

전기 자전거 구동용 위치 센서 고장 검출 제어

박상준*, 이주석**, 이진우***, 송창희****, 목형수*
 건국대학교*, 경기과학기술대학교**, 두원공과대학***, SPG****

Position sensor fault tolerant control of drive system for electric bicycle

Sang-Zoon Park*, Ju-Suk Lee**, Jin-Woo Lee***, Chang-Hee Song****, Hyung-Soo Mok*
 Konkuk University*, Gyeonggi College of Science and Technology**, Doowon Technical College***, SPG****

Abstract

본 논문은 점차 성장하고 있는 전동기를 이용한 교통 수단으로써의 전기 자전거에 적용된 위치 센서인 홀 센서의 고장 검출을 위한 방법 제시와 고장 회피를 위한 방법을 제시한다. 전동기를 응용한 전기 자전거, 전기 스쿠터, 전기 자동차, 전기 보트 등 다양한 분야에서 전동기의 사용이 점차 넓어지고 있지만 현재는 전동기의 구동 및 제어의 관점에서만 다루어지고 있는 실정이다. 하지만 전동기의 구동 보다 더 중요한 문제는 사람을 운송하는 분야이기 때문에 높은 구동 안정성이 요구되고 있다. 따라서 본 논문은 전기 자전거에 적용된 홀 센서의 고장의 종류에 대해 검토하고 고장으로 판단한 이후 정상적인 구동이 가능할 수 있도록 센서리스 구동으로의 전환이 가능하도록 하였다. 이를 모의 실험과 실험을 통해 타당성을 검증하고자 한다.

구동을 하게 된다. 2상 여자 구동은 간단하게 구현이 가능하다. 하지만 상 전환시의 전류 왜곡에 의한 토크 왜곡이 발생하게 된다. 따라서 3상 여자 구동을 하면서 진동을 최소화 하려면 벡터 제어를 해야만 한다.

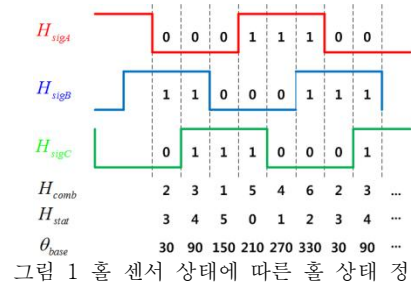


그림 1 홀 센서 상태에 따른 홀 상태 정의

그림1은 각 상마다 출력되는 홀 센서의 출력 파형과 회전자 위치에 따른 절대각을 나타낸 그림이다. 그림 1을 식으로 표현하면 1 ~ 3까지 표현 할 수 있다.

$$H_{comb} = (H_{sigA} \ll 2) | (H_{sigB} \ll 1) | (H_{sigC} \ll 0) \quad (1)$$

$$H_{comb} = \{5,4,6,2,3,1\} -> H_{stat} = \{0,1,2,3,4,5\} \quad (2)$$

$$H_{stat} = \{0,1,2,3,4,5\} -> \theta_{base} = \{30^\circ, 90^\circ, 150^\circ, 210^\circ, 270^\circ, 330^\circ\} \quad (3)$$

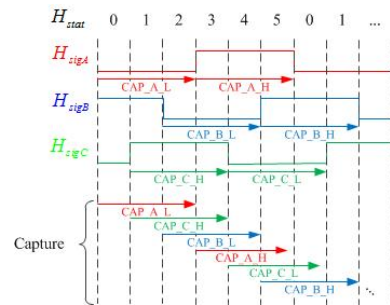


그림 2 홀 센서를 이용한 시간 측정

또한 그림 2는 홀 센서의 입력에 대해 시간을 측정하여 회전자의 회전 속도를 측정한다. 위 시간 측정을 통한 속도 계산은 식 (4)에 나타내었다.

$$\omega_r = \frac{\pi}{\text{CaptureCountTime} \times \frac{1}{\text{CaptureClockFrequency}}} \quad (4)$$

ω_r 을 측정하여 전류 제어기의 실행 시간을 이용하면 각도의 변화량 즉 $\Delta\theta$ 를 계산할 수 있다. 식 (5)에서 나타

1. 서론

본문에 적용된 전기 자전거는 역기전력이 정현 파형인 outer rotor type의 BLDC 전동기를 사용하기 때문에 일반적인 위치 센서 (resolver, encoder 등)의 장착이 용이 하지 않다. 따라서 outer rotor type 전동기에 적용된 위치 센서는 일반적으로 홀 센서를 사용하게 된다. 홀 센서는 직접 회전자의 자속을 측정하므로 모터 내부에 위치 하게 된다. 전동기 내부는 고열로 인한 열악한 환경이 만들어 지게 된다. 따라서 홀 센서의 고장이 발생될 소지가 다분히 존재 하게 된다. 이에 전기 자전거의 홀 센서 고장을 감지하여 운전자가 안전하게 멈추거나 수리를 위한 장소로 이동하기 위한 최소한의 방법을 제시 하고자 한다.

본 논문에서는 홀 센서를 이용한 2상 여자 구동 방식이 아닌 3상 여자 구동 방식을 적용하였다. 또한 정.역 구동시 전류의 왜곡이 적게 발생하는 bipolar 구동을 적용하여 전기 자전거의 전동기 구동 모드와 발전기 구동 모드로의 전환 시 토크의 왜곡을 최소화 하여 전기 자전거의 진동을 최소화 하였다. 또한 홀 센서의 고장이 검출 되었을 때를 대비하여 센서리스 알고리즘을 함께 실행하여 고장이 발생 하였을 때 즉각 센서리스 구동으로 전환 하도록 하였다. 따라서 운전자는 홀 센서의 고장이 발생 되어도 고장으로 인한 피해를 받지 않도록 한다.

2. 본론

2.1 홀 센서를 이용한 벡터제어

홀 센서가 적용된 모터의 구동은 보편적으로 2상 여자

냈듯이 θ_{base} 와 $\Delta\theta$ 를 이용하여 θ_{est} 를 생성 할 수 있다.

$$\theta_r \cong \theta_{est} = \theta_{base} + \Delta\theta_n \quad (5)$$

단, $\Delta\theta$ 는 60도를 넘을 수 없다. 이는 홀 센서의 고장 검출에 적용하였다.

2.2 홀 센서의 고장 종류 및 검출

홀 센서의 고장 진단은 1) 전원에 의한 문제, 2) 홀 신호에 의한 문제, 3) 이전 홀 신호가 유지되는 경우를 다룬다.

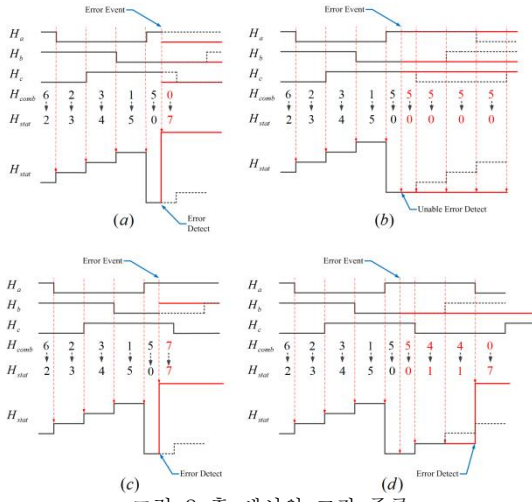


그림 3 홀 센서의 고장 종류

그림 3의 (a)는 전원에 문제가 발생하여 모든 신호가 동시에 0 또는 1이 된 경우이다. (b)는 이전 홀 신호가 유지되는 경우, (c)와 (d)는 홀 신호 하나가 1 또는 0으로 고정되는 경우를 나타내었다. 홀 신호의 고장 검출은 이전 홀 신호와 다음 홀 신호의 차이가 1 이상인 경우와 이전 홀 신호가 유지 되는 경우로 나눌 수 있다. 신호의 차이가 1 이상인 경우에는 검출이 용이 하지만 유지되는 경우는 검출이 쉽지 않기에 위에서 기술했듯이 $\Delta\theta$ 가 60도가 넘어 가면 고장으로 판단 한다.

2.3 센서리스 구동 방법

본 논문에서는 저가형으로 구현된 디지털 제어기를 적용 하였기에 역기전력 추정 알고리즘 중 마츠이 교수가 제안한 역기전력 추정 법을 적용하였다.

$$e_M(n) = e_M(n-1) - K_{em} \Delta i_\delta(n-1) \quad (6)$$

$$\hat{\theta}_r(n) = \theta_M(n-1) + \frac{e_M(n)}{K_e} T + K_\theta \text{sgn}\{\omega_M(n-1)\} \Delta i_\gamma(n) \quad (7)$$

$$\hat{\omega}_r(n) = \frac{1}{T} \{\theta_M(n) - \theta_M(n-1)\} = \frac{e_M(n)}{K_e} + \frac{K_\theta}{T} \text{sgn}\{\omega_M(n-1)\} \Delta i_\gamma(n) \quad (8)$$

2.4 모의 실험

모의 실험은 PSIM을 이용 하였다. 그림 4의 (a)는 홀

신호, (b)는 θ_{base} , (c)는 $\Delta\theta$, (d)는 θ_{est} 를 나타내었다. θ_{est} 를 이용하게 되면 벡터 제어를 적용 할 수가 있게 된다. 또한 그림 5는 센서리스에 의한 추정 $\hat{\theta}_r$ 과 $\Delta\theta$ 를 이용하여 홀 신호가 변화가 없는 고장인 경우 검출 하는 경우를 표현하였다.

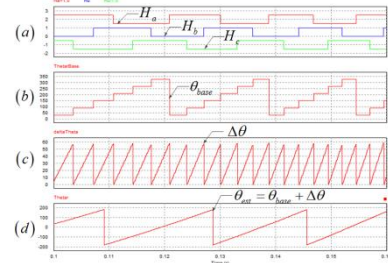


그림 4 홀 신호를 이용한 θ_{est} 추정

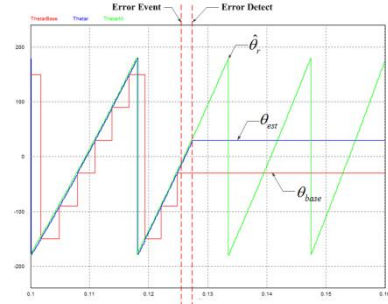


그림 5 $\Delta\theta$ 에 의한 고장 진단과 센서리스 추정 $\hat{\theta}_r$

2.5 실험

홀 센서의 고장을 검출하여 센서리스 구동으로의 전환은 그림 6에 나타내었다. 센서리스에 의한 추정 $\hat{\theta}_r$ 은 홀 센서의 고장을 대비하여 센서 구동 중에도 실행 하도록 하였다.

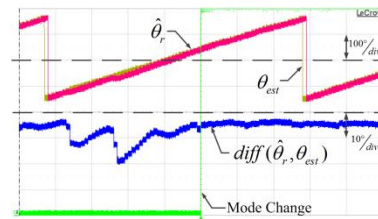


그림 6 센서 구동에서 센서리스 구동의 전환

3. 결론

홀 센서의 고장에 의한 검출 방법과 홀 센서의 고장 발생시 신속하게 전환함의 타당성을 모의 실험과 실험을 통하여 검증 하였다.

참고 문헌

- [1] SZ Park; YK Kim; CH Song; JW Lee; HS Mok, "Operation method of electric bicycle using change of BLDC operation mode and PMSM operation mode", 『Power Electronics and ECCE Asia (ICPE & ECCE), 2011 IEEE 8th International Conference on』, 2011.
- [2] 박상준, 이용균, 이주석, 목형수, "하이브리드 자동차용 IPMSM에 적용할 위치 센서리스 제어기법 비교", 『전력전자학술대회 논문집』, VOL.2010 NO.11,