

산업용 전기 차량의 저 분해능 마그네틱 엔코더를 사용한 속도 측정 방법

박기형*, 정세종*

*현대중공업

Speed measurement algorithm for low-resolution magnetic encoder of industrial electric vehicle

Gi Hyoung Park*, Se Jong Jeong*

*Hyundai Heavy Industries Co., Ltd.

ABSTRACT

Recently, many industrial electric vehicles have been developed using various ac motor drive technologies including field oriented vector control. Generally, a magnetic encoder is installed to have resistance to vibration and dust, and it is cost effective. However, it is difficult to get an accurate rotor speed for high performance of vector control, because a resolution of the magnetic encoder is low and its phase accuracy is poor. In order to overcome this hardware problem, this study proposes a speed measurement algorithm using moving window for low resolution magnetic encoder. This algorithm is experimentally tested and successfully applied to traction application of industrial electric vehicle.

1. 서론

산업용 전기차량의 주행제어는 속도제어와 전류제어로 구성되고 전동기의 정확한 속도 측정이 차량의 성능 및 효율을 좌우한다. 산업용 전기차량에는 진동과 먼지에 강인하고 비교적 가격이 낮은 저 분해능 마그네틱 엔코더를 주로 사용한다. 입력 펄스가 적은 저속을 측정하고 속도 제어응답성을 높이기 위해서 펄스의 상승모서리와 하강모서리를 모두 사용하는 4체배 방식이 널리 사용되고 있으나 엔코더 출력의 위상차가 정확히 90도를 이루지 않을 경우 이는 속도측정의 오차로 이어진다. 그리고 속도를 측정하는 방법에 있어서 정해진 시간에 펄스수를 측정하여 속도를 계산하는 M방식은 계산이 간단하나 저 분해능을 갖는 엔코더를 이용하여 속도를 측정할 경우 저속에서 속도 제어 특성이 나빠지는 단점이 있다. 보다 정밀한 속도 측정 방법으로 엔코더 펄스에 동기화된 시간정보를 사용하는 M/T방식^[2]이나 T방식이 있는데 펄스가 적게 들어오는 조건에서는 정밀도에 차이가 없으나 샘플링시간당 1개미만의 펄스가 입력되는 조건에서는 T방식이 구현하는데 간편하다. 본 논문에서는 4체배 방식에서 4펄스 단위의 T방식을 사용하고 4펄스의 창을 계속 이동시키며 속도를 측정함으로써 부정확한 엔코더 위상정보와 속도 측정 시 지연을 극복하는 알고리즘을 소개하였고, 시뮬레이션과 실제 산업용 전기차량의 실험을 통해 그 타당성을 검증하였다.

2. 속도 측정 방법

2.1 4체배 T 방식을 이용한 속도 측정^[1]

일반적인 T방식은 펄스와 펄스 사이의 시간을 측정하는 주파수가 f_c 인 클럭의 개수 m 으로 부터 식(1)을 통하여 속도를 측정할 수 있다.

$$W_{RPM} = 60 \times \frac{f_c}{PPR \times m} \quad (1)$$

속도 측정 시 측정 시간을 줄이고 분해능을 높이기 위해 엔코더 펄스를 4체배하여 사용하는데 4체배는 엔코더의 A,B 두 펄스가 서로 90도의 위상차를 갖고 각 펄스의 상승 모서리와 하강 모서리를 모두 사용하여 속도 측정에 사용할 수 있다. 그러나 실제로는 A,B 두 펄스의 위상차가 정확히 90도가 되지 않고 그림1과 같이 오차를 가지게 되며 이 위상차가 속도 측정 오차로 나타나게 된다.

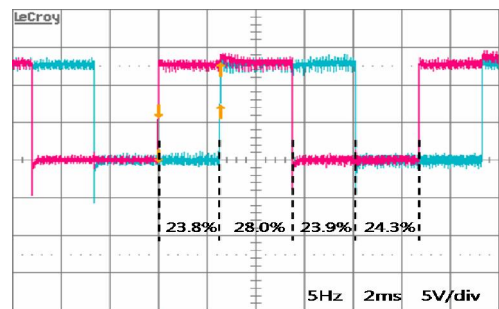


그림 1. 전동기를 일정 속도(5Hz)로 운전 시 엔코더의 출력 파형

식(1)에서 엔코더 펄스의 위상 오차로 인하여 m 의 크기가 달라지는데 속도 오차는 식(2)와 같다.

$$\Delta W_{RPM} = 60 \times \frac{f_c}{PPR} \times \left(\frac{1}{m} - \frac{1}{m + \Delta m} \right) \quad (2)$$

그림 1의 위상 오차를 이용하여 엔코더 상의 진폭 비를 결정하고, 1.5, 2.5, 3.5, 4.5개의 펄스가 1msec 동안 들어올 경우의 위상 오차가 속도 오차에 영향을 크게 미치게 되는데 이 때

의 속도를 시뮬레이션 해보면 그림 2와 같고, 속도 샘플링 주파수와 엔코더의 펄스 수가 4의 배수로 동기 되는 구간이 발생하게 되면 해당 속도에서 오차는 작아지게 된다.

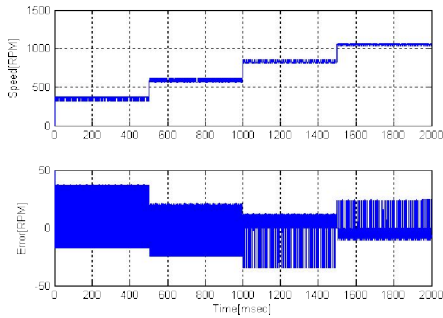


그림 2. 기존 방식을 이용하여 계산된 속도와 오차

2.2 이동 창 평균을 통한 속도 측정

전동기 속도의 오차가 클 경우 필터링 된 값을 사용해야 하기 때문에 속도 제어 이득 값을 높일 수 없고 또한 필터링 된 값에도 오차가 발생하기 때문에 주파수 별로 토크 오차율이 달라져 제어가 어렵게 된다.

제안한 알고리즘은 4채배 하기 이전의 일정한 진폭 비를 가지는 기본 펄스를 사용하는 효과를 가진다. 4펄스 단위로 T방식을 적용하기 위하여 펄스 간 클럭의 수를 버퍼에 저장하고 일정 시간동안 이동 창 방식을 통하여 평균을 내어 속도를 계산 하는 방식이다. 그러면 각각의 펄스 간 클럭 수는 차이가 있어도 4펄스 단위의 클럭 수 차이는 거의 없게 되어 속도 측정 오차를 줄일 수 있다. 또한, 펄스가 간헐적으로 들어오는 극저속구간에서는 이동 창에 저장된 이전 펄스의 클럭 수를 이용하면 안정적인 속도를 얻을 수 있게 된다. 그림 3은 제안한 알고리즘의 이해도이고, 그림 4에서는 제안한 알고리즘을 이용하여 계산한 운전 속도와 오차를 나타낸다.

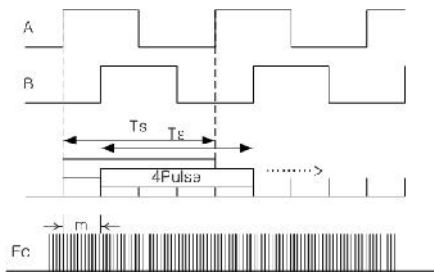


그림 3. 제안한 알고리즘의 이해도

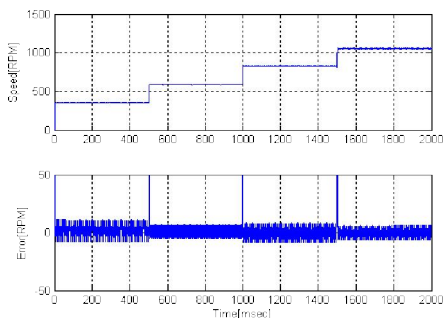


그림 4. 제안한 알고리즘을 이용하여 계산된 속도와 오차

3. 실험 결과

제안하는 알고리즘은 7.8KW 32V 178A정격인 전동기를 주행용으로 사용하는 산업용 전기차량을 대상으로 검증하였다. 전동기에는 64pulse 마그네틱 엔코더가 부착되어 속도를 측정하는데 사용되었고, 속도는 10msec 동안 평균된 값으로 사용하여 속도제어는 간접벡터제어를 사용하였다. 그림 5는 제안된 알고리즘으로 실제 차량에서 측정된 속도 오차를 측정된 파형으로 3rpm의 오차 이내에서 속도제어가 잘 되고 있음을 알 수 있다. 실험 차량으로 저속 및 고속 주행 시 기존 제어기와 비교하여 승차감에도 차이가 없음을 확인하였다.

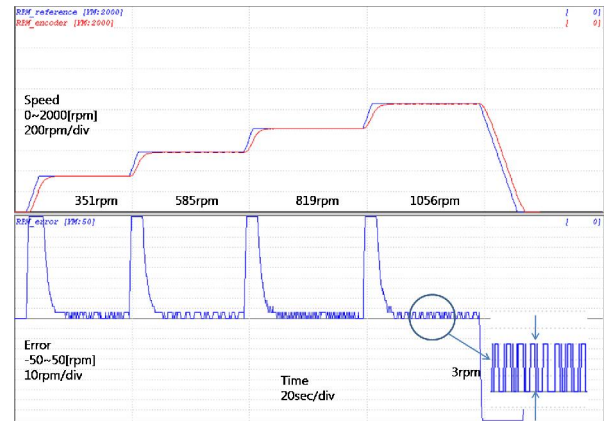


그림 5. 제안한 알고리즘을 적용한 산업용 전기차량의 속도와 오차

4. 결론

산업용 전기 차량에서 주로 사용되는 저 분해능 마그네틱 엔코더의 경우 기존의 속도 측정 방식으로는 균일하지 않은 엔코더 상으로 인해 정확한 속도 측정이 어렵다. 제안된 방법은 이동 창 평균을 이용하여 좀 더 정확하게 속도를 측정할 수 있음을 시뮬레이션으로 확인하였고, 또한 실제 산업용 전기차량의 적용 시험을 통하여 안정된 제어가 가능함을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] 설승기, “전기기기 제어론”, 홍릉과학출판사, 2005.
- [2] Petrella, R. Tursini, M. Peretti, L. Zigliotto, M., “Speed Measurement Algorithms for Low Resolution Incremental Encoder Equipped Drives: a Comparative Analysis”, Aegean Conference on Electrical Machines and Power Electronics (ACEMP), pp. 780-787, 2007