

초정밀 위치제어를 위한 새로운 디지털 아날로그 혼합형 엔코더

*박종원, *홍정표, **박성준, *권순재, **손무현, **김종달, **김규섭
*부경대학교 기계과, **동명대학 전기전자자동화정보계열

A novel encoder of digital and analog hybrid type ofr servo control with high-precision resolution

*Jong-Won Park, *Jeng-Pyo Hong, **Sung-Jun Park, *Soon-Jae Kwon, **Sohn-Mu Heon, **Jong-Dal Kim, **Gyu-Seob Kim
*PuKyong National University, **TongMyong College

Abstract - Position controls are very important in semiconductor manufacturing devices, machine tools precision measuring instruments, etc. to measure the distance of movement of moving objects in minute units and the accuracy of measurement for the moving distance in these devices affect the performance of the whole devices. Therefore, in those precision instruments, a sensing device that can measure the distance of movement with high-precision resolution is required. In this paper, a novel encoder of digital and analog hybrid type is proposed. It is shown that from this experiment a high-resolution angle measurement device can be designed by a low cost incremental encoder.

1. 서 론

메카트로닉스 및 정밀공작기계의 발전으로 인하여 고정밀 위치제어에 대한 요구가 급증하고 있다. 특히 산업용 정밀 머신 툴, 사업 로봇, 고 정밀 위치제어장치와 같은 미소 단위로 이동하는 물체의 이동 거리나 위치를 측정하는 다양한 기기나 반도체 제조장치 등에서 고정밀도로 위치제어기기들의 위치 변위 검출에 대한 정확도는 제어기의 성능을 좌우하는 중요한 요소 중의 하나가 된다[1]. 그러므로 이러한 기기에서 위치를 고정밀도로 측정할 수 있는 센싱 디바이스의 사용은 필수적이며, 여기서 높은 정확도를 요구하는 변위량 검출을 위해서는 자기식 엔코더(magnetic encoder)보다는 광학식 엔코더(optical encoder)의 사용이 일반적이다. 일반적으로, 범용 자기식 엔코더는 주위환경에 영향을 덜 받고 수명이 긴 장점이 있으나 높은 분해능을 얻는데는 한계가 있으며 매우 고가이므로, 점점 고 정밀화 되고있는 센서에 적용하는 데에는 제약이 있다. 이에 반하여 광학식 엔코더는 먼지나 외부환경에 영향을 쉽지만, 고분해능을 달성함에 있어 많은 장점 및 경제적인 면에서 자기식 인코더에 비해 저렴한 장점으로 인하여 디지털화된 산업용기에 폭 넓게 사용되고 있다. 광학식 엔코더는 기계장치의 회전 운동이나 직선운동의 위치나 속도를 검출하기 원판형 또는 직선 스케일을 가지고 있다. 일반적인 로터리(rotary) 광학식 엔코더는 동일 원주 상에 수많은 슬릿을 두고, 외부에 발광부에서 발생하는 빛을 전기적 위상차가 90°를 갖는 2개의 수광부에서 받아 비교기를 통하여 디지털화된 신호를 카운터를 사용하여 그 위치를 측정하는 구조를 취하고 있다. 이러한 기존의 광학식 엔코더는 최대한 회절격자 수의 4배수에 해당하는 위치정보를 취할 수 있다. 따라서 위치정보의 분해능을 높이기 위해서는 슬릿의 수를 크게 하여야 하나 기계공작기술의 제약에 의해 그 한계가 있다.

본 논문에서는 기존의 저가형 광학식 엔코더의 전기적 회로 부분의 변형으로 디지털 신호 및 회절격자의 회절량에 대한 아날로그 신호를 기초로 하여 마이크로프로세스의 힘력으로 고정도의 위치를 얻을 수 있는 새로운 방식의 위치 검출기법을 제안하였다. 또한 실험을 통하여 그 타당성을 검증하였다.

2. 아날로그 디지털 혼합형 엔코더

2.1 기존의 광학식 엔코더

내광학식 엔코더의 슬롯인 회절격자는 홈(groove)이나 구멍(aperture) 등이 주기적으로 배열되어 파의 위상이나 진폭에 주기적인 변화를 일으키게 하는 광학장치이다. 이 같은 회절격자는 투과형(transmitting type)과 반사형(reflecting type)으로 분류할 수 있고, 투과형 격자는 일반적으로 홀로 그래피 기법(holographic method)을 이용하여 제작되며, 반사형은 회절격자는 광학적으로 편평한 유리 위에 코팅된 알루미늄 박막에 금을 그어 만든다.

광학식 엔코더는 투광용 광원, 수광소자, 슬릿이 있는 회전 디스크의 3가지로 구성되어 있으며, 회전 디스크를 투광용 광원과 수광소자의 중간에 넣어서 회전시키면 회전각에 비례한 펄스 출력을 얻을 수 있다.

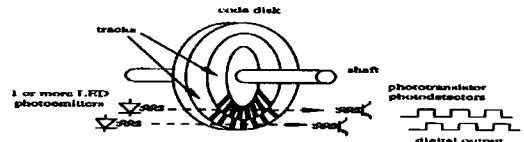


그림 1 광학 엔코더의 구조

그림 1은 투광용 광원으로 발광체를 이용하여 회전 디스크를 통과한 광선을 똑바로 수광소자에 투사되도록 한 것으로서, 고정 슬릿 판을 붙인 광학식 엔코더의 한 예를 보여주고 있다.

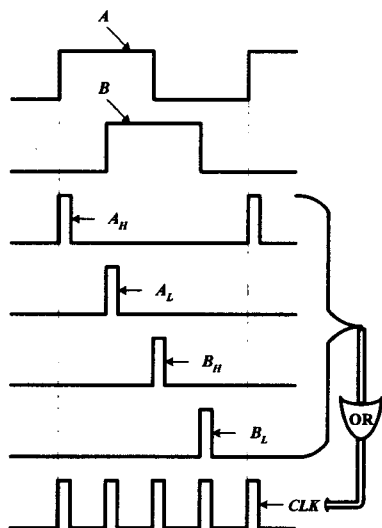


그림 2 4채배의 개념도

발광체로부터 투사된 광선은 회전 디스크의 슬릿과 고정 슬릿 판의 슬릿을 통과하여 수광소자에서 검출된다. 이때 발광소자에서 발생하는 빛이 슬릿에 통과하면서 회절현상의 영향을 최소화하기 위해 그림 1에서와 같이 두 개의 슬릿을 사용하여 하나는 고정된 외함에 다른 하나는 회전판에 부착하여 사용한다.

두 개의 수광소자에 의해 검출된 신호를 일반적으로 A , B 상으로 정의되며, A , B 상 신호로부터 4채배회로의 원리는 그림 2에 나타나 있다. 그림 2에서 A_H, A_L, B_H, B_L 는 A, B 상 신호의 상승 및 하강 에지신호를 나타내고, CLK 는 각 에지신호를 논리합의 신호를 나타내고 있다. CLK 는 위치를 나타내기 위한 카운터의 클럭으로 사용함으로써 A 상의 전기각 90° 주기로 CLK 의 한 주기가 나타나므로 4채배회로가 된다.

따라서 인코더의 회전판이 1회전 당 슬릿수의 4배의 카운터 값을 취할 수 있다.

2.2 회절격자에 의한 광의 회절

그림 3은 2층 형태의 슬릿 구조와 슬릿의 전기적 위치에 따라 발광소자의 빛이 수광소자로 통과하는 단면적을 나타내고 있으며, 그림 4는 그 때의 수광소자의 출력전압을 나타내고 있다. 그림 3(b)는 상하 슬릿의 상차각이 0° 일 때이며 이때 투과하는 빛의 양이 제일 많으며 그림 4의 출력전압이 가장 큰 b 점이 된다.

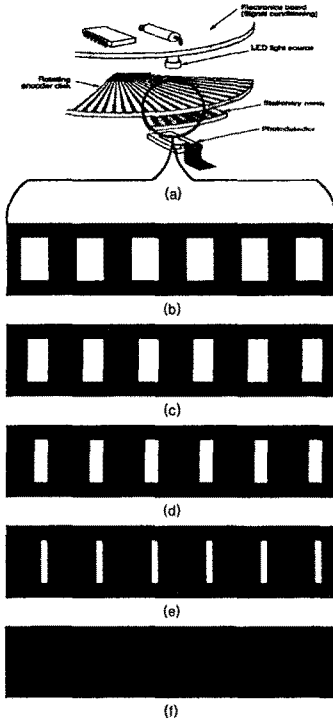


그림 3 슬릿의 전기적 위치에 따른 형상

- (a) 인코더 슬릿의 구조
- (b) 상하 슬릿의 상차각이 0° 일 때
- (c) 상하 슬릿의 상차각이 45° 일 때
- (d) 상하 슬릿의 상차각이 90° 일 때
- (e) 상하 슬릿의 상차각이 135° 일 때
- (f) 상하 슬릿의 상차각이 180° 일 때

슬릿의 위상차가 180° 내에서 커짐에 따라 투과하는 빛

의 양은 감소하게 되고, 슬릿의 위상차가 180° 에서는 투과하는 빛의 양은 영이된다. 이 수광소자의 출력전압은 슬릿의 한 피치 안에서 회전체의 위치정보를 갖고 있다. 일반적인 엔코더에서는 회전체의 회전방향 검출 및 분해능을 높이기 위해 전기각 90° 의 위치자를 갖는 두 개의 수광부를 갖고 있으며, 회전체의 위치에 따른 엔코더의 A, B 상과 4채배한 신호 및 수광소자의 출력을 저역필터를 통과시킨 파형을 그림 5에 나타내었다.

수광소자의 출력을 각각 α, β 라 하면 두 신호는 위상차 90° 를 갖는 2상 전압이 된다. 이 2상 전압에서 슬릿한 피치에 대한 위상각은 전동기의 정지 2상 좌표계에 사용한 기법을 이용하면 다음과 같이 쉽게 구할 수 있다.

$$\theta_i = \tan^{-1}\left(\frac{\alpha}{\beta}\right) \quad (1)$$

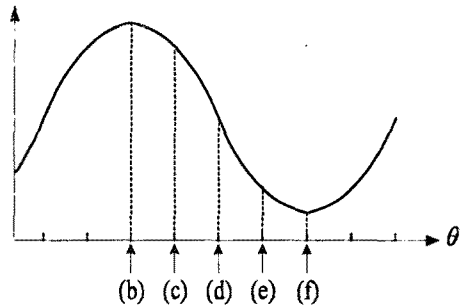


그림 4 슬릿의 전기적 위치에 따른 수광부 파형

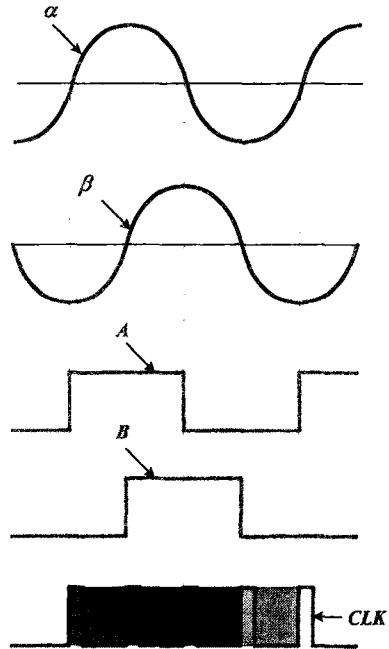


그림 5. 위치에 따른 엔코더의 A 상, B 상, 4채배한 신호 및 수광소자의 출력

식 (1)에 의해 슬릿내의 위상차를 취할 경우 \tan 의 값이 -90° 에서 수광소자의 출력을 각각 α, β 라 하면 두 신호는 위상차 90° 를 갖는 2상 전압이 된다. 이 2상 전압에서 슬릿의 한 피치내의 위상차를 계산할 수 있다.

3. 실험결과

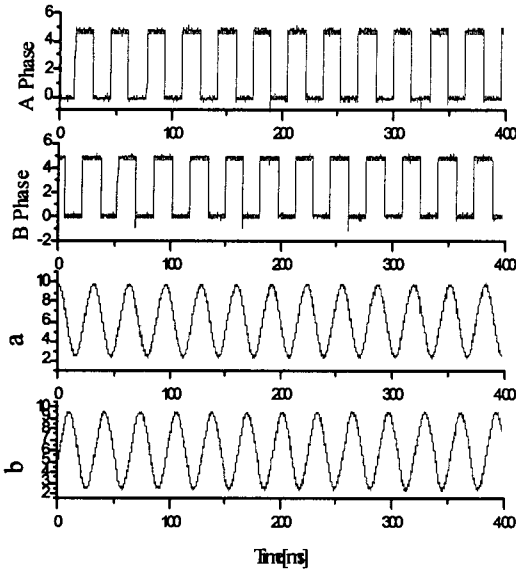


그림 6. 엔코더의 A상, B상 및 수광소자의 출력의 출력 파형

그림 6은 엔코더의 A상, B상 및 수광소자의 출력 파형으로 수광소자의 출력파형(a, b)은 엔코더의 A상, B상과 동일한 주파수를 갖는 정현적 파형을 얻을 수 있었다. 수광소자의 출력파형 a, b는 90°의 위상차를 갖고 있으나 직류 성분을 포함하고 있으며 그 크기에다 다소 차이가 발생하고 있다.

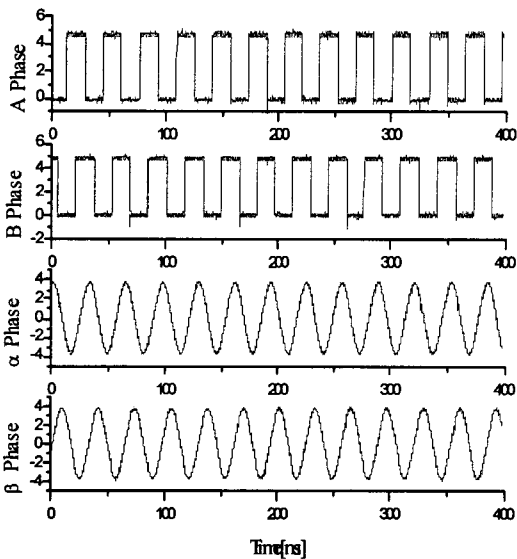


그림 7. 엔코더의 A상, B상 및 α , β 파형

그림 7은 그림 6의 직류성분과 크기의 차이가 있는 수광소자의 출력 파형으로부터 크기가 동일하고 90° 위상차를 갖는 2상 전압인 α , β 를 나타내고 있다. α 와 β 는 그림 6의 a와 b에서 직류전압을 제거하고 b값에 상수를 곱한 결과의 신호이다.

그림 8은 그림 7의 α 와 β 신호로부터 식 (1)을 이용한 위상각 신호를 나타내고 있다. 위상각 신호는 엔코더의 A상 신호주파수의 2배를 갖고 있으며 그 크기는 $-\pi$ 에서 $+\pi$ 로 α 와 β 신호의 부호를 고려하거나 엔코더의 A상, B상 신호를 참고하면 -2π 에서 $+2\pi$ 의 값을 얻을 수 있다.

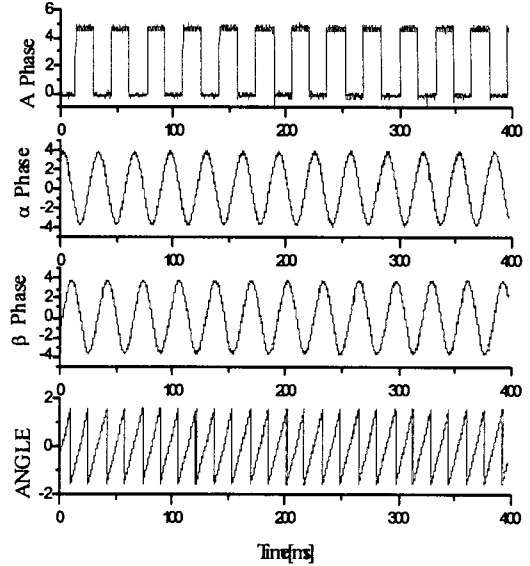


그림 8. 엔코더의 A상, α , β 파형 및 피치내의 위상각

4. 결 론

본 연구는 반도체 제조장치 등에 사용되는 고정밀도로 위치제어기기에서 높은 정확도를 요구하는 변위량 검출을 위해서 기존의 저가형 광학식 엔코더의 전기적회로 부분의 변형으로 디지털 신호 및 회절격자의 회절량에 대한 아날로그 신호를 기초로 하여 고정도의 위치를 얻을 수 있는 새로운 방식의 위치 검출기법을 제안하였다. 제안된 방법에 의해 실험을 행한 결과 엔코더의 한 슬롯내의 위치변위를 얻을 수 있었다. 슬롯내의 위치변위 분해능은 노이즈를 무시한다면 AD컨버터의 Bit수에 의해 결정된다. 본 실험에서는 DSP(TMS320F241)내의 10 Bit AD를 사용하였으며 노이즈의 영향을 저거하기 위해 상위 2 Bit를 버림으로써 기존의 저가형 엔코더(1024)에 비하여 256배의 고정도를 갖는 위치 검출기를 실현하였다.

[참고문헌]

- [1] F.Parasiliti, R.Petrella, M.Tursini, "Sensorless Speed Control of a PM Synchronous Motor by Sliding Mode Observer," ISIE'97, pp.1106-1111.
- [2] H. Le-Huy, R. Perret and R. Feuillet, "Minimization of torque ripple in brushless DC motor drive", *IEEE Trans. Indust. Applicat.*, Vol. 22, No. 4, pp. 748-755, July/Aug. 1986.
- [3] J. Y. Hung and Z. Ding, "Minimization of torque ripple in permanent magnet motors", *Proc. 18th IEEE Industrial Electronics Conf.*, San Diego, CA, pp.459-463, Nov. 1992.
- [4] D. C. Hanselman, "Minimum Torque Ripple, Maximum Efficiency Excitation of Brushless Permanent Magnet Motors", *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, Vol. 41, No. 3, pp. 292-300, June. 1994.