

레졸바 인터페이스를 이용한 회전자 위치 및 속도 검출

김영춘^{1*}

¹국립공주대학교 기계자동차공학부

Rotor Position and Speed Detect Using Resolver Interface

Young-Choon Kim^{1*}

¹Machine Car Engineering, KongJu National University

요 약 레졸바는 엔코더에 비하여 가격 면에서 유리하지는 않지만 절대위치를 검지해야 하는 경우와 기계적으로 견고해야 하는 장소에서 정교한 제어용으로 사용되고 있다. 레졸바에 의한 위치와 속도검출 방법은 일반적으로 관측기를 응용하고 있으며, 아날로그 신호를 처리해야 하는 부분을 갖고 있다.

본 논문에서는 레졸바의 출력신호를 위치정보인 코사인과 사인파형으로 복조하고 복조된 아날로그 신호를 제어기에 전송하는 방법을 사용하였다. 또한, 제어기의 프로그램에 추정기를 설계하고 극저속에서 그 동작을 관찰하였다.

Abstract Resolver doesn't have a advantage to price in comparision with encorder. However, resolver is used to the case of detecting a absoluteness position and is used to a fine control in the place of having a stability by mechanic. The position by resolver and the method by speed detecting is applied by observer and have a part of processing analog signal.

In this paper, we used the method which output signal of resolver is demodulated by cos and sin waveform and the demodulated analog signal is transmitted to controller. We designed the estimated on the program of a controller and observed the movement on the low speed.

Key Words : Resolver, Encorderm observer

1. 서론

위치 및 속도검출에 있어서 정밀한 측정은 제어기의 성능을 좌우하는 중요한 요소가 되고 있다. 전동기의 회전자 위치와 속도검출에 광학방법의 엔코더를 주로 사용하고 있으며, 진동 등이 심한 경우에는 자기적 방법에 의한 엔코더를 주로 사용하고 있다.

레졸바는 회전자의 위치검출기로 절대위치를 검지하는 기능을 가지며 펄스 수에 의하여 계산을 해야 하는 엔코더에 비하여 저속일수록 적합한 검출기로 사용되고 있으며, 수[kHz]이상의 여자전압을 가하고 출력은 2상인 코사인, 사인 정보가 여자전압으로 변조된 파형을 출력한다. 이 파형으로부터 위치와 속도를 얻기 위한 기능의 IC들이 여러 회사에서 공급하고 있다. 이 검출기들은 매우 정밀한 위치와 속도를 측정하며, 제어기와는 직렬통신의

인터페이스를 일반적으로 사용하고 있다.[1,2]

위치와 속도는 관측기를 사용하여 추정하는 방법과 위상오차검지 및 복조부분에 하드웨어에 의존함으로써 속도와 정밀성을 확보하는 방법을 사용하고 있다.[3,4]

노이즈를 해결하기 위해 디지털 필터를 사용하고—DSP 마이크로컨트롤러에 의한 방법[5]도 제시되고 있다.

본 논문은 극 저속시 모터제어 알고리즘을 위해 아날로그 신호로 제어기와 연결하는 방법을 사용하였다. 레졸바의 출력신호에서 회전자의 위치정보인 2상 출력의 코사인 파형과 사인 파형으로 복조하여 제어기의 A/D변환기로 입력한다. 디지털신호로 변환된 데이터에 의하여 위치를 계산하고 제어기의 프로그램으로 위치와 속도를 추정하는 관측기를 사용하였다. 즉, 레졸바를 사용한 속도검출로 극 저속에서 전동기를 제어하는 알고리즘과 전기제동의 방법을 연구했다. 레졸바 인터페이스 회로를 설계

*교신저자 : 김영춘(yckim59@kongju.ac.kr)

접수일 11년 09월 26일

수정일 (1차 11년 10월 04일, 2차 11년 10월 05일)

게재확정일 11년 10월 06일

하고 레졸바에 의하여 검출된 회전자의 위치를 추정하는 속도 관측기를 설계하며 극 저속에 대한 정밀한 속도를 추정할 수 있게 하였다.

2. 레졸바 인터페이스

2.1 레졸바의 구조

레졸바는 회전자의 절대위치를 측정할 수 있으며 기본적으로 회전기와 같은 구조로 되어 있어 있으며. 그림 1(a)은 레졸바의 외형을 나타냈다.

고정자에는 여자권선과 출력권선이 있고 고주파수의 교류로 여자시키고, 출력권선에 같은 주파수의 교류전압을 유도시킨다. 출력전압은 회전자의 각(위치)에 따라 변화하는 2상이 변조된 출력을 하며 이로부터 회전자의 위치를 계산한다. 그림 1(b)는 레졸바에 대한 회로를 나타낸 것이며 R1-R2에 여자전압을 인가하면, 출력권선은 S1-S3과 S2-S4로 회전자의 위치에 따라 다른 전압을 출력한다. 여자전압과 출력에 대하여 사용된 레졸바는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

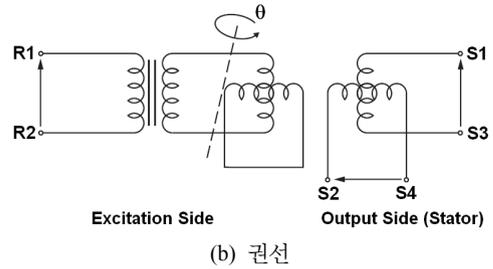
$$\begin{cases} E_{R1-2} = E \sin \omega t \\ E_{S1-3} = K E_{R1-2} \cos \theta \\ E_{S2-4} = K E_{R1-2} \sin \theta \end{cases} \quad (1)$$

여기서, K = 여자변압기의 권수비

그림 2는 레졸바의 회전자가 회전하고 있을 때 출력파형을 나타낸 것이다. 입력된 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.



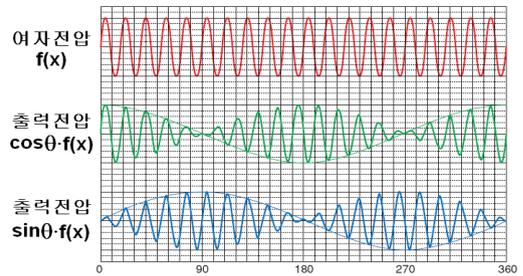
(a) 외형



(b) 권선

【그림 1】 레졸바의 구조

【Fig. 1】 Structure of resolver

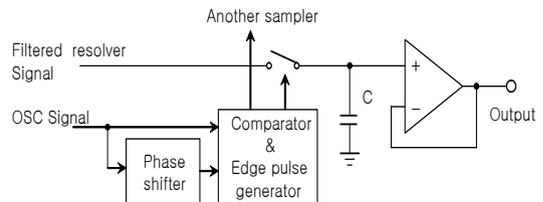


【그림 2】 레졸바의 여자전압 및 출력전압

【Fig. 2】 Excite voltage and output voltage of resolver

2.2 검출기 설계

여자전압은 정현파를 사용하도록 되어 있으므로 윈 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 본 논문에서는 그림 3과 같은 샘플링 회로를 사용하여 고정된 필터에 대하여 동작하는 회로를 설계하였다.



【그림 3】 샘플링 회로

【Fig. 3】 Sampling circuit

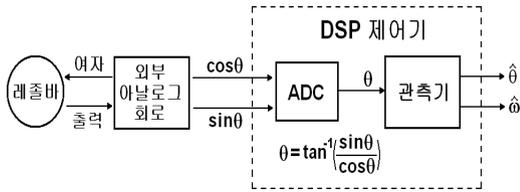
그림 3에서 레졸바의 출력은 필터를 사용하기 때문에 여자전압 파형에 대하여 지연된 신호가 된다. 최대값을 샘플링하려면 필터의 지연을 고려한 샘플링펄스가 요구

되므로 위상 시프터를 사용한다. 여자전압 파형을 펄스의 발생시점까지 위상을 이동시키고 이 파형을 정형하여 샘플링펄스를 발생시킨다.

레졸바로부터 얻어진 코사인파형과 사인 파형은 차동 신호로 제어기에 전달되고 A/D변환기에 의하여 디지털 신호로 변환된다. 제어기에서는 프로그램에 의하여 회전자의 위치와 회전속도를 계산하면 되며 회전자의 위치 계산은 식 (2)로 된다.

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

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



[그림 4] 위치와 속도의 추정
[Fig. 4] Estimate of position and speed

2.3 속도 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 궤환에 PI 제어기를 사용하여 위치와 회전속도를 추정하도록 한다.

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

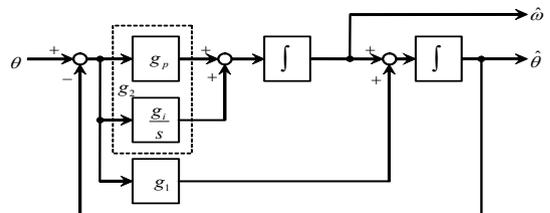
식 (4)의 두 번째식의 우변에서

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

라고 하면 식 (4)는 식 (6)과 같이 쓸 수 있다.

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

식 (6)에서 G는 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 궤환 이득은 반복실험에 의하여 정할 필요가 있다. 식 (6)에 의하여 회전자의 위치와 회전속도를 추정하는 검출기의 관측기는 그림 5와 같은 블록도로 나타내어진다.



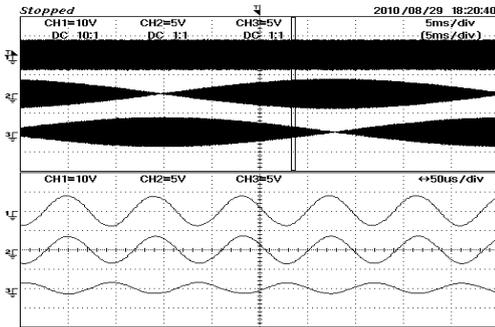
[그림 5] PI 제어기를 갖는 관측기
[Fig. 5] Observer with PI controller

2.4 실험결과

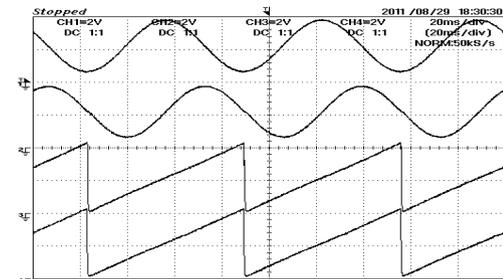
그림 4의 블록으로 레졸바에 의한 위치와 속도를 측정하였다. 식 (6)의 이득은 넓은 범위에서 안정하게 수렴함이 관찰되었다. 레졸바의 여자 주파수를 11[kHz]로 했을 때 여자전압과 출력파형은 그림 6(a)과 같다. 하단은 상단의 일부분을 확대한 것이며 위쪽이 여자전압, 아래쪽이 2상의 출력파형이다. 그림 6(b)는 정회전, 그림6(c)는 역회전의 경우로 회전속도가 빠를 때와 늦는 경우를 비교하여 측정한 파형이다. 그림 6(b)와 그림 6(c)의 측정파형

으로부터 아날로그 신호의 처리와 직접적인 각도의 계산으로도 위치정보로의 사용이 가능함이 확인된다. 전송된 아날로그 신호에 의하여 계산된 위치와 추정된 위치를 확대하였을 때 그림 (d)와 같이 측정되었으며 관측기에 의하여 노이즈의 제거가 확인되었음을 알 수 있다.

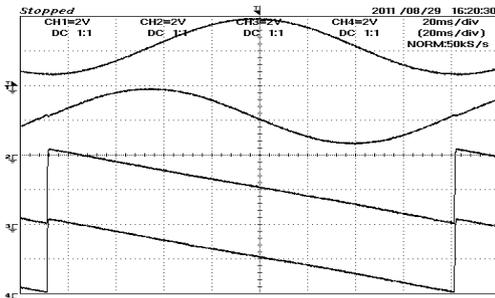
그림 6(c)는 식 (3)에서 $7.2[N \cdot m \cdot s^2/rad]$ 의 관성부하와 최대 토크가 $71.2[N \cdot m]$ 인 전동기를 정역운전을 할 때 극 저속상태를 측정한 것이다. 속도파형은 $17.5[rpm]$ 으로 측정된 속도를 제한하여 기록하였다.



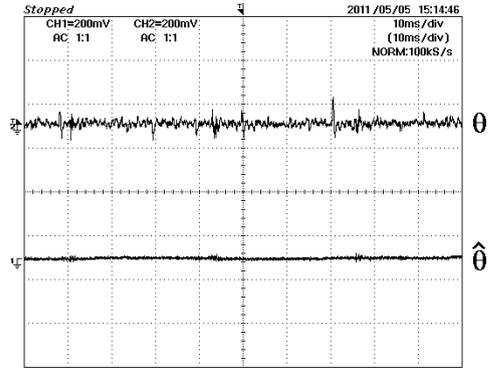
(a) 레졸바의 여자전압과 출력



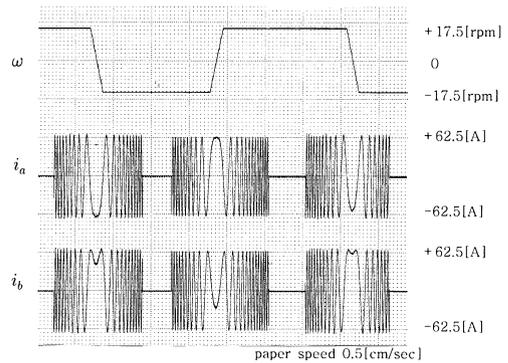
(b) 정회전의 경우 위치추정



(c) 역회전의 경우 위치추정



(d) 계산된 위치와 추정된 위치



(e) 정역순간의 속도검출(높은 가속도)

[그림 6] 실험파형

[Fig. 6] Experiment waveform

3. 결론

본 논문에서 위치와 속도를 추정하는 관측기를 사용하였으며, 위치와 속도를 측정하기 위하여 사용한 레졸바의 인터페이스는 레졸바를 여자시키기 위한 발진기와 아날로그 증폭기, 샘플러를 구동하기 위한 신호의 발생회로, 레졸바 신호의 입력회로와 샘플링회로, 디지털 관측기 시스템을 구성하여, 간단한 방법의 측정방법으로 정교한 속도검지 뿐만 아니라 극 저속에서도 정밀한 측정이 가능하였다.

정지순간 제동 토크의 감소율의 조절은 차량의 승차감에 따라서 정해야 하며, 전기제동으로 감속할 때 정토크 영역의 제동력에 따라 정지순간 제동 토크를 감소시키는 속도는 $10[rpm]$ 이하에서 실험한 결과 레졸바를 사용한 회전자의 위치와 속도를 추정하는 관측기에 의한 극 저속에서의 속도를 검출하는 방법 제안하였다.

References

- [1] Analog Devices, “12-Bit R/D Converter with Reference Oscillator.”, Analog Devices, 2003.
- [2] George Ellis, Jens Ohno Kraha, “Observer-based Resolver Conversion in Industrial Servo Systems.”, PCIM 2001 Conference, June 21, 2001
- [3] 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.
- [4] Texas Instruments, “TMS320F240 DSP Solution for Obtaining Resolver Angular Position and Speed.”, Application Report SPRA605, February 2000.

김 영 춘(Young-Choon Kim)

[정회원]



- 1989년 8월 : 명지대학교 전기공학
학과 (공학석사)
- 1997년 2월 : 명지대학교 전기공학
학과(공학박사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 공주대학
교 기계자동차 교수

<관심분야>

전기자동차전력변환, 전장제어, 하이브리드자동차,