

Technical Tips

인코더와 레졸버

김경화

(서울산업대학교 전기공학과 교수)

전력전자 공학의 중요 분야 중 하나가 바로 서보 모터 제어 분야이며 현재 이러한 서보 모터는 공장 자동화용 기기, 산업용 로봇, 및 NC 공작 기계 등에 중요한 구성 요소인 액츄에이터로서 그 기능을 다하고 있다. 서보 모터의 정밀한 속도 및 위치를 제어하기 위해서는 샤프트 센서가 필수적으로 요구되어진다. 대표적인 샤프트 센서로는 인코더와 레졸버가 있으며 서보 모터의 용도 및 사용 환경에 따른 적절한 센서의 선정은 구동 시스템의 설계에 상당히 중요하다고 할 수 있다. 따라서, 여기서는 인코더와 레졸버의 기본 구조, 간단한 동작 원리, 사용상의 주의점 및 선정 기준에 대해서 정리하고자 하며 이들을 사용하여 디지털 회로에서 신호를 처리하는 방식에 대해 간단히 설명하고자 한다.

1. 인코더

인코더에는 크게 옵티컬 인코더와 자기 인코더가 있으며 다시 옵티컬 인코더는 기능면에서 인크리멘털형과 앵실루트형으로 분류된다.

1.1 옵티컬 인코더

옵티컬 인코더는 그림 1과 같이 기본적으로 투광용 광원과 수광 소자 및 슬릿이 있는 회전 디스크의 3가지로 구성된다.

그림 1과 같이 옵티컬 인코더의 동작은 투광용 광원으로 발광다이오드(LED)를 사용하며 회전 디스크를 투광용 광원과 수광 소자의 중간에 넣어 회전시킴으로써 회전각에 비례한 펄스 출력을 얻는 방식으로 동작한다. LED에서 투사된 광선은 회전 디스크의 슬릿과 고정 슬릿판의 슬릿을 통해 수광 소자에 검출된다. 보통 광원으로 사용하는 LED는 주위 온도가 상승하면 광출력이 저하되는데 이 것을 보상하기 위해 동일 트랙 내에 수광 소자를 2개 배치해 각각의 수광 소자에 전기적으로 180° 위상이 다른 신호 출력을 발생시켜 이 신호를 비교기로 처리해 안정된 구형파 출력을 얻는 방식이 가장 일반

적이다.

그림 2는 영상신호 Z를 가지는 A, B 출력형 인크리멘털 인코더의 구조 및 출력 파형이다. LED에서 투과된 광선은 회전 디스크의 슬릿을 통해 고정 슬릿판의 A, B, Z인 각 슬릿을 통해 A, B, Z의 수광 소자에서 검출된다. 고정 슬릿판 위의 A와

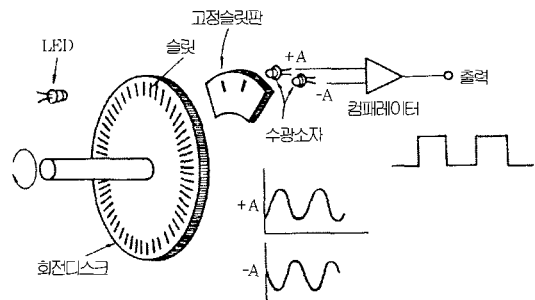


그림 1. 옵티컬 인코더의 구조

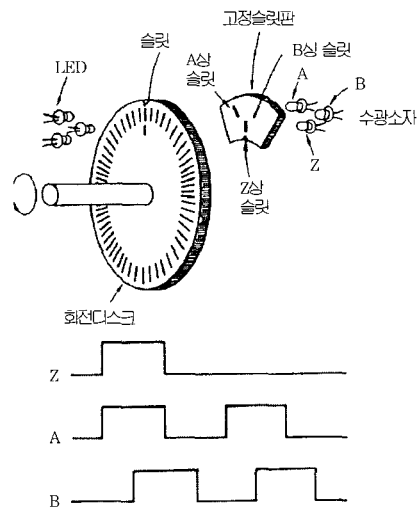


그림 2. 인크리멘털 인코더의 구조 및 출력 파형

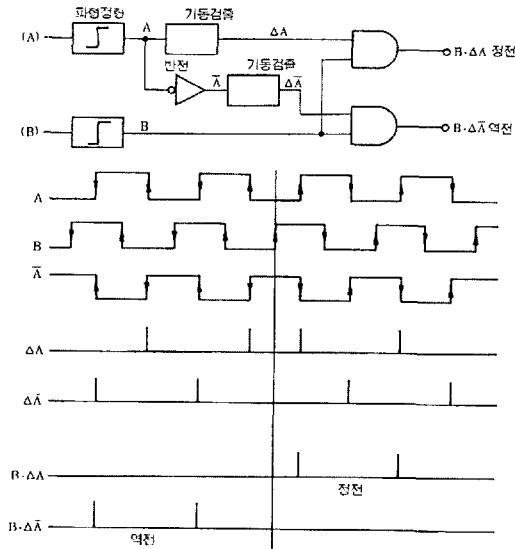


그림 3. 인크리멘탈 인코더의 회전 방향 판별 방법

B의 슬릿은 90° 위상차를 가지는 구형파가 된다.

그림 3은 인크리멘탈 인코더를 사용한 경우 회전 방향 판별 방법의 구성 예이다. 이상에서 살펴 본 인크리멘탈 인코더는 구조가 간단하고 비교적 저가이며 출력 신호수가 적으며 신호 전달이 간단하다. 인코더의 출력 펄스는 축의 회전 위치의 절대값을 표시하는 것이 아니고 축의 회전 각도에 비례한 펄스 수가 얻어지므로 절대값을 표시하는 경우는 인코더의 출력 펄스를 카운터로 누적한 것이다. 또한, 인크리멘탈 인코더는 단지 펄스 열을 발생하기 때문에 아날로그 신호의 회전 속도를 검출하기 위해서는 인코더의 출력 펄스 수를 F/V 변환기에 의해 펄스 주파수에 비례한 아날로그 신호로 변환하여야 한다.

펄스 수가 상당히 적어 실용적으로 사용하기 어려운 경우에는 보통 체증 회로를 사용해 펄스 수를 증가시킨 후 F/V 변환기에 의해 펄스 주파수에 비례한 아날로그 신호로 변환한다. 그림 4는 디지털 회로로 구현한 4체증 방식의 한 예이다.

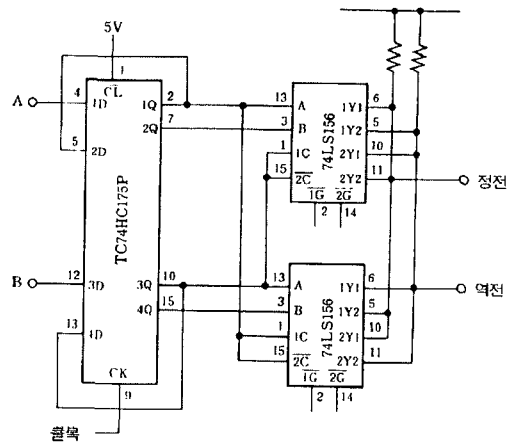


그림 4. 펄스 4체증 회로

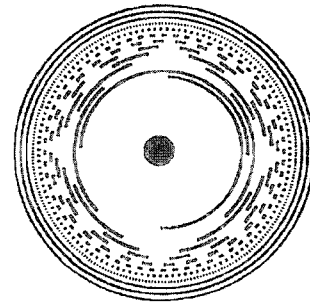


그림 5. 앵설루트 인코더의 회전 디스크

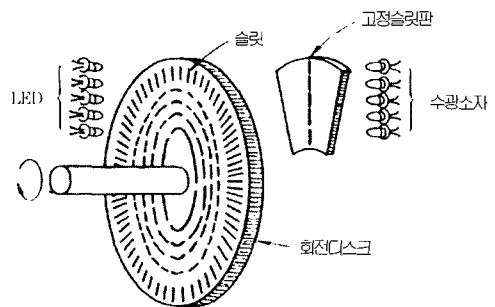


그림 6. 앵설루트 인코더의 구조도

1.2 앵설루트 인코더

앵설루트 인코더는 절대 위치를 검출하는 인코더로서 기본적인 구성은 인크리멘탈 형과 같다. 회전 디스크의 슬릿은 그림 5에서처럼 2진 부호열인데 회전 디스크의 외주가 최하위 비트이며 중심 방향으로 필요한 비트 수가 슬릿의 동심 원상으로 배치되어 있다.

그림 6은 앵설루트 인코더의 구조도를 나타낸다. 앵설루트 인코더의 출력 부호는 Binary 코드와 BCD 코드로 분류될 수 있다. 또, Binary 코드는 Natural binary 코드와 Gray binary (교번2진) 코드로 구분될 수 있다. 그림 7은 6비트인

경우 Natural binary 코드와 Gray binary 코드의 차이를 표시한다. 그림 7에서와 같이 Gray binary 코드는 어떠한 경우에도 어떤 수에서 다음 수로 변화할 때, 한 자리의 부호만이 변화하는 부호 체계이다. Natural binary 코드의 경우에는 어떤 수에서 다음 수로 변화하는 도중에 판독의 애매성이 발생할 수 있다고 알려져 있으며 Gray binary 코드는 이 애매성을 제거하기 위해 고안한 부호 체계이다. 그림 8은 Gray binary 코드를 Natural binary 코드로 변환하는 디지털 회로의 예이다.

순2진					교변2진					10진
NATURAL BINARY					CYCLIK BINARY					DECIMAL
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	00
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	01
0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	02
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	03
0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	04
0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	05
0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	06
0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	07
0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	08
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	09
0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	10
0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	11
0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	12
0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	13
0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	14
0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	15
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	16
0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	17
0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	18
0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	19
0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	20
0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	21
0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	22
0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	23
0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	24
0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	25
0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	26
0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	27
0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	28
0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	29
0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	30
0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	31
0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	32
0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	33
0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	34
0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	35
0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	36
0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	37
0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	38
0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	39
0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	40
0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	41
0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	42
0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	43
0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	44
0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	45
0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	46
0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	47
0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	48
0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	49
0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	50
0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	51
0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	52
0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	53
0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	54
0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	55
0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	56
0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	57
0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	58
0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	59
0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	60
0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	61
0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	62
0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	63
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	63
32	16	8	4	2	1	—	—	—	—	—

그림 7. Natural binary코드와 Gray binary 코드

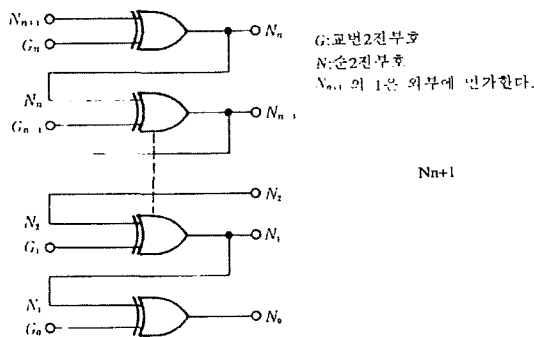


그림 8. 부호 변환 디지털 회로

1.3 자기 인코더

이전까지 기술한 옵티컬 인코더는 투광 소자와 수광 소자의 사이를 슬릿을 설치한 회전 디스크가 회전함으로써 펄스를 발생시키는 구조인 반면에 자기 인코더는 착자된 드럼과 이 드럼에 근접해 놓여진 자기 저항으로 구성된다. 자기 드럼과 자기 저항 소자의 위치 관계는 그림 9에서처럼 2가지로 구성할 수 있다.

첫 번째 방법은 드럼의 외주에 착자해 자기 저항 소자를 드럼의 외주에 마주 향해 배치하는 것이며 다른 두 번째 방법은 드럼의 측면에 착자해 이 면에 마주 향해 배치하는 것이다. 어느 경우나 기본적인 원리는 같으며 자기 저항이 인가되는 자계의 강도에 따라 전기 저항이 변하는 자기-전기 변환소자

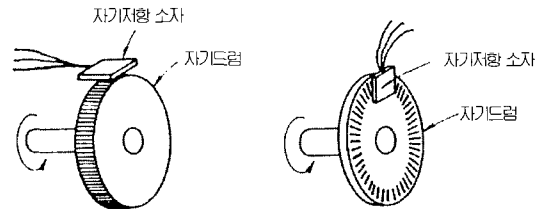


그림 9. 자기 인코더의 구조도

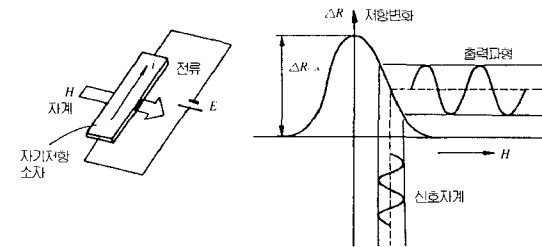


그림 10. 전기 저항의 변화와 출력 파형

라는 성질을 이용한다. 즉, 그림 10에서와 같이 자기 저항 소자의 회살표 방향으로 전류 i 가 흐를 때 저항 R 이 전류와 직각 방향으로 자계 H 가 가해질 때 R 이 감소하는 특성을 이용한다.

따라서, 자기 저항 소자의 배치를 드럼의 착자 패턴에 대응시켜 배치하면 드럼의 회전에 적합한 교류의 신호 출력을 얻을 수 있다. 자기 인코더가 인크리멘털 인코더와 같은 용도로 사용되는 경우에는 전기적으로 90° 위상 차이를 갖는 위치에 동일한 회로를 설치하여 인크리멘털 인코더에서와 같이 A상, B상의 출력을 얻을 수 있다.

2. 레졸버

레졸버는 회전각이나 위치의 검출기로 전동기 제어 시 센서로 많이 활용된다. 인코더가 변위량을 디지털 값으로 변환하는 반면, 레졸버는 변위량을 아날로그 값으로 변환한다. 일반적으로 사용되는 브러쉬리스 레졸버는 회전 변압기를 (Rotary transformer) 사용한 타입을 말한다. 그림 11은 브

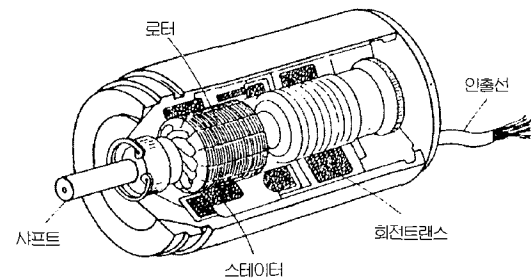
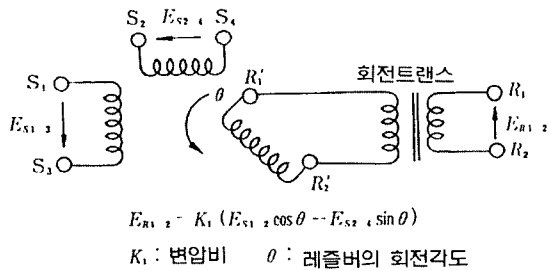


그림 11. 브러쉬리스 레졸버의 구조



$$E_{R1,2} = K_r (E_{S1,2} \cos \theta - E_{S3,4} \sin \theta)$$

K_r : 변압비 θ : 레졸버의 회전각도

그림 12. 단상 출력 브러시리스 레졸버의 결선도 및 출력 관계식

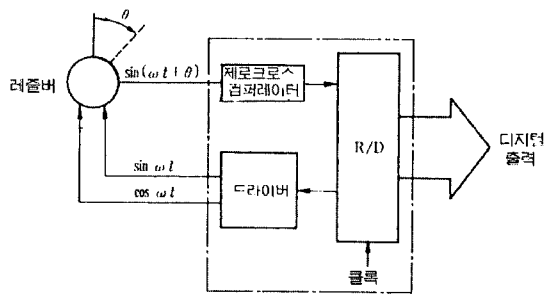


그림 13. R/D 컨버터를 사용한 변환회로

러시리스 레졸버의 구조로 그림에서와 같이 브러시리스 레졸버는 스테이터, 로터, 및 회전 변압기의 3가지 요소로 구성된다.

브러시리스 레졸버의 스테이터와 로터 권선은 자속 분포가 회전 각도에 대해 사인파가 되도록 분포되어 있다. 여자 권선인 스테이터 권선은 전기적으로 90위상 차이를 갖는 2상 구조로 되어 있고 출력 권선인 로터 권선은 용도에 적합하게 단상 또는 2상 권선이 사용된다. 단상 출력인 경우 레졸버의 결선도와 관계식이 그림 12에 있다.

일반적으로 레졸버는 변위량을 아날로그 값으로 변환하며 이 아날로그 신호를 위치 신호로 사용하기 위해서는 이를 디지털 값으로 변환해야 한다. 레졸버의 아날로그 신호를 디지털 값으로 변환하기 위해서는 레졸버-디지털 컨버터(R/D 컨버터)가 필요하다. 그림 13은 R/D 컨버터를 사용하여 레졸버 신호를 디지털 값으로 변환하는 회로이다. 변환기의 출력은 절대값 신호나 인크리멘탈 신호로 사용할 수 있다.

레졸버를 사용한 경우의 속도 검출 방법은 그림 13의 구성에서 인크리멘탈 신호를 단위 시간 당 카운트하는 방법과 절대값으로 검출된 위치 신호를 미분하는 방식 등이 있다.

3. 인코더와 레졸버의 사용상의 주의 및 선정기준

로터리 인코더를 선택하는 경우 사용 목적을 명확히 하여 적절한 것을 선택할 필요가 있다. 선정에 필요한 체크 포인트로는 다음과 같은 것을 들 수 있다.

- (1) 분해능 및 위치 정밀도
- (2) 치수 및 장착조건
- (3) 축 허용 하중 및 수명
- (4) 최대 허용 회전 주파수 및 최고 응답 주파수
- (5) 출력 위상차
- (6) 내환경성

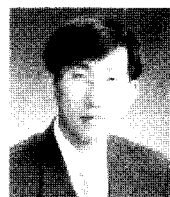
인크리멘탈 인코더를 사용할 경우 주의 점으로는 신호가 전달 중에 노이즈를 카운터로 누적하는 결점이 있기 때문에 노이즈 대책을 충분히 세워야 한다는 것이다. 또 전원이 꺼진 후 다시 전원을 연결해도 원 위치의 표시가 불가능해지므로 사용 시 상당히 주의하여야 한다.

엠펙루트 인코더는 명칭 그대로 입력 축의 절대 위치가 검출되기 때문에 신호가 전송 중일 때 발생하는 노이즈에 의해 오차가 누적되지 않는다. 또한, 전원이 꺼진 후 다시 전원을 연결해도 인크리멘탈 형처럼 원래의 위치를 잃지 않고 항상 정확한 현재 값을 검출할 수 있다.

자기 인코더는 자력을 응용한 인코더로서 옵티컬 형과 달리 먼지 등의 영향을 받기가 어려우며 내환경성이 좋고 고 응답성(200kHz 정도까지는 출력 저하가 발생하지 않는다.)을 갖는 장점이 있다. 하지만, 자계를 신호 발생에 이용하기 때문에 강자계나 자성분이 많은 장소에서 사용하는 경우 주의하여야 한다. 만약 외부에 자계가 존재하는 경우는 자기 실드를 해야할 필요성이 있게 된다.

레졸버는 구조가 모터와 유사하고 진동 및 충격 등에 대한 내환경성이 우수하다. 그 외에 레졸버는 넓은 온도 범위에서 사용이 가능하고 장거리 신호 전송이 가능하며 형상의 소형화가 가능한 특징이 있다. 하지만, 레졸버는 사용하기 위한 신호 처리 회로가 상당히 복잡해지며 이로 인해 인코더에 비해 가격이 상당히 고가로 되는 단점이 있다.

<저 자 소개>



김경화(金庚和)

1969년 3월 11일생. 1991년 한양대 전기공학과 졸업(학사). 1993년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 1998년 동 대학원 졸업(박사). 현재 서울산업대학교 전기공학과 전임강사.