

유도전동기 센서리스 제어를 위한 페루프 고피나스 자속관측기의 P/PI모드 전환 기법

강명규, 최종우
경북대학교

The P/PI Mode Switching Method of Closed Loop Gopinath Flux Observer for Sensorless Control of Induction Motors

Myeong Kyu Kang, Jong Woo Choi
Kyungpook National University

ABSTRACT

본 논문은 페루프 고피나스 자속관측기의 P/PI모드를 전환하여 전환점부근 저속에서 모터상수 변동에도 강한 센서리스 벡터제어가 가능한 전환기법을 제안하였다.

1. 서 론

유도 전동기의 벡터제어를 위해서 토크분 전류와 자속분 전류로 나뉘서 해석을 하게 되는데, 이를 위해서 속도정보와 자속 정보는 필수적이다. 속도 정보는 타코 제너레이터나 엔코더 등 속도센서를 사용하여 얻을 수 있다. 하지만 속도 센서를 부착하여 속도를 검출하는 방법은 가격 상승, 노이즈 고려, 초고속 전동기 취부 곤란 등의 문제점을 갖는다. 따라서 속도센서를 제거한 속도 센서리스 벡터제어 이용에 관한 연구들이 진행되어 왔다. 유도전동기를 속도 센서가 없는 센서리스 벡터제어 하기 위해서는 회전자 자속기준 벡터제어의 경우 회전자 자속을 관측하여 속도를 추정하여야한다. 모터상수와 전압, 전류정보만으로 정확한 자속관측이 요구된다. 모터 상수의 변동이 있을 경우 전압모델과 전류모델의 자속관측에서 차이가 발생되고 모터상수의 영향을 작게 받는 전압모델 자속관측 정보를 신뢰하게 된다. 하지만 저속영역에서 역기전력이 충분하지 못하여 전압모델을 사용하지 못하는 구간에서는 전류모델을 사용하여야하나 PI모드의 경우 특성함수 해석에서 추정된 자속에 왜곡이 발생하여 더 큰 오차가 발생하게 되어 정확한 자속추정이 더 어렵게 됨을 확인하였다. 따라서 본 논문에서는 저속에서 관측기를 P모드로 사용하고 고속에서는 PI모드를 사용하여 유도전동기의 센서리스 구동을 가능하게 한다.

2. 본 론

2.1 페루프 고피나스 자속 관측기

전동기 상수 변동에 강인하고 역기전력이 충분한 고속영역에서는 전압모델의 추정자속정보를 사용하고, 저속영역에서는 역기전력이 작아서 전압모델의 추정자속정보가 부정확하므로 전류모델의 추정자속정보를 사용하기 위하여 다음과 같이 페루프 고피나스 자속 관측기를 구성하여 자속을 관측한다

그림1는 자속관측기의 간략화 된 개념도이다 $\lambda_{r_cm}^s$ 은 전류 모델로 구한 회전자 자속을 $\lambda_{r_vm}^s$ 은 전압모델로 구한 회전자

자속을 의미한다 식(1)은 PI모드의 관측기 특성함수 이다

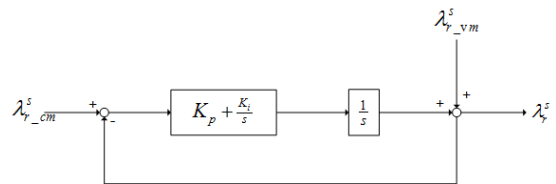


그림 1 간략화한 페루프 고피나스 자속 관측기 PI모드 블록도

$$\lambda_r^s = \frac{s^2}{s^2 + K_p s + K_i} \lambda_{r_vm}^s + \frac{K_p s + K_i}{s^2 + K_p s + K_i} \lambda_{r_cm}^s \quad (1)$$

비례적분 제어기의 이득을 2차 버터워스 필터(buteworth filter)의 개념에서 설계하면 식(2)과 같다

$$K_p = \sqrt{2} \omega_c, K_i = \omega_c^2 \quad (2)$$

여기서 ω_c 는 2차 버터워스 필터의 차단각주파수 (cut off angular frequency)이다 주파수가 높은 고속에서는 전압모델의 영향을 많이 받고, 주파수가 낮은 중저속에서는 전류모델의 영향을 많이 받는 것을 볼 수 있다 본 논문에서는 차단주파수를 작게 하여, 주입하는 주파수가 전압모델의 영향을 많이 받도록 하여, 실제 자속 추정값이 전압모델 자속 추정값과 가깝게 하였다^[1]

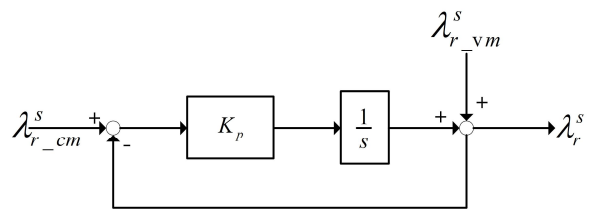


그림 2 간략화한 페루프 고피나스 자속 관측기 P모드 블록도

그림2는 자속관측기 P모드의 간략화 된 개념도이다 P모드 특성함수는 식 (3)과 같이 나타난다

$$\lambda_r^s = \frac{s}{s + K_p} \lambda_{r_vm}^s + \frac{K_p}{s + K_p} \lambda_{r_cm}^s \quad (3)$$

비례 제어기의 이득은 $K_p = \omega_c$ 와 같이 차단각 주파수와 같으며, 전압모델에는 1차 HPF(High Pass Filter)가, 전류모델에는 1차 LPF(Low pass filter)가 곁해진 형태로 이해할 수 있다

2.2 제안하는 자속 관측기 P/PI 전환 기법

유도전동기를 센서리스 제어를 할 때 회전자의 동기주파수가 차단각주파수와 같거나 낮은 지점에서는 모터의 상수 오차가 있을 시 자속관측기 PI모드에서 자속을 제대로 관측하지 못

하여 동작하지 못하는 구간이 존재하게 된다. 주파수별로 정상 상태일 때 앞서 구한 특성함수의 주파수응답을 그래프와 식으로 나타내면 그림 3과 식(4) 와 같다.^[2]

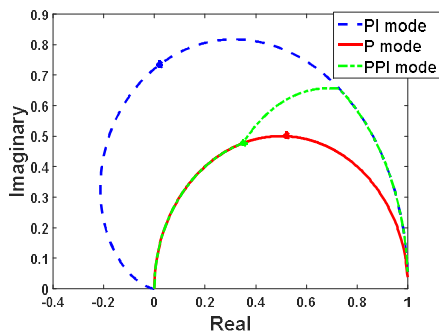


그림 3 페루프 고퍼나스 자속관측기 특성함수해석

$$F(j\omega_e) = \frac{\omega_c^2}{\sqrt{(K_i - \omega_e^2)^2 + (K_p \omega_e)^2}} e^{j\left(\pi - \tan^{-1}\left(\frac{K_p \omega_e}{K_i - \omega_e^2}\right)\right)} \quad (4)$$

그림 3에서 굵은 점은 필터의 차단각주파수일 때의 특성함수 값을 나타낸다. PI모드의 경우 차단각주파수 전일 때 특성함수의 크기와 위상을 보면 추정자속에 왜곡이 발생하여 큰 오차를 지니는 것을 확인할 수 있다.

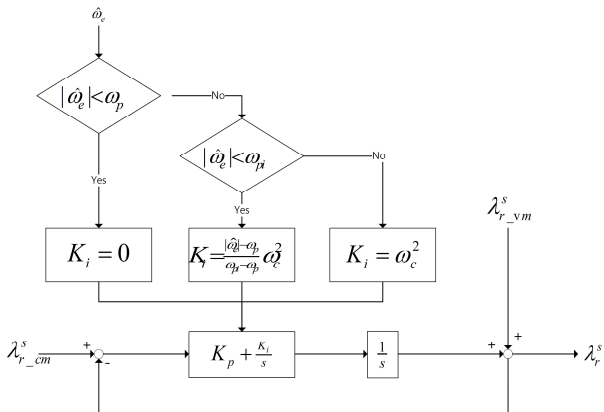


그림 4 제안하는 P/PI 모드 전환 자속 관측기 블록도

그림 4는 제안하는 페루프 고퍼나스 자속관측기 블록도이다. 전환 주파수 아래에서는 P모드의 자속추정이 PI 모드 보다 나은 관측기 성능을 보인다. 전환점 이후 중속, 고속 영역에서는 윗셋의 영향을 없애고 노이즈영향에 강인한 PI모드를 사용하는 자속관측기를 구성하였다. 이 모델은 기존 고퍼나스 모델에서 추정 속도에 따라 PI제어기의 K_i 이득을 가변하여 모드를 변환하는 구조로 되어있다. 그림 4와 같이 추정속도를 ω_p, ω_{pi} 와 비교하여 K_i 이득을 설정한다. 차단각주파수 ω_c 와 ω_p 를 같게 하여 ω_c 이하 영역에서는 K_i 이득이 0의 값을 가져서 P모드로 작동하도록 설정한다. 또 추정속도가 증가할수록 점차적으로 K_i 이득을 높여 자연스럽게 변화시키고 완전히 PI모드를 사용할 시점 ω_{pi} 에서는 K_i 기존 PI이득인 ω_c^2 으로 설정한다. 표2는 MATLAB SIMULINK를 통하여 제안한 알고리즘을 확인하였다. 각 모터상수에 10%의 오차가 있다고 가정한 후 차단각주파수 ω_c 로 지령을 1초에 step으로 주었을 때와 3초에 반부하를 인가한 파형이다. PI모드 일 때 보다 자속오차가 작은 것을 확인할 수 있다.

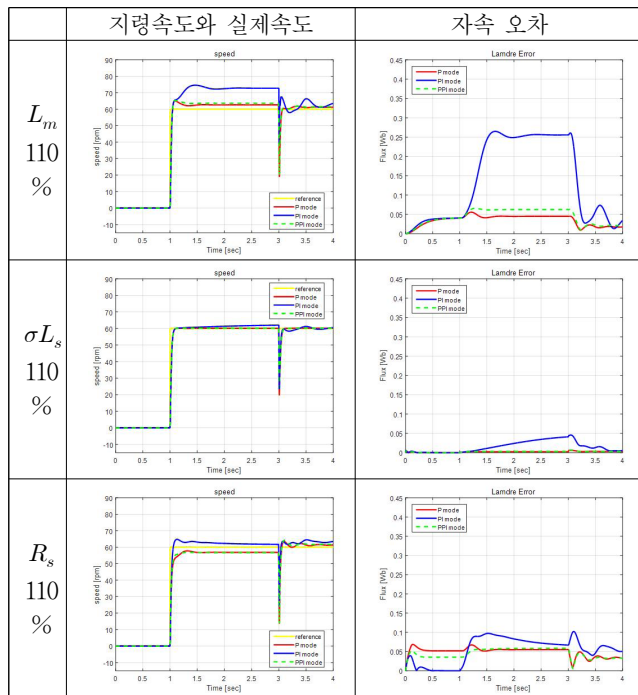


표 2 모터상수 오차에 따른 각 모드별 속도와 자속오차 MATLAB SIMULINK 파형

3. 결론

차단각 주파수를 속도에 따라서 변화시켜 저속에서 센서리스 벡터 제어하는 기법도 있지만^[3] 그림3에서 제시한 특성함수 그래프에서 보듯이 낮게 설정한 차단각 주파수에서도 차단각주파수부근에서 추정자속에 왜곡이 발생하게 된다. 이는 모터상수에 오차가 있을 경우 추정된 자속도 오차를 가지게 되어 실제 자속과 큰 오차를 지니게 된다. 본 논문은 센서리스 벡터제어에서 페루프 고퍼나스 PI모델이 모터상수 값에 오차가 있을 경우 차단각주파수 이하 주파수에서 동작되지 않음을 특성함수를 통하여 알아보고 모드전환기법을 통하여 성능을 개선할 수 있음을 MATLAB SIMULINK를 통하여 확인하였다.

참고 문헌

- [1] P. L. Jansen, and R. D. Lorenz; "A physically insightful approach to the design and accuracy assessment of flux observers for field oriented induction machine drives ", IEEE Trans. Ind. Applicat., vol. 30, NO I, Jan./Feb. 1994
- [2] J. H. Kim, J. W. Choi, S. K. Sul; "Novel rotor flux observer using observer characteristic function in complex vector space for field oriented induction motor drives", IEEE Trans. Indus. Appli., vol38, no. 5, 2002,
- [3] 유재성, 신수철, 이원철, 박상훈, 이병국, 원충연; "가변계인 회전자 자속관측기에 근거한 스핀들 유도전동기의 센서리스 속도제어", 전력전자학회논문지 11(5), 2006.10,