

회전자 위치와 속도검출을 위한 레졸바 인터페이스

이사영, 김영춘*, 김길동**, 이한민**, 이장무**
 명지전문대, 공주대학교*, 한국철도기술연구원**

Resolver Interface for Rotor Position and Speed Detect

Sa-Young Lee, Young-Choon Kim*, Gil-Dong Kim**, Han-Min Lee**, Jang-Moo Lee**
 Myong Ji College, Kongju National University*, Korea Railroad Research Institute**

Abstract - 레졸바는 엔코더에 비하여 가격면에서 유리하지 않다. 그러나 절대위치를 검지해야 하는 경우와 기계적으로 견고해야 하는 장소에서 정교한 제어에 사용되고 있다. 레졸바에 의한 위치와 속도검출 방법은 일반적으로 관측기를 응용하고 있으며 아날로그신호를 처리해야 하는 부분을 갖고 있다. 본 연구에서는 레졸바의 출력신호를 위치정보인 cos과 sin파형으로 복조하고 복조된 아날로그신호를 제어기에 전송하는 방법을 사용하였다. 제어기의 프로그램에 추정기를 설계하고 극 저속에서 그 동작을 관찰하였다.

1. 서 론

위치 및 속도검출에 있어서 정밀한 측정은 제어기의 성능을 좌우하는 중요한 요소가 되고 있으며 이들의 측정은 매우 중요하다. 전동기의 회전자 위치와 속도검출에 일반적으로 광학방법의 엔코더를 주로 사용하고 있으며 진동 등이 심한 경우에는 자기적 방법에 의한 엔코더를 주로 사용하고 있다. 회전자의 위치검출기로 절대위치를 검지하는 기능을 가지며 펄스 수에 의하여 계산을 해야 하는 엔코더에 비하여 저속일수록 적합한 검출기로 사용되고 있다.

레졸바는 수[kHz]이상의 여자전압을 가하고 출력은 2상인 cos, sin 정보가 여자전압으로 변조된 파형을 출력한다. 이 파형으로부터 위치와 속도를 얻기 위한 기능의 IC들이 여러 메이커에서 공급하고 있다. 이 검출기들은 매우 정밀한 위치와 속도를 측정한다고 소개가 되고 있으며 제어기와는 직렬통신의 인터페이스를 일반적으로 권장하고 있다.[4],[6]

위치와 속도는 관측기를 사용하여 추정하는 방법들이 사용하고 있고 위상오차검지 및 복조부분에 하드웨어에 의존함으로써 속도와 정밀성을 확보하는 방법도 사용하고 있다.[1],[2]

노이즈에 대한 대책으로 디지털 필터의 사용과 DSP 마이크로 콘트롤러에 의한 방법[3]도 제시되고 있다.

본 연구는 아날로그 신호로 제어기와 연결하는 방법을 사용하였다. 레졸바의 출력신호에서 회전자의 위치정보인 2상 출력의 cos, sin 파형으로 복조하여 제어기의 A/D변환기로 입력한다. 디지털신호로 변환된 데이터에 의하여 위치를 계산하고 제어기의 프로그램으로 위치와 속도를 추정하는 관측기를 사용하였다.

2. 레졸바 인터페이스

2.1 레졸바의 구조

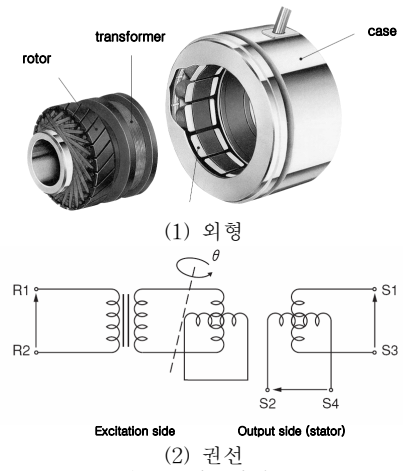
레졸바는 회전자의 절대위치를 측정할 수 있으며 기본적으로 회전기와 같은 구조로 되어 있다. 사용된 레졸바의 구조는 그림 1과 같다.

고정자에는 여자권선과 출력권선이 있고 고주파수의 교류로 여자시키고 출력권선에 같은 주파수의 교류전압을 유기시킨다. 출력전압은 회전자의 각(위치)에 따라 변화하는 2상이 변조된 출력을 하며 이로부터 회전자의 위치를 계산한다. 그림 1의 (2)는 레졸바에 대한 회로를 나타낸 것이며 R1-R2에 여자전압을 인가한다. 출력권선은 S1-S3과 S2-S4로 회전자의 위치에 따라 다른 전압을 출력한다. 여자전압과 출력에 대하여 사용된 레졸바는 카타로그에서 다음 식(1)로 제시하고 있다.

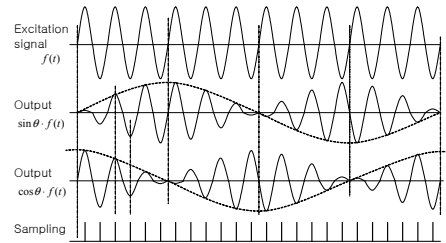
$$\begin{cases} E_{R-2} = E \sin \omega t \\ E_{S1-3} = KE_{R-2} \cos \theta \\ E_{S2-4} = KE_{R-2} \sin \theta \end{cases} \quad (1)$$

$K =$ 여자변압기의 권수비

그림 2는 레졸바의 회전자가 회전하고 있을 때 출력파형을 나타낸 것이다. 입력인 여자전압으로 변조된 출력을 하고 있고 위치의 정보는 출력파형에 포함하고 있다. 따라서 그림 2와 같이 출력파형의 최대값을 샘플링할 수 있다면 이 전압으로 회전자의 위치를 계산할 수 있는 2상 출력을 얻을 수 있다.



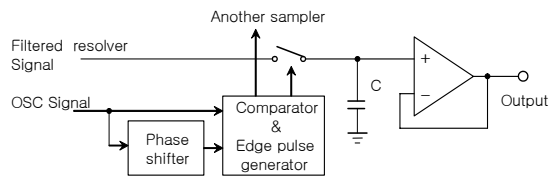
<그림 1> 레졸바의 구조



<그림 2> 레졸바의 입출력과 샘플링

2.2 검출기의 설계

여자전압은 정현파를 사용하도록 되어 있으므로 원 브리지에 의하여 정현파를 발생하고 이를 증폭하여 여자전원으로 사용한다. 레졸바는 전력변환기에 의하여 구동되는 전동기에 부착되어 누설자속 등에 의한 노이즈가 포함하는 신호를 출력하므로 노이즈를 제거하기 위한 필터와 차동입력회로를 필수적으로 사용해야 한다. 따라서 여자신호와 출력신호는 위상지연이 있게 되고 사용되는 필터의 전달함수에 관계없이 최대출력전압이 샘플링되어야 하지만 이번 연구에서는 그림 3과 같은 블록을 사용하여 고정된 필터에 대하여 동작하는 회로를 설계하였다.



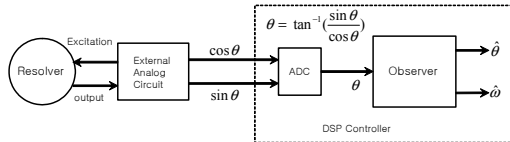
<그림 3> 샘플링 회로

그림 3에서 레졸바의 출력은 필터를 사용하기 때문에 여자전압 파형에 대하여 지연된 신호가 된다. 최대값을 샘플링하려면 필터의 지연을 고려한 샘플링펄스가 요구되므로 위상 시프터를 사용한다. 여자전압 파형을 펄스의 발생시점까지 위상을 이동시키고 이 파형을 정형하여 샘플링펄스를 발생시킨다.

레졸바로부터 얻어진 \cos, \sin 파형은 차동신호로 제어기에 전달되고 A/D변환기에 의하여 디지털신호로 변환된다. 제어기에서는 프로그램에 의하여 회전자의 위치와 회전속도를 계산하면 되며 회전자의 위치 계산은

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{\sin\theta}{\cos\theta}\right) \quad (2)$$

로 된다. 식(2)에 의한 회전자의 위치는 노이즈가 포함되어 있으므로 위치정보는 부정확성을 배제할 수 없다. 그러므로 본 연구에서는 그림 4와 같이 위치와 속도를 추정하는 방법을 사용하였다.



<그림 4> 위치와 속도의 추정

2.3 속도의 추정

회전자의 위치와 속도를 추정하는 방법은 전동기의 운동방정식으로부터 도출해야 한다. 관성을 갖는 회전체에 대하여 전동기는 식(3)으로 표현된다.

$$\begin{cases} \frac{d\theta}{dt} = \omega \\ \frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J}(T - T_L) \end{cases} \quad (3)$$

식(3)에서 측정이 가능한 변수는 식(2)로 계산된 회전자 위치이므로 위치를 수렴하는 관측기를 설계할 수 있다. 식(3)의 두 번째 속도 식은 회전체의 관성과 전동기의 토크 및 부하토크를 포함하고 있으며 이에 대한 정보는 검출기에 포함할 수 없다. 따라서 관성과 토크에 관련된 항을 소거하기 위하여 식(4)와 같이 상태 제환에 PI제어기를 사용하여 위치와 회전속도를 추정하도록 한다.

$$\begin{cases} \frac{d\hat{\theta}}{dt} = \omega + g_1(\theta - \hat{\theta}) \\ \frac{d\hat{\omega}}{dt} = (g_p + \frac{g_i}{s})(\theta - \hat{\theta}) \end{cases} \quad (4)$$

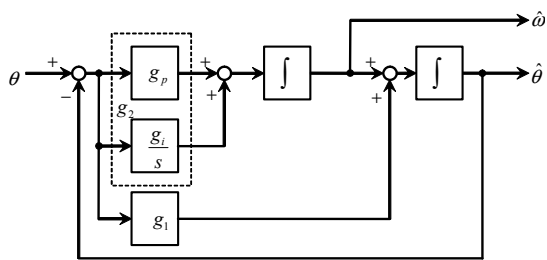
식 (4)의 두 번째식의 우변에서

$$G = g_i(\theta - \hat{\theta}) \quad (5)$$

라고 하면 식 (4)는

$$\begin{cases} \frac{d\hat{\theta}}{dt} = \hat{\omega} + g_1(\theta - \hat{\theta}) \\ \frac{d\hat{\omega}}{dt} = \hat{G} + g_p(\theta - \hat{\theta}) \\ \frac{d\hat{G}}{dt} = g_i(\theta - \hat{\theta}) \end{cases} \quad (6)$$

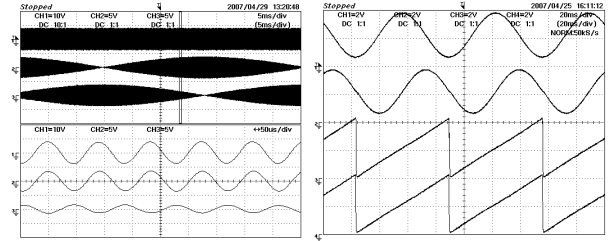
식(6)에서 \hat{G} 는 회전시스템의 관성과 회전력에 관계되는 가속도가 된다. 회전자의 위치가 정상상태에서 실제 시스템에 수렴한다고 하더라도 가속도를 정확하게 추정하지 못한다면 회전속도가 변화하는 가속과 감속상태에서는 오차를 수반하는 경우가 존재할 수 있다. 따라서 식(6)의 제환 이득은 반복실험에 의하여 정할 필요가 있다. 식(6)에 의하여 회전자의 위치와 회전속도를 추정하는 검출기의 관측기는 그림 5와 같은 블록도로 나타내어진다.



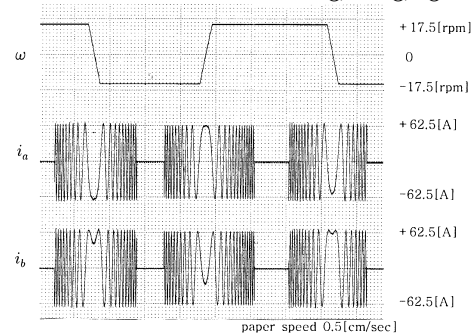
<그림 5> PI 제어기를 갖는 관측기

2.4 실험

그림 4의 블록으로 레졸바에 의한 위치와 속도를 측정하였다. 식(6)의 이득은 넓은 범위에서 안정하게 수렴함이 관찰되었다. 레졸바의 여자주파수를 11[KHz]로 했을 때 여자전압과 출력파형은 그림 6의 (1)과 같다. 하단은 상단의 일부분을 확대한 것이며 위쪽이 여자전압, 아래쪽이 2상의 출력파형이다. 그림 6의 (2)는 제어기의 변수를 출력하여 측정한 것이다. 그림 6의 (3)은 7.2 [Nms²/rad]의 관성부하와 최대 토오크가 71.2 [Nm]인 전동기를 정역운전을 할 때 극 저속상태를 측정하는 것이다. 속도파형은 17.5[rpm]으로 측정된 속도를 제한하여 기록하였다.



(1) 레졸바의 입출력파형 (2) $\cos\theta, \sin\theta, \theta$ 및 $\hat{\omega}$ 파형



<그림 6> 실험파형

3. 결 론

본 연구에서 위치와 속도를 추정하는 관측기를 사용하였으며 위치와 속도를 측정하기 위하여 사용한 레졸바의 인터페이스는 다음의 기능을 갖는 블록으로 구성하였다.

1. 레졸바를 여자시키기 위한 발진기와 아날로그 증폭기
2. 샘플러를 구동하기 위한 신호의 발생회로
3. 레졸바신호의 입력회로와 샘플링회로
4. 디지털 관측기 시스템

간단한 방법의 측정방법이며 정교한 속도검지를 확인할 수 있었다. 극 저속에서도 정밀한 측정이 가능하였다.

[참고 문헌]

[1] George Ellis, Jens Ohno Krahn, "Observer-based Resolver Conversion in Industrial Servo Systems.", PCIM 2001 Conference, June 21, 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, December 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] Analog Devices, "Using the ADSP-2100 Family Volume 1." Analog Devices, Rev 1.0, pp 51-66, 1990.
 [6] Tamagawa-seiki "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>