 위치제어를 적용하였을 경우의 지령속도 그래프이다. 그림 7은 선형 BLDC 전동기가 속도 프로파일을 추종하는 모습을 나타낸다.

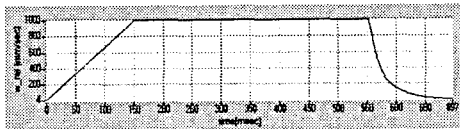


그림 6 지령속도 1000mm/sec 일 때 속도 프로파일

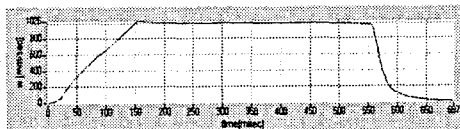


그림 7 선형 BLDC 전동기의 추종 그래프

그림 8은 선형 BLDC 전동기에 위치지령을 연속적으로 주었을 때의 지령속도 그래프를 나타내고 있다. 지령속도는 1000mm/sec로 하였으며 계속하여 100mm(A), 250mm(B), 450mm(C)의 위치로 이동하도록 명령을 인가하였다. 그림 9는 실제 선형 BLDC 전동기의 추종속도 그래프이다.

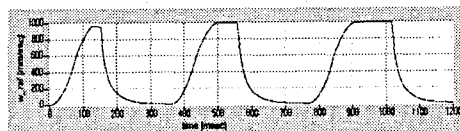


그림 8 연속위치지령을 인가하였을 경우의 속도 프로파일

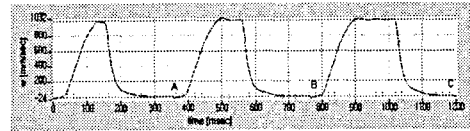


그림 9 선형 BLDC 전동기의 추종그래프

그림 10은 연속적으로 이동할 위치를 각각 500mm(A), 150mm(B), 300mm(C)로 설정하고 지령속도를 1000mm/sec로 하였을 경우의 지령속도 그래프이다. 그림 11은 실제 선형 BLDC 전동기의 추종속도를 보여주고 있다.



그림 10 연속위치지령을 인가하였을 경우의 속도 프로파일

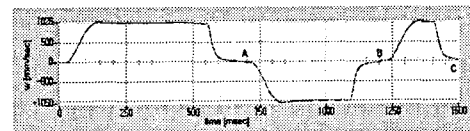


그림 11 선형 BLDC 전동기의 추종그래프

6. 결론

본 논문은 선형 브러시리스 직류전동기를 대상으로 하였으며 고속성과 정밀성을 실현하고 안정된 제어시스템을 구현하기 위해 유연한 속도프로파일을 적용하였으며 디지털 PI 위치제어기를 설계하였다. 시스템의 파라미터를 동특성 상태방정식을 이용한 파라미터 추정방법과 선형화기법의 하나인 Linear regression을 이용하여 저차의 선형시스템으로 근사화시키고 실제 시스템에 적용하여 특성을 보다 개선시키고자 하였다.

참고문헌

- [1] I. Boldea S.A. Nasar, "Linear Motion Electromagnetic Systems", John Wiley & Sons, Inc. , pp2, 1985
- [2] 최중경, "서보기기 제어특론 I" 창원대학교 대학원, 1999
- [3] 최태희, "리니어 모터의 최적설계 및 정밀 위치제어", 1993