정현파 홀센서를 이용한 저가형 TFLM 드라이브의 위치추정 알고리즘

(Low cost position estimation algorithm of TFLM drives using hall effect sensor)

이정효* · 이원철 · 유영환 · 원충연 · 이병국
Jung Hyo Lee · Won Chul Lee · Young hwan Ryu · Choong Yeun Won · Byoung Kuk Lee
(성균관대학교 전력전자연구실)

ABSTRACT

Transverse Linear Motor(TFLM) has been using in many areas of manufacture such as LCD, PDP construction and etc. However, the areas of TFLM application become wider, it needs a modification for new application. Above all, the conventional position estimation method is expensive in proportional to the length of the motor. Therefore, we need new position estimation algorithm using hall effect sensor.

1. 서 론

횡자속 선형 전동기(TFLM)는 산업전반에 걸쳐 있는 이송제조공정에 이용되고 있다. 이미 자동차, 반도체의 제조공정이나 LCD, PDP 조립제조공정 뿐만 아니라 자기부상열차와 같은 운송수단에 까지 TFLM의 사용범위는 넓어져 가는 추세이다.

하지만 사용범위가 넓어질수록 다양한 산업 환경에 적합하게 TFLM의 구동 및 제어시스템을 변형하여 사용할 필요성이 커져갔다. 특히 TFLM의 장거리 이송 시에는 길이에 비례하여 가격이 상승하는 광학식 리니어 엔코더보다 홀센서를 이용한 위치추정 알고리즘을 필요로 하게 되었다. 구조상 TFLM의 고정자는 돌극 형태이므로, 릴럭턴스 차이 이용한 위치추정이 가능하다.

본 논문은 기존의 광학식 엔코더를 이용한 위치추정 알고리즘의 원리와 문제점에 대해 알아보고, 홀센서를 이용한 위치추정 알고리즘의 원리를 고찰하여 이러한 위치추정 방법을 설계하는데 있어 발생하는 문제점과 해결점에 대해 알아보고자 한다.

2. 본 론

2.1 광학식 반사형 증분 리니어 엔코더의 작동원리

광학식 리니어 엔코더는 일반적으로 두 가지 타입, 반사형 엔코더와 투과형 엔코더 두 가지 형으로 나눌 수 있다.

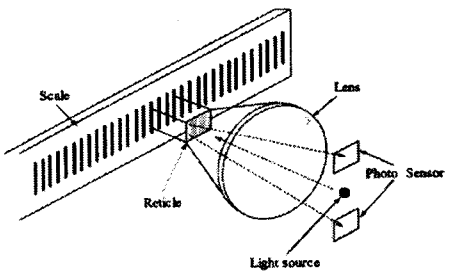

그림 1. 광학식 반사형 증분 리니어 엔코더

그 중에서 반사형 리니어 엔코더는 그림 1에서와 같이, 발광부와 포토센서(photo detector), 슬릿(slit)이 존재하는 Scale 부와 포토센서에 원하는 방향으로 빛을 보내주는 Recticle 부가 존재한다. 발광부가 렌즈를 통해 빛을 내보내면 Scale을 통해 반사되고 이 빛은 Recticle의 격자를 통해 각각의 포토센서의 위치에 알맞은 빛을 통과 또는 차단한다. 이 Recticle 격자를 통한 빛이 포토센서에 들어오면 포토센서는 빛의 양에 따라 전류를

흐르게 한다. 한편 포토센서는 각각 90도의 위상차로 두 개를 배치하는데, 그 이유는 모터가 이동하는 방향에 따른 정보를 얻기 위함이다.

반사형 리니어 엔코더의 수광 원리는 그림2와 같이 분산광(interferential light) 방법을 이용한다. 스케일에는 삼각파 형태의 반사형 격자들을 고정시키고, 그 반사형 격자가 빛을 받으면 격자의 각도에 따라 빛을 분산시킨다. 분산된 빛은 Recticle 격자에 따라 빛이 조절되어 포토센서로 들어간다. 이 때, Recticle격자와 스케일의 격자가 주기적인 패턴을 가지고 있으면 분산된 빛은 정현적인 형태로 포토센서에 입력되고, 분산된 빛의 양이 90도의 각도가 되도록 포토센서의 위치를 조정해주면 센서는 각각 90도의 위상차를 갖는 정현파 전압을 발생시킨다.

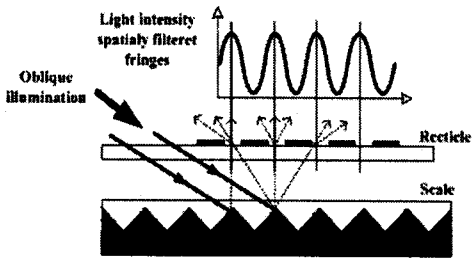

그림 2 반사형 리니어 엔코더의 동작 원리

디지털 시스템에 이용하기 위해 사인파와 코사인파를 비교기를 거쳐 구형파 형태로 나타내는데, 이 때 사인파와 위상이 같은 구형파를 A상, 코사인파와 위상차가 같은 구형파를 B상이라 한다.

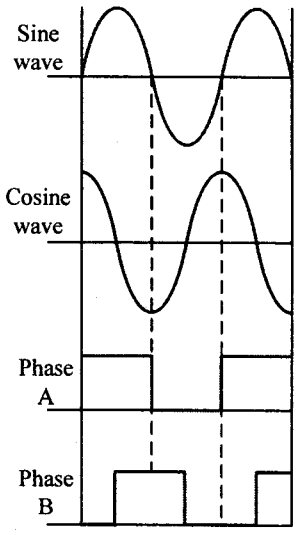

그림 3 리니어 엔코더의 출력

리니어 엔코더는 상대적으로 고가이며, 구현가능 길이에 제한이 있는 문제점도 있다. 또한 정밀기기여서 충격과 진동에 약하고 완전 밀폐구조의 구현이 어려워 상대적으로 고장률이 높다는 단점이 있다.

2.2 홀센서를 이용한 리니어 엔코더의 작동원리

홀센서를 이용한 리니어 엔코더는 TFLM의 고정자가 돌극 형태임을 이용하였다. 먼저 홀센서의 취부는 그림 4와 같이 하였다. 홀센서 위쪽에는 자석이 위치하고, 홀센서의 검출평면 앞뒤로 페라이트 기둥을 두었다. 이 센서부가 TFLM의 이동자에 붙어 위치를 판별한다.

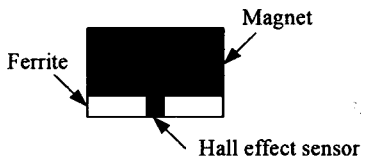

그림 4 홀센서의 취부

자석에서 발생되는 자속은 투자율의 차이에 의해 대부분 페라이트 기둥으로 흐른다. 페라이트 기둥으로 흐른 자속은 고정자 치의 위치에 따라 홀센서를 통해 흐르는 자속이 결정된다.

이 때, 홀센서에서 발생하는 전압은

$$V_H = \frac{R_H}{d} \cdot I_C \cdot B \qquad (1)$$

이와 같이 표현할 수 있으며 일정전류입력과 일정온도에서 출력전압 V_H는 자속 B에 비례한다.

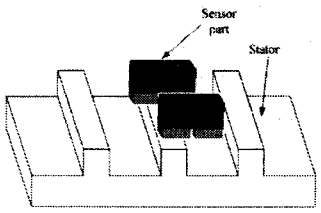

그림 5 센서부와 고정자

한편 자석에서 발생하는 자속은 센서부의 위치

와 고정자의 치에 따라 그림 6과 같이 기울어진다. 이러한 자속의 기울어짐은 양 페라이트 기둥을 통해 홀센서에 자속이 통과하여 전압을 발생시킨다. 이때 홀센서를 통과하는 자속은 단순조화진동운동을 하며 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$B_y \sin x(t) = -B_x \qquad (2)$$

이 수식을 단순조화운동 수식으로 바꾸면 다음과 같다.

$$\sin x(t) = \tan\theta(t) + x_0 \qquad (3)$$

$$-B_y \tan\theta(t) = l\frac{d^2\theta(t)}{dt^2} \qquad (4)$$

편의상 이동거리 x_0를 영으로 놓고 수식을 전개한다. 이 때, l은 센서부와 자속간의 거리이며 각속도를 ω라 하면 근사적으로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\omega = \sqrt{\frac{B_y}{l\cos\theta}} \qquad (5)$$

그림 6과 같이 자속 B_x의 한 주기는 다음 치까지의 거리이다. 각속도 ω를 통해 주기를 계산하게 되면 다음과 같다.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l\cos\theta}{B_y}} \qquad (6)$$

각속도에 따라 변화하는 각변위 $\theta(t)$는 각진폭 θ_0과 초기 위상각 ψ, 각속도 ω를 통해 표시할 수 있다.

$$\theta(t) = \theta_0 \sin(\omega t + \psi) \qquad (7)$$
$$(\theta_0 = kl)$$

B_x는 θ를 변화시키는 힘이므로 다음과 같은 수식으로 나타낼 수 있다.

$$B_x = \frac{d^2\theta}{dt^2} = -\omega^2\theta_0 \sin(\omega t + \psi) \qquad (8)$$

반사형 리니어 엔코더와 마찬가지로 이동자의 방향을 판별하기 위해 그림 5와 같이 출력 전압이 90도의 각도를 갖도록 두 개의 센서부를 배치한다.

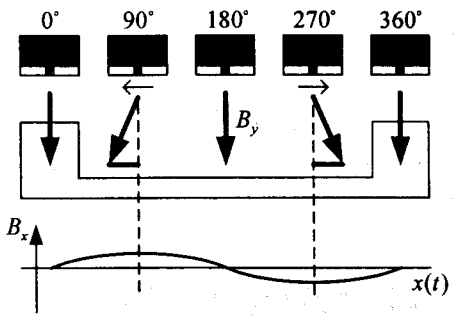

그림 6 센서부 위치에 따른 홀센서 관통 자속의 크기

2.3 홀센서를 이용한 리니어 엔코더의 설계

제안한 알고리즘은 다음과 같은 방법으로 위치에 대한 정보를 얻는다.

1) 90도 위상차의 홀센서 출력을 서로 나눈다.
2) 1)의 값을 아크 탄젠트 한다.

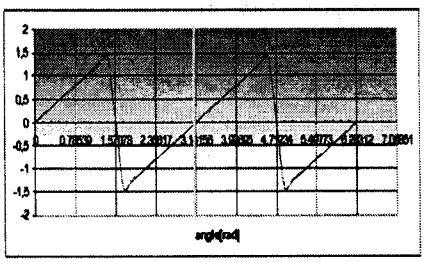

그림 7 일반적인 아크탄젠트에 대한 위치정보

여기서 일반적인 아크 탄젠트를 하면 그림 7과 같이 한 주기 동안 각각의 시간에 대한 위치값이 두 번 나타나게 된다. 그렇기 때문에 일반적인 방법과 조금 다른 아크 탄젠트를 하며 입력 사인값과 코사인값에 대한 크기에 따라 그림 8과 같은 블록으로 아크 탄젠트를 해주게 된다.

그림 8과 같은 아크 탄젠트를 해주게 되면 그림 9와 같이 한 주기의 모든 시간에 대해 각각의 고유한 위치값을 얻게 된다.

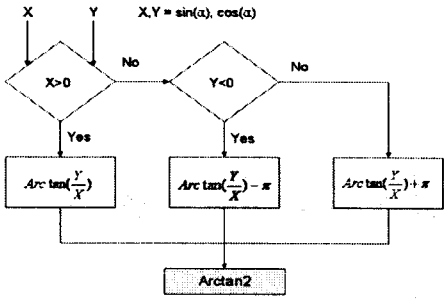

그림 8 새로운 아크탄젠트(Arctan2)에 대한 블록 다이어그램

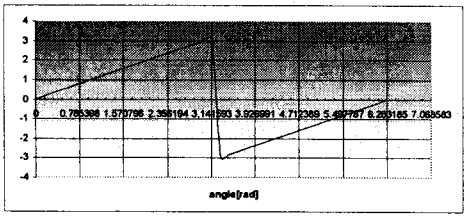

그림 9 새로운 아크탄젠트를 적용한 위치정보

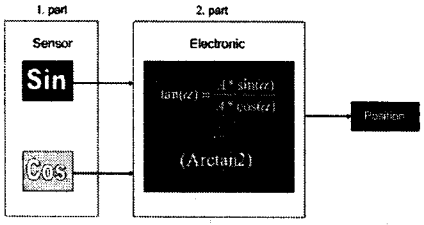

그림 10 홀센서를 이용한 리니어 엔코더의 위치정보 처리를 위한 전체 블록도

2.4 실험

정현파 한 주기에 한 펄스만 나오는 광학식 엔코더에 반하여, 제안한 엔코더는 정현파의 한 주기가 고정자 치 사이의 거리로 정해져있기 때문에 광학식 엔코더와 같은 파형을 얻기 위해서는 한 주기의 펄스파형을 그림 11과 같은 펄스파형과 같이 분해해야 한다. 본 논문은 이러한 펄스파형과 위치정보의 처리를 위해 iC-Haus 사의 iC-Nq라는 13bit sin/D 칩을 이용하였다.

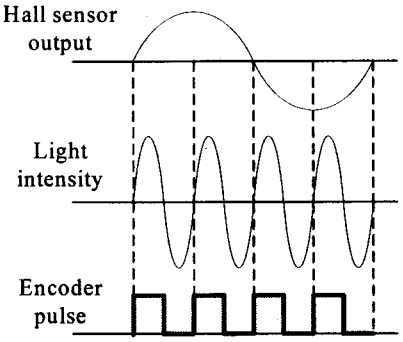

그림 11 홀센서 출력 파형과 4[슬롯/치]의 광학식 엔코더 출력파형

또한 실험에 기준값으로 사용된 광학식 리니어 엔코더는 Jena LIE5를 사용하였으며 펄스 간격은 20μm 이다. 실험에 사용된 간이실험세트와 공극은 표 1과 같다.

결과 파형은 공극과 iC-Nq칩의 설정에 영향을 받는다. 특히 iC-Nq칩에 설정된 분해능(Resolution)이 광학식 엔코더 출력만큼 높으면 파형의 형태가 일그러진다. 이를 방지하기 위해 펄스폭의 한계치를 정하는 설정이 있지만 너무 넓게 잡으면 왜곡된 펄스 수로 인해 제대로 된 위치를 얻지 못하게 된다. 그러므로 펄스폭과 분해능의 적절한 절충이 필요하다.

표 1 실험 환경 설정

실험세트 길이	1.5m
고정자치 사이 거리	0.04m
공극 길이	0.005m
센서부 사이 거리	0.035m

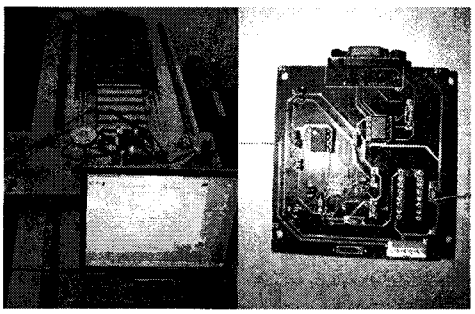

그림 12 실험세트와 측정보드

그림 13은 분해능을 작게 하여 펄스간격을 0.3[mm/pulse]로 하였을 때 파형이고, 그림 14는 분해능이 크게 하여 펄스간격을 39.4[μm/pulse]로 하였을 때 파형이다. 분해능이 작을 때의 펄스 파형이 훨씬 더 정확한 파형을 나타내는 것을 볼 수 있다. 하지만 30cm의 길이를 왕복하였을 때 광학식 엔코더와의 거리 오차는 그림 13이 0.31mm로 그림 14의 0.05mm보다 크다. 그 이유는 단위펄스 당 길이가 분해능이 작을 때 더욱 크기 때문에 적은 펄스 수 오차도 큰 거리의 오차로 나타나기 때문이다.

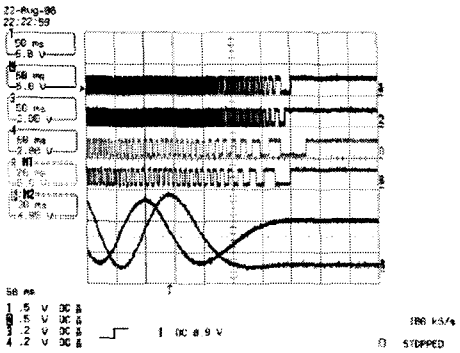

그림 13 펄스간격이 0.3[mm/pulse] 일 때 펄스 파형 1: A상 펄스 파형, 2: B상 펄스 파형, 3: A상 홀센서 전압, 4: B상 홀센서 전압, A: A상 펄스확대파형, B: B상 펄스확대파형

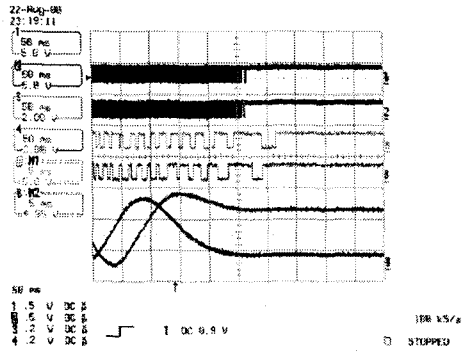

그림 14 펄스간격이 39.4[μm/pulse] 일 때 펄스 파형 1: A상 펄스 파형, 2: B상 펄스 파형, 3: A상 홀센서 전압, 4: B상 홀센서 전압, A: A상 펄스확대파형, B: B상 펄스확대파형

3. 결 론

홀센서를 이용한 리니어 엔코더는 길이에 따른 슬릿의 증가가 필요 없으므로 가격적인 면에서 광학식 리니어 엔코더보다 유리하다. 또한 sin/D 컨버터의 성능에 따라 사용 환경에 맞는 펄스 수를 조정하여 선택할 수 있다. 다만 분해능에 있어 기존의 광학식 리니어 엔코더보다 떨어지고, 정확한 위치 판별에 어렵다는 단점이 있다. 하지만 정밀한 위치 제어를 필요치 않는 상대적으로 긴 거리를 운송하여야 하는 일부 조립공정 시스템, 혹은 이송 시스템 등에 제안된 위치제어 알고리즘을 이용하면 기존의 방법보다 훨씬 경제적인 위치추정이 가능하다.

참 고 문 헌

[1] Chi-Tsong Chen, 「Linear system theory and design」, Oxford University Press, pp.143~180, 1999.

[2] John R. Brauer, 「Magnetic actuators and sensors」, John Wiley & Sons, pp.143~186, 2006.

[3] Harris Benson, 「University Physics」, John Wiley & Sons, pp.360~369, 1995.8

[4] 전진용, 황계호, 김지원, 김규식, "장거리 이송용 고출력 영구자석 여자 횡자속 선형전동기 제어에 관한 연구", 전력전자학회 논문지 제11권 5호, pp.471~479, 2006.10