

증분 엔코더에서 발생하는 진동에 의한 에러와 해결방안에 관한 연구

남윤수*, 박해균#

Error in Incremental Encoder Due to Vibration and Its Solution

Yoon su Nam* and Hae kyoon Park#

ABSTRACT

Incremental encoder is a common choice for measuring the rotational angle of an axis. It produces, however, some measurement errors, if some kinds of rotational vibration are occurred. Even by increasing the number of slits on the circular peripheral, these kinds of error can not be removed. It only decreases the probability of the error being generated by making the magnitude of encoder resolution smaller than that of the axial vibration. This paper investigates the error mechanism of incremental encoder and suggests a digital logic circuit that prevents the measurement error to happen.

Key Words : Incremental encoder position error (증분엔코더 위치 에러), Counter (카운터), Amplitude of specific Vibration (특정 진동의 진폭)

1. 서론

회전체나 움직임이 있는 물체의 위치를 측정하기 위해 RVDT(Rotary Variable Differential Transformer), LVDT(Linear Variable Differential Transformer), 엔코더(Encoder)를 비롯한 다양한 센서들이 사용된다. 각 센서들은 사용되는 환경과 가격적인 면들이 고려되어 다양한 용도에 맞추어 사용된다. 경제적으로 저렴한 센서부터 고가의 센서, 정밀도가 낮은 센서에서 높은 센서까지 사용용도와 목적에 맞게 적당하게 선택되어 사용된다. 본 논문에서는 그 중 회전체나 기타 위치 측정을 위해 많이 사용되고 있는 증분 엔코더(incremental encoder)에 대해 다룬다. 엔코더 센서는 크게 증분 엔코더(incremental

encoder), 앵글루트 엔코더(absolute encoder) 그리고 세미-앵글루트 엔코더(semi-absolute encoder)로 크게 나눌 수 있다. 이 외에도 가시광선 등의 빛을 이용한 엔코더 등 다양한 엔코더들이 존재한다. 이중 절대위치를 측정 가능한 앵글루트 타입이나 세미-앵글루트 타입의 센서는 좋은 성능에도 불구하고 측정장비에서 다수의 채널이 요구되고, 경제적인 면에서 증분 엔코더에 비해 고가이기 때문에 특정한 곳에서만 사용되고 있다. 반면, 2 또는 3 개의 출력을 가지는 증분 엔코더의 경우 2 개의 입력만으로 위치를 추정할 수 있고, 나머지 하나의 출력으로 절대위치를 보상할 수 있으며, 경제적인 면에서 앵글루트 타입보다 우위에 있기 때문에 다양한 곳에서 사용되고 있다. 하지만, 이러한 증분

☞ 접수일: 2007년 10월 16일; 게재승인일: 2008년 3월 8일
* 강원대학교 기계/메카트로닉스 공학부
교신저자: 강원대학교 기계/메카트로닉스공학부 메카트로닉스 전공
E-mail: vc1001@kangwon.ac.kr Tel. (033) 253-0840

엔코더의 경우에는 3 절에서 설명된 특정 진폭의 진동에서 위치에러를 가진다. 이러한 에러를 줄이기 위한 일반적인 방법은 측정점을 다수로 하여 분해능을 높여서 에러가 발생할 확률을 줄이는 것이다. 하지만 에러가 발생할 확률이 줄었을 뿐, 근본적인 에러를 제거한 것이 아니다.

본 논문에서는 그 동안 분해능을 높임으로써 발생 확률을 줄여 부각되지 않았던 증분 엔코더에서 발생할 수 있는 문제점에 대해 다룬다. 또한, 엔코더와 엔코더의 동작원리를 이용한 센서나 계측 장비들에서 발생할 수 있는 문제를 해결할 수 있는 방법을 제시한다.

2. 증분 엔코더의 동작원리

증분 엔코더는 A, B 상의 2 개의 상을 이용하거나 또는 A, B, Z 상의 3 개의 상을 이용한다. 3 개의 상을 이용할 때는 Z 상은 기준점으로 사용하는 경우가 많다. Z 상은 증분 엔코더가 완전히 한 회전을 하게 되면 발생하게 된다. 증분 엔코더에 의해 회전체나 직선이동 하는 움직임을 측정하는 원리는 다음과 같다. Fig. 1 과 같이 검출 물체에 'High'나 'Low'로 검출되는 부분을 만들어 놓고 측정 센서를 90°의 위상차가 존재하도록 센서를 설치한다. 이때, 두 개의 출력신호 중 하나(센서 B)의 상승(하강) 모서리를 트리거 신호로 사용하게 되면, Fig. 1(a)와 같이 좌측으로 검출 물체가 이동할 때는 센서 B의 상승 모서리에서 트리거 시, 센서 A에서 출력되는 신호는 모두 'Low'값이 출력되게 된다. 반대로, Fig. 1(b)와 같이 우측으로 검출 물체가 이동할 때는 센서 B의 상승 모서리에서 트리거 시 센서 A에서 출력되는 신호는 모두 'High' 값이 출력하게 된다. 따라서 방향에 따라 트리거 시 나타나는 값이 'Low'나 'High'의 값만 출력된다. 이로써 방향을 정할 수 있다. 트리거 신호를 하강 모서리를 사용한다면 반대의 결과가 출력된다. 방향성을 측정하고 움직인 정도를 측정 하게 되면, 방향과 움직인 크기를 모두 알 수 있다. 움직임의 크기는 센서 B의 트리거 시 카운트된 센서 A의 'High'의 개수와 'Low'의 개수를 합하면 된다. 반대로, 만약 트리거 신호를 센서 A의 신호를 이용하였다면, 방향은 반대가 되고 크기는 같게 된다. Fig. 1 과 같은 원리로 증분 엔코더를 이용하여 다양한 이동에 대한 측정을 할 수 있다.

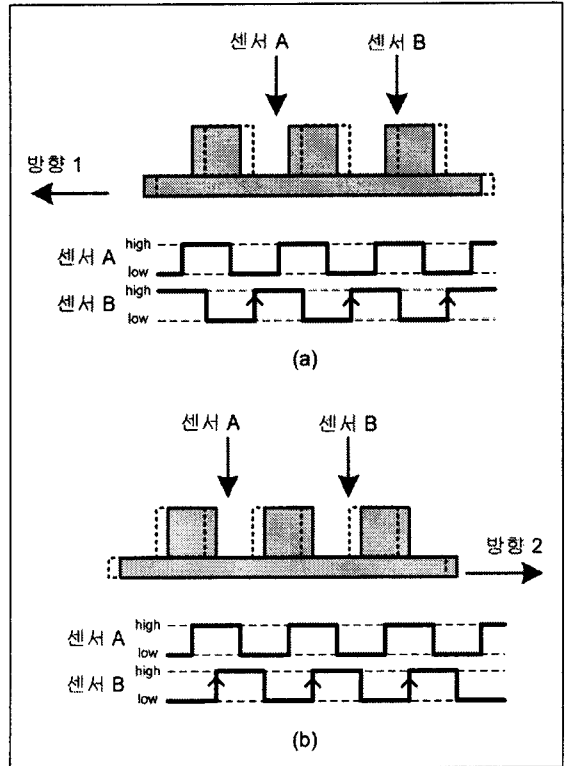


Fig. 1 The principal of incremental encoder

이제 이와 같이 기존에 사용되던 증분 엔코더에서 발생할 수 있는 문제점과 해결방안에 대해 살펴 본다.

3. 증분 엔코더의 에러

만약 'n'개의 측정위치를 가지고 'd'의 거리나 각도를 측정하는 증분 엔코더가 있다면 1 개의 펄스에 의해 측정될 수 있는 최소 거리나 각도 l_{min} 는 $l_{min} = d/n$ 이 된다. 만약, n 이 500 개이고 d 가 360° 인 회전체라면 l_{min} 은 0.72° 가 된다. 이때, l_{min} 내에는 트리거 신호로 사용할 상승(하강) 하는 모서리가 항상 하나만 존재하기 때문에 그 이하의 측정은 할 수 없다.

여기서 에러가 발생하게 된다. 만약, 검출 물체가 l_{min} 보다 작은 진폭으로 진동을 한다면 어떤 현상이 발생하겠는가? 이때, 나타나게 되는 에러에 대해서 다루어 본다. 즉, 검출 물체가 거의 정지된 상태에서 l_{min} 보다 작은 미세진동에 의해 발생하는 에러에 대해 알아본다.

3.1 특정 진동 1에서의 에러

만약 Fig. 2 와 같이 트리거 신호 B 를 기준으로 l_{min} 보다 작은 진동 1 이 발생한다면 다음과 같은 현상이 발생한다. 즉, Fig. 3(a)와 같은 신호가 출력되게 되어, 실제 검출 물체는 진동 1 의 범위에서 진동하고 있으나, 트리거 신호 센서 B 는 계속 출력하게 되어 센서 A 에서 출력하는 신호의 'High'/'Low' 상태를 계속 체크하게 된다. 따라서 계측 장비에 계속적으로 검출물체가 움직이고 있다는 잘못된 정보를 주게 된다. 따라서 정방향으로 계속 움직인단가 역방향으로 계속 움직인다는 잘못된 정보를 계속적으로 출력하게 된다.

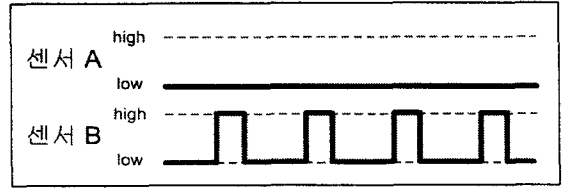


Fig. 3(a) Output signal in vibration 1(Error 1)

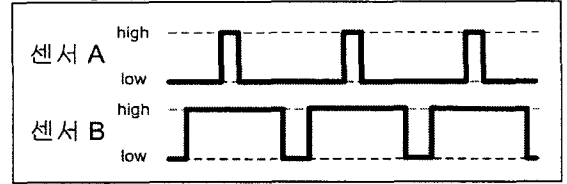


Fig. 3(b) Output signal in vibration 2(Error 2)

3.2 특정 진동 2에서의 에러

3.1 절과는 틀리게 Fig 2 에서 l_{min} 보다 작은 진동 2 와 같은 현상이 발생하게 되면, 3.1 절과는 또 다른 신호가 출력되게 된다. 진동 1 과 같은 현상에서는 트리거 신호 후 다음 트리거 신호가 나타날 때까지 검출되는 다른 신호 A 는 'High'나 'Low'중 한 신호를 유지하게 된다. 하지만 진동 2 와 같은 경우에는 트리거 신호처럼 검출되는 신호 A 또한 주기적으로 바뀌게 된다. 하지만 트리거 되는 위치(신호 B 의 상승/하강)에서는 같은 신호 'High'나 'Low'를 유지하게 되어 정/역방향으로 계속 움직이는 신호와 같은 출력을 보이게 된다. 이는 Fig 3(b) 와 같은 출력으로 나타나게 된다. 이러한 문제점들은 펄스의 수를 늘려 분해능을 높임으로써 어느 정도 개선이 가능하지만 근본적인 에러를 제거한 것은 아니다.

이제 이와 같은 문제를 해결할 수 있는 방법에 대해 4 장에서 알아 본다.

4. 해결 방안

위의 3 장에서와 같은 에러를 해결하기 위하여 D Flip-Flop 을 응용한 회로를 구성하였다. Fig 4 에 구성된 회로가 나타나 있다. 센서 A 의 출력은 그대로 사용하고, 잘못된 트리거 신호가 출력될 때, 이것을 판단하고 트리거 신호로 사용되는 출력 B 를 동작하지 않도록 B'로 변화시켰다. 또한, Fig. 1 과 같은 정상작동 시에는 아무런 영향도 미치지 않도록 하였다. 이제 구성된 회로가 정상 작동하는지 살펴 본다. 앞서 살펴본 바와 같이 검출 물체가 움직이는 3 가지 경우에 대해 살펴보고, 이때 정방향/역방향에 대한 영향을 살펴본다. 검출 물체가 움직이는 3 가지 경우는 다음과 같다.

- i) l_{min} 보다 큰 변위로 작동(정상작동)
- ii) l_{min} 보다 작은 변위 중 진동 1 의 경우
- iii) l_{min} 보다 작은 변위 중 진동 2 의 경우

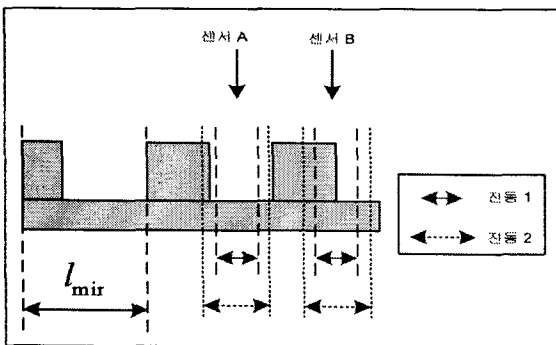


Fig. 2 Vibrations of object in minimum measurement range

Fig. 4 에서 사용된 D Flip-Flop 의 동작 특성은 PR 과 CLR 의 상태에 따라서 CLK 와 D 의 동작에 따라 출력이 결정되는 특성을 가지고 있다. 동작 특성은 Table 1 과 같다. Fig. 4 에서 좌측 두 개의 D Flip-Flop 과 주변 회로들은 진동 1 과 같은 현상을 제거하기 위한 회로이고, 우측 두 개의 D Flip-Flop 들은 진동 2 와 같은 현상을 제거하기 위한 회로이다. 그리고 이들을 적당한 논리회로와 합하면서 정상작동 시에는 영향을 받지 않고 그대로 출력하도록 구성된 회로이다. 회로 내부의 D Flip-Flop 들의 출력을 살펴보면, ①은 센서 A 가 'Low' 이면,

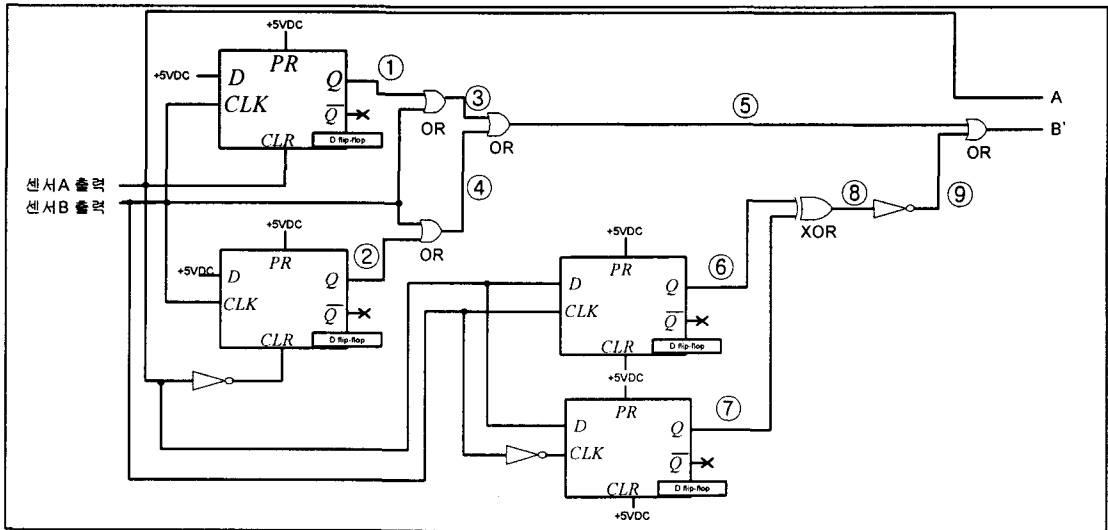


Fig. 4 The circuit of solution

Table 1 The function of D-Flip Flop

Input				Output	
PR	CLR	CLK	D	Q	\bar{Q}
L	H	x	x	H	L
H	L	x	x	L	H
L	L	x	x	H	H
H	H	Up	H	H	L
H	H	Up	L	L	H
H	H	L	x	Q ₀ (not change)	\bar{Q}_0

출력은 'Low' 이고 센서 A 가 'High'이면, 센서 B 의 상승 모서리에서 'High'상태가 된다. ②는 센서 A 가 'High'이면, 출력은 'Low'가 되고 센서 A 가 'Low'이면, 센서 B 의 상승 모서리에서 'High'가 된다. ⑥은 센서 B 의 상승 모서리에서의 센서 A 의 출력상태와 같은 출력을 가진다. ⑦은 센서 B 의 하강 모서리에서의 센서 A 의 출력상태와 같은 출력을 가진다. 이와 같은 원리를 이용하여 i), ii), iii)의 경우에 대한 동작이 원하는 출력으로 변하는지 확인해 본다. 즉, 정상작동 시는 이상 없이 출력하고, 에러의 출력 시는 필터링 되는지 살펴본다.

Fig. 5(a, b, c)는 위의 i), ii), iii)의 경우에 대한 출력 결과이다. Fig. 5에서 나타낸 신호는 Fig. 4의 입력 신호와, 앞서 설명한 D Flip-Flop들의 출력과 각 논리 회로를 거치면서 신호가 변화되는 과정을 나타낸 것이다. 그리고 최종적으로 변화되는 B'를 나

타낸 것이다. 또한, 트리거 될 때 상태 신호로 사용될 신호 A의 상태가 'Low'로 유지되는 경우를 살펴보았지만, 반대로 센서의 위치에 따라 'High'로 유지되는 상태가 발생할 수 있다. 따라서, 이때의 상태를 Fig. 5(a,b,c)에 나타내었다.

● i)의 경우 회로동작

Fig. 5(a)와 같이 정/역방향 작동시에 회로의 동작은 최종적으로 사용되는 신호 A, B'가 최초 입력 신호 A, B와 같게 되는 것을 알 수 있다. 따라서 정상적인 측정이 가능하다.

● ii)의 경우 회로동작

Fig. 5(b)와 같이 잘못된 트리거 신호 B가 제거되어 결국 B'에서 'High'상태를 유지하게 되는 것을 알 수 있다. 따라서 잘못된 측정을 하지 않게 된다.

● iii)의 경우 회로동작

Fig. 5(c)에서 볼 수 있듯이 ii)의 경우와 같이 잘못된 트리거 신호 B가 제거되어 B'가 'High'로 유지가 되는 것을 알 수 있다. 따라서 잘못된 측정을 하지 않게 된다. 이때, ii)와 iii)의 상태를 같게 볼 수도 있지만 엄밀히 따지면 틀리다. ii)의 경우에는 트리거 신호 후 다음 트리거 신호가 출력될 때까지 상태로 사용할 A가 변화 없이 유지가 된다. 하지만 iii)의 경우에는 트리거 신호 B가 변할 때 신호 A도 계속 변하게 된다. 이와 같은 이유로 Fig. 4에서 좌측 2개의 D Flip-Flop과 주변회로만으로 iii)의 에러를 제거하지 못하게 된다.

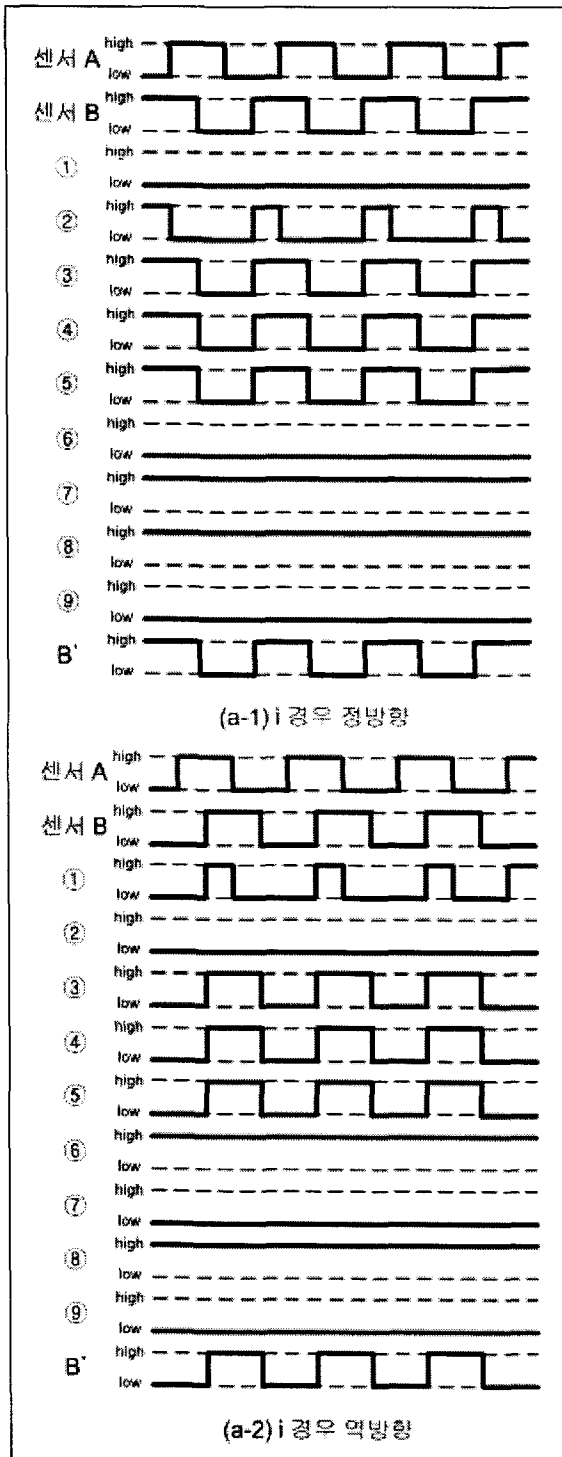


Fig. 5(a) Output signals of circuit for case i) – Normal operation

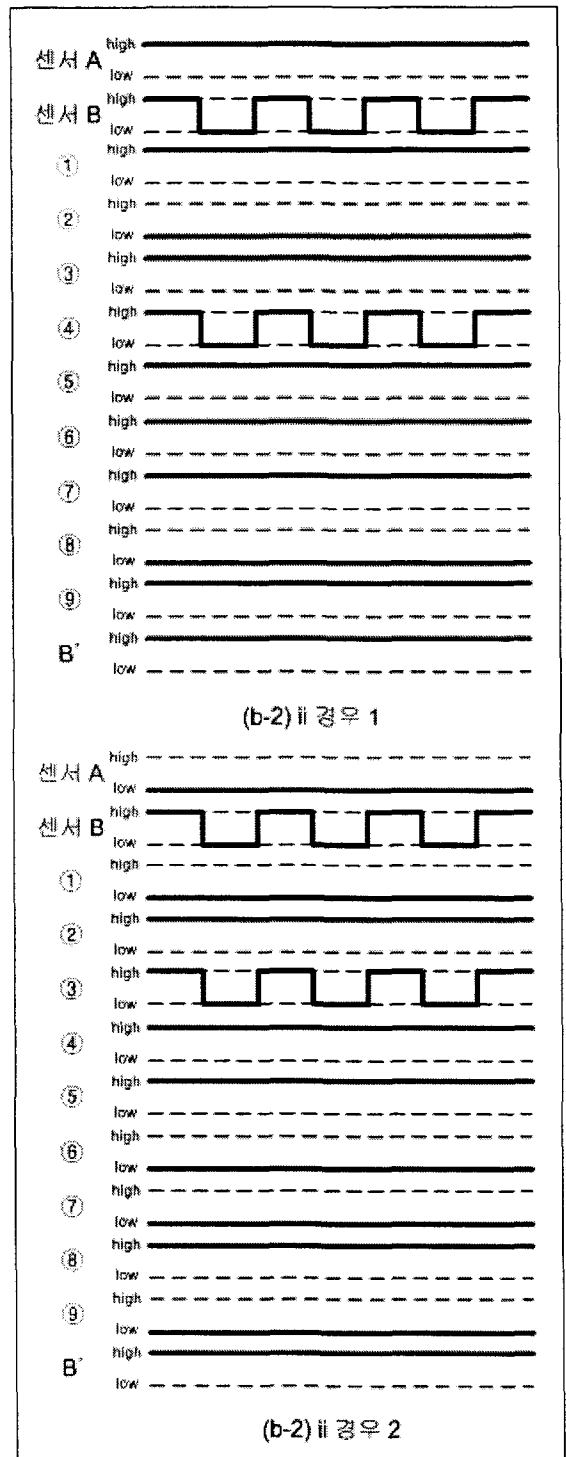


Fig. 5(b) Output signals of circuit for case ii) – Error 1

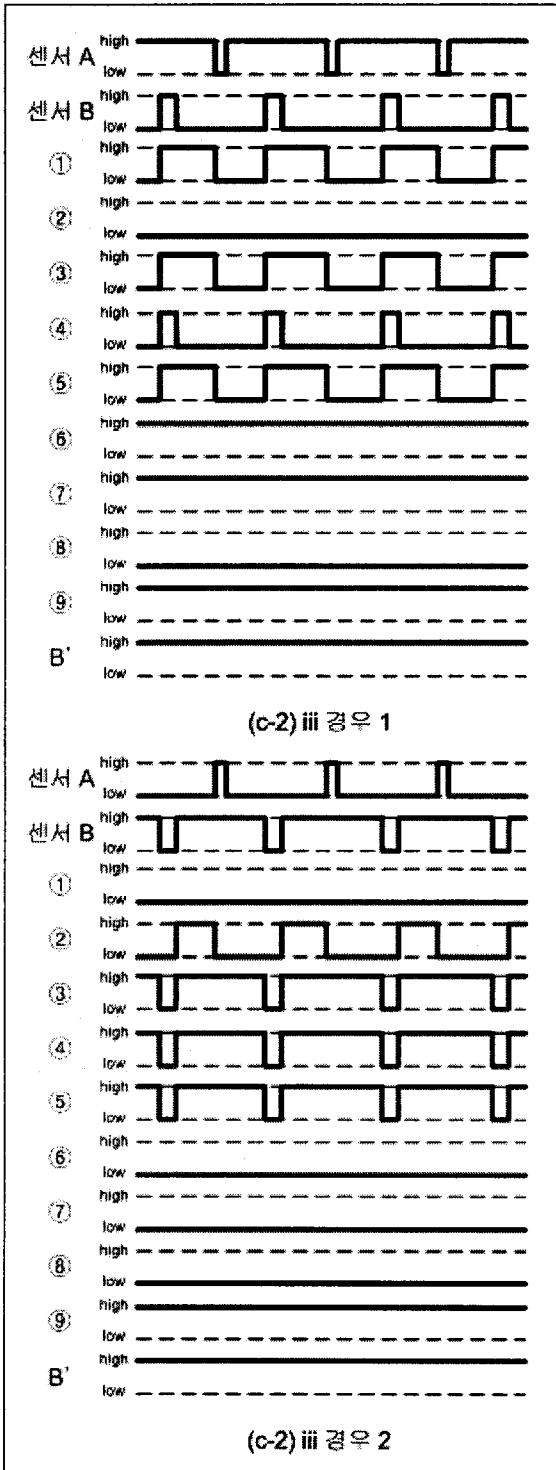


Fig. 5(c) Output signals of circuit for case iii) – Error 2

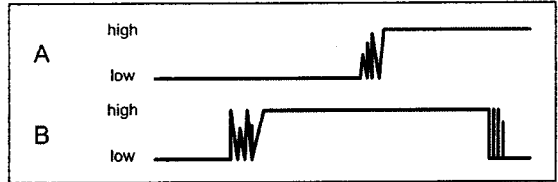


Fig. 6 Noise by sensor or measurement device

이러한 이유로 총 4 개의 D Flip-Flop 을 사용하게 되었다.

위에서 살펴본 필터링 기법으로 특정 진폭으로 진동하는 증분 엔코더의 에러를 제거할 수 있었다. 위의 필터링 방법으로 앞에서 살펴본 경우 외에 센서의 민감도나, 계측 장비의 성능에 의해 발생할 수 있는 Fig. 6 과 같은 노이즈를 제거할 수 있다. Fig. 6 과 같은 노이즈는 센서와 계측장비들에 의해 충분히 발생할 수 있는 노이즈이다. 이러한 노이즈는 보통 저역통과 필터나 처음 상태변화로 부터 상태를 유지시키는 단안정 멀티바이브레이터 (mono stable multi-vibrator)를 사용하여 해결할 수 있다. 하지만 검출 물체가 고속으로 움직인다면, 통과 대역의 대역폭등을 설정하기가 곤란하여 저역통과 필터나 단안정 멀티바이브레이터의 방법을 적용하기는 적당하지 않다. 이러한 노이즈는 증분 엔코더의 원리를 이용한 센세들에서 충분히 발생할 수 있는 노이즈이다. 이 경우에 앞서 소개된 필터링 방법을 사용하면, 3 장에서 소개된 첫 번째 에러와 같은 경우이기 때문에 해결할 수 있다.

5. 결론

본 연구를 통하여 기존의 증분 엔코더에서 나타날 수 있는 에러에 대해 다루어 보았다. 실제로 증분 엔코더 뿐만 아니라 증분 엔코더의 원리를 이용하여 계측하는 모든 시스템에서 이와 같은 문제가 발생되리라 판단된다. 한 예로 CNC 머시닝 센터의 이송 정밀도 향상을 위 한 연구²에서 본 논문에서 개발된 회로를 이용하여 레이저 간섭계 센서를 통해 측정되는 에러를 제거하는데 성공 하였다. 기존에는 에러를 줄이기 위해 분해능을 높혀 에러가 출력될 확률을 줄이거나, 측정장비 노이즈 제거 등의 방법들을 사용하였으나, 본 논문에서 다루었던 내용과 같은 에러에 대해서는 다루어 지지 않았다. 따라서 특정 진동에 의해 증분

엔코더에서 발생할 수 있는 에러를 정확히 규명하였고, 에러를 제거할 수 있는 방법을 제시하였다. 이 방법을 이용한다면 더욱 정밀하고 정확한 측정을 할 수 있으리라 판단된다.

후 기

본 연구는 에너지관리공단의 풍력핵심기술연구센터 지원 연구비로 수행 되었으며 이에 관련된 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참고문헌

1. Hitachi, Ltd., "Data sheet HD74LS74A, Dual D-type Positive Edge-triggered Flip-Flops(with preset and Clear)," 1999.
2. Lee, M. Y. and Chang, I. B., "Displacement Measurement by Laser Interferometer," KSME Regional Meeting, pp. 74-77, 2006.
3. Bolton, W., "MECHATRONICS Second Edition," SciTech Media, Inc., pp. 16-60, 2000.
4. Ekekwe, N., Etienne-Cummings, R. and Kazanzides, P., "Incremental Encoder Cased Position and Velocity Measurements VLSI Chip with Serial Peripheral Interface," Circuits and Systems, ISCAS IEEE International Symposium, pp. 3558-3561, 2007.
5. Luong-Van, D., Tordon, M. J. and Katupitiya, J., "Covariance progingling for an adaptive Kalman filter to suppress sensor quantization effects," Decision and Control, CDC. 43rd IEEE Conference, pp. 2680-2685, 2004.
6. Merry, R., van de Molengraft, R. and Steinbuch, M., "Error modeling and improved position for optical incremental encoders by means of time stamping," American Control Conference (ACC), pp. 3570-3575, 2007.
7. Ross, J. N. and Taylor, P. A., "Incremental digital position encoder with error detection and correction," Electronics Letters, Vol. 25, No. 21, pp. 1436-1437, 1989.