

DFT에 의한 회전자 위치 검출 방법을 사용한 레졸버 인터페이스

이사영*, 황락훈**, 김화수**, 김길동***, 이한민***, 이장무***, 최기수****, 엄주경****
 명지전문대*, 세명대학교**, 한국철도기술연구원***, 인텍FA****

The Resolver Interface using a Rotor Position Detector Method with DFT

Sa-Young Lee*, Lark-Hoon Hwang**, Hwa-Soo Kim**, Gil-Dong Kim***, Han-Min Lee***, Jang-Moo Lee***, Gi-Su Choi****,
 Ju-Kyoung Eom****
 Myongji College*, SeMyoung University**, Korea Railroad Research Institute***, Intech-FA****

Abstract - 전동기를 제어하기 위한 속도를 검출하는 장치로 광학식 엔코더를 일반적으로 많이 사용하고 있으며 레졸버는 구조적으로 엔코더를 전동기에 장착하기가 어려운 경우에 사용하고 있다. 때문에 레졸버는 엔코더와 비교하여 가격면에서 불리하지만 회전자의 절대위치를 검출하기 때문에 자극의 위치를 기준으로 제어하는 경우에 유용하다. 본 연구는 레졸버에 의하여 전동기의 회전속도를 검출하는 방법으로 최소한의 하드웨어인 필터를 사용하고 프로그램에 의한 디지털방법의 속도검출기에 관한 것이다.

1. 서 론

전동기를 제어할 때 회전정보는 정밀하고 빠르게 검지되어야 한다. 속도검출장치는 저렴한 가격과 회전자의 위치와 속도를 정확하게 측정하고 융통성 있는 제어방법을 허용하여야 한다. 회전하는 장치의 제어에 있어서 회전하는 축에 설치한 검출장치에 의하여 회전체의 움직임 또는 회전위치를 정확하게 측정하여야 한다. 이러한 방법으로 채택되고 사용되어 온 검출기로 레졸버와 엔코더가 있으며 이 검출기들은 서로 장점과 단점을 갖고 있다.

레졸버와 엔코더는 절대위치에 대한 직접검지기능의 가능여부로 근본적인 차이로 구분될 수 있다. 레졸버는 회전자의 절대위치를 직접적으로 검지하여 회전자의 위치변화에 의하여 회전방향과 회전속도를 계산하게 된다. 엔코더는 2상의 펄스에 의한 회전방향의 검지와 기준펄스의 순간으로부터 계수하는 펄스 수에 의하여 상대적인 위치를 계산하는 하여야 한다. 그렇기 때문에 엔코더를 사용한 AC 서보 등의 제어에 있어서 회전자의 절대위치의 정보제공을 위하여 별도로 3개의 엔코더 트랙을 추가된 엔코더를 사용하고 있다.

엔코더는 회전하는 디스크로부터 1회전 당 10,000펄스 이상의 높은 정밀성의 확보가 되는 특징을 갖고 있다. 레졸버는 기본적으로 A/D 변환에 의한 RD 컨버터가 사용되고 있다. 레졸버는 90도의 위상차를 갖고 설치된 두 개의 출력권선이 있고 회전축의 정보를 여자신호에 의하여 변조된 두 신호로부터 회전속도를 추정하는 방법이 일반적으로 사용되고 있다.

레졸버를 사용할 때 RD 컨버터는 up/down 카운터와 DA 변환기로 구성된 하드웨어적인 RD 컨버터가 각 메이커로부터 개발되고 소개되고 있다. 레졸버의 신호처리에 있어서 복조 후 회전자의 위치를 계산하고 속도를 추정하는 방법 추정기의 오차검출기에 복조의 기능을 갖는 방법으로 되어 있다.[3],[4],[5]

속도의 추정방법은 관측기를 사용하는 방법[1],[2]들이 알려져 있다. 제반정수의 오차가 있더라도 관측기가 추정하는 범위에서 우수한 특성을 갖게 되지만 적용하는 대상 시스템의 부하관성 또는 부하가 크게 변하는 경우는 유용하지 않게 되는 문제를 갖는다.

본 연구에서는 DFT를 사용하여 기본파를 계산하는 과정으로 복조된 2상 신호에 의하여 회전자의 위치를 직접 계산하고 PI제어기에 의하여 추정된 속도는 12비트 이상의 분해능력을 얻었다.

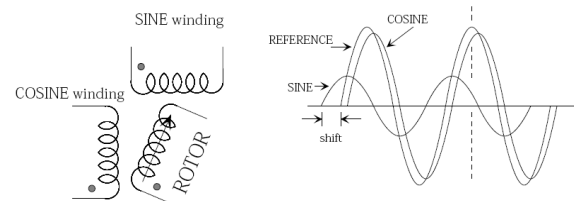
2. 레졸버 인터페이스

2.1 레졸버의 구조와 신호

회전자는 수[kHz]의 정현파에 의하여 여자 된 구조의 회전자가 되며 그림 1과 같이 회전자의 위치에 따라 두 개의 권선에서 회전자의 위치에 따른 2상의 신호를 출력하며 입력인 여자신호에 대하여 지연각을 갖고 있다. 또 어떤 순간이던 두 신호는 위치에 대한 정보를 가지고 있기 때문에 신호를 샘플링하면 회전자의 위치가 계산된다. 그러나 레졸버가 장착되는 부위는 자계 등 노이즈로부터 취약한 장소이므로 신호에 상당한 외부잡음을 고려

하여야 한다.

일반적으로 레졸버는 브러시가 없는 구조로 되어 있으며 회전변압기에 의하여 회전자권선을 여자 시키는 구조와 회전자에 권선이 없는 구조가 있다. 외부의 회로와 사용은 두 가지 모두 같은 방법으로 사용이 가능하다.



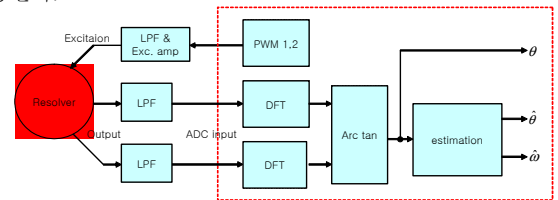
<그림 1> 레졸버와 입력력신호

2.2 여자회로와 신호처리

2.2.1 입출력회로

(1) 여자신호 : 그림 2와 같이 샘플링간격으로 변조된 PWM를 필터링하여 여자신호로 사용한다.

(2) 입력회로 : 노이즈를 제거하기위하여 차동신호입력의 필터를 사용한다.



샘플링 : 10[us], 추정주기 : 200[us]

<그림 2> 레졸버 인터페이스

ADC에 의하여 변환되어 입력 된 디지털신호에 의하여 회전자의 위치와 속도를 계산 혹은 추정하여 전동기의 제어에 사용한다.

2.2.2 회전자의 위치계산

DFT에 의한 k차 고조파는 실축과 허축성분으로 식(1)로 나타내어진다.

$$X(k) = ReX(k) + jImX(k) \quad (1)$$

그림 1의 여자전류를 기준으로 한 레졸버의 출력신호는 식(1)에 의하여 기본파는 식(2)로 계산된 크기와 위상을 갖게 된다.

$$\begin{cases} ReX(1) = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cos(2\pi n/N) \\ ImX(1) = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \sin(2\pi n/N) \\ Mag[X(1)] = \sqrt{ReX(1)^2 + ImX(1)^2} \\ \phi[X(1)] = \tan^{-1} \frac{ImX(1)}{ReX(1)} \end{cases} \quad (2)$$

그림 1의 레졸버 출력은 2상의 신호이므로 한 개는 sin, 다른 한 개는 cos파형으로 두 개의 신호이므로 식(3)에 의한 회전자의 위치를 계산한다. 식(3)은 식(4)와 같이 계산되어도 되므로 그림 1에서 여자신호에 대한 출력신호의 지연은 회전자의 위치에 영향을 주지 않는다.

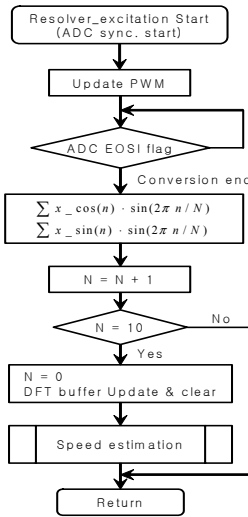
$$\theta = \tan^{-1} \frac{\text{Mag}[X(\sin)]}{\text{Mag}[X(\cos)]} \quad (3)$$

$$= \tan^{-1} \frac{\text{Re}X(\sin)}{\text{Re}X(\cos)} \quad (4)$$

레졸버 신호의 복조는 식(2)의 실수축 성분의 계산으로 완성되며 푸리에 급수에 의한 방법이라도 지연이 없는 필터효과를 기대할 수 있다. 따라서 식(4)에 의하여 계산된 회전자의 위치는 전동기의 제어에 직접 사용한다.

2.3 회전속도의 추정

그림 3의 순서도로 레졸버를 여자 시키고 출력신호를 입력하여 파형의 기본파를 계산한다. 속도의 추정프로그램에서 식(4)에 의한 회전자의 위치를 계산한다.



〈그림 3〉 프로그램 순서도

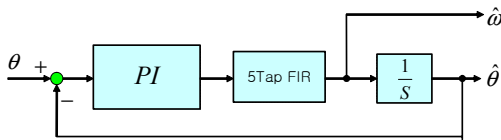
회전속도의 추정방법은 관측기를 이용하는 방법과 관측기를 사용하지 않는 방법들이 소개되고 있다. 관측기를 사용하는 경우 부하 또는 관성이 변하는 시스템일 때 관측기의 상수가 변하게 되고 사용하고자 하는 대상의 장치가 달라지면 상수를 변경시켜야 하므로 범용의 속도검출방법이 되지 않는다. 따라서 부하 및 관성을 고려하지 않는 RD 컨버터에서는 관측기를 사용하지 않는 방법들이 사용되고 있다. 본 연구에서도 속도의 추정을 PI제어기에 의한 방법을 사용한다. 회전자의 위치변화와 속도는 식(5)의 관계를 갖는다.

$$\frac{d\theta}{dt} = \omega \quad (5)$$

식(5)에서 식(4)로 계산된 회전자의 위치와 추정값의 회전자오차가 0이 되도록 PI제어기에 의하여 속도를 추정한다

$$\frac{d\hat{\theta}}{dt} = (k_p + \frac{k_i}{s})(\theta - \hat{\theta}) \quad (6)$$

이 되며 그림 2의 속도추정기는 그림 4에 의한 방법을 사용한다.

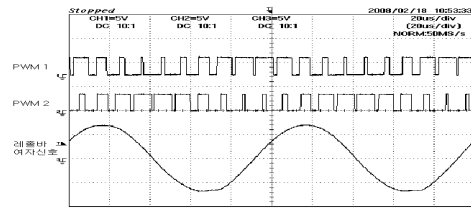


〈그림 4〉 속도 추정기

3. 추정기의 이득조정과 측정

그림 5는 PWM 출력과 필터 후 레졸버에 가해지는 여자신호를 측정하는 것이다. 샘플링은 10[us]이고 여자신호의 주파수는 10[kHz]로 하였다. 속도추정기의 PI이득을 조정하기 위하여 그림 4의 입력인 회전자의 위치를 변화시켜 응답을 관찰하였다. 속도와 위치는 최대값을 5[V]로 하여 측정하였다. 그림 6은 측정범위를 ±1200[rpm]으로 하고 속도의 스텝변화에 대한 추정기의 응답을 그림 7은 속도를 가속과 감속했을 때 속도와 위치의 추정을 측정하는 것이다. 그림 8은 정지 상태에서 정밀성을 관찰한 것이며 16비트 데이터에서 속도는 하위 6비트, 위치는 하위 4비트를 측정하였다. 속도는 12비트, 회전자의 위치추정은 15비트정도의 정밀

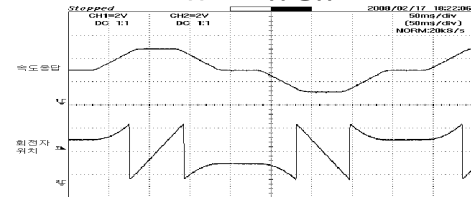
성을 보이고 있다. 실험결과 추정기의 이득을 낮출수록 응답성은 저하되지만 정밀성이 향상됨이 관찰되었다.



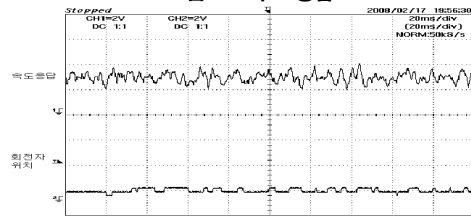
〈그림 5〉 레졸버의 여자신호



〈그림 6〉 스텝 응답



〈그림 7〉 속도 응답



〈그림 8〉 회전자가 정지했을 때 출력

4. 결 론

제어기에서 프로그램에 의하여 속도를 변화시키는 방법으로 스텝응답을 측정하였다. 응답을 관찰하면서 속도추정기인 PI제어기의 이득을 결정하였다. 속도추정기의 이득은 응답성과 정밀성이 관계된다. 전동기 제어프로그램의 일부분으로 사용하였으나 속도검출기 전용의 경우와 같이 샘플링간격을 짧게 할 수 있다면 더욱 정밀성의 향상이 가능할 것이다. 실험 결과 속도 추정기로서 넓은 범위의 피드백 이득범위를 갖는 안정성 및 빠른 수렴의 특징이 확인 되었다.

AD변환된 데이터를 DFT에 의하여 기본파를 얻고 이에 의한 계산으로 위치정도는 12비트이상의 정밀도가 얻어졌다. 부하의 조건과 관계없는 속도의 추정이므로 범용의 속도검출기 또는 부하 및 관성이 변하는 장치에 응용이 가능한 방법이다.

[참 고 문 헌]

- [1]George Ellis, Jens Ohno Krah, "Observer-based Resolver Conversion in Industrial Servo Systems.", PCIM 2001, 2001.
- [2]Reza Hoseinnezhad, Peter Harding "A Novel Hybrid Angle Tracking Observer for Resolver to Digital Conversion.", 44th IEEE Conference on Decision & Control, and the European Control Conference, pp7020-7025, 2005.
- [3] Texas Instruments, "TMS320F240 DSP Solution for Obtaining Resolver Angular Position and Speed.", Application Report SPRA605, February 2000.
- [4] Analog Devices, "12-Bit R/D Converter with Reference Oscillator.", Analog Devices, 2003.
- [5] Tamagawa-seik, "高速、デジタル・トラッキング方式、絶対値角度検出 10/12ビット レゾルバ/デジタル変換IC", <http://www.tamagawa-seiki.co.jp/pdf/1591n3j.pdf>