

# 자속추정기를 이용한 정지상태 유도전동기 회전자 시정수 추정

김재원, 최종우  
경북대학교

## Rotor Time Constant Estimation of Induction Motors using Flux-estimator at Stand-still

Jae Won Kim, Jong Woo Choi  
Kyungpook National University

### ABSTRACT

This paper proposes the estimation algorithm to find the rotor time constant of induction motors, which is very important for induction motor drive system. This strategy is based on flux estimator theory. Proposed method has been demonstrated through simulation using MATLAB SIMULINK.

### 1. 서 론

유도 전동기의 벡터제어는 고속 토크응답을 얻을 수 있으므로, 다양한 산업분야에서 사용되어 지고 있고, 순시토크를 제어하기 위해 전류의 크기 그리고 위상까지 제어하는 것으로 이에 관한 수많은 연구가 진행되어 왔다.

유도전동기의 고성능 벡터제어를 위해서는 유도전동기의 회전자 자속의 정확한 정보가 필요하며, 실제 회전자 자속과 추정 회전자 자속이 불일치 하면, 실제 토크와 추정 토크 사이에 오차를 발생시켜, 동적 성능을 악화시킨다. 이에 따라 회전자 자속의 정확한 추정이 요구된다.

본 논문에서는 전동기가 정지된 상태에서 자속추정기를 이용하여 회전자 시정수를 추정하는 방법을 제안하고 시뮬레이션 (MATLAB SIMULINK)을 통해 검증하였다.

### 2. 본 문

#### 2.1 자속추정기

벡터제어의 구현을 위해 가장 필요한 정보는 d q축 좌표변환을 위한 자속 각이다. 회전자의 자속 각을 알아내기 위해서는 정지 좌표계에서의 d q축 회전자 쇄교 자속의 정보가 필요하다.

본 논문에서는 통상적으로 사용하는 고정자 전압 방정식을 이용한 전압 모델법과 회전자 전압 방정식을 이용한 전류 모델법을 혼용한 방식을 이용하였다. 이는 전동기 상수 변동에 강인한 전압모델이 고속영역에서 강인하고, 측정신호의 오차에 강인한 전류모델이 저속영역에서 강인하기 때문이다. 전달함수를 통해 필터개념으로도 해석이 가능하다.

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

주파수가 높은 고속에서는 전압모델의 영향을 많이 받고, 주파수가 낮은 저속에서는 전류모델의 영향을 많이 받는 것을 볼 수 있다. 그림1은 자속 추정기 전체 블록도이다.

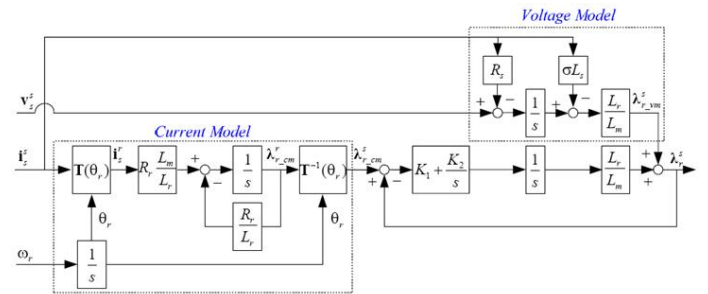


그림 1 자속 추정기  
Fig. 1 Flux Estimator

#### 2.2 제안하는 유도전동기 회전자 시정수 추정

제안하는 유도 전동기의 회전자 시정수 추정법은 자속 추정기를 이용하는 방법이다. 전류모델 자속 추정기에 회전자 저항 변동에 따른 영향을 알아보기 위해서는 회전자 전압방정식을 살펴보면 된다. 회전자 전압 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{d\lambda_{dr}^r}{dt} = -R_r i_{dr}^r \quad (2)$$

$$\frac{d\lambda_{qr}^r}{dt} = -R_r i_{qr}^r$$

회전자 쇄교자속식인

$$\begin{aligned} \lambda_{dr} &= L_m i_{ds} + L_r i_{dr} \\ \lambda_{qr} &= L_m i_{qs} + L_r i_{qr} \end{aligned} \quad (3)$$

식 (3)을 이용해 연립하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{d\lambda_{dr}^r}{dt} &= -\frac{R_r}{L_r} \lambda_{dr}^r + R_r \frac{L_m}{L_r} i_{ds}^r \\ \frac{d\lambda_{qr}^r}{dt} &= -\frac{R_r}{L_r} \lambda_{qr}^r + R_r \frac{L_m}{L_r} i_{qs}^r \end{aligned} \quad (4)$$

식 (4)는 구속된 상태에서는 식 (5)와 같다.

$$\begin{aligned} \frac{d\lambda_{dr}^s}{dt} &= -\frac{R_r}{L_r} \lambda_{dr}^s + R_r \frac{L_m}{L_r} i_{ds}^s \\ \frac{d\lambda_{qr}^s}{dt} &= -\frac{R_r}{L_r} \lambda_{qr}^s + R_r \frac{L_m}{L_r} i_{qs}^s \end{aligned} \quad (5)$$

d축 자속 방정식을 주파수 영역에서 해석하고, 추정하는 전류모델식으로 표현하면 식 (6)과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\lambda_{dr}^s(j\omega) = \frac{R_r \frac{L_m}{L_r}}{\frac{R_r}{L_r} + j\omega} i_{ds}^s(j\omega) \quad \widehat{\lambda}_{dr\_cm}^s(j\omega) = \frac{\widehat{R}_r \frac{\widehat{L}_m}{\widehat{L}_r}}{\frac{\widehat{R}_r}{\widehat{L}_r} + j\omega} i_{ds}^s(j\omega) \quad (6)$$

실제  $\lambda_{dr}^s$  값을 측정 할 수 없기 때문에  $\omega_{cr} \ll \omega$  조건하에 전압모델에 영향을 많이 받는  $\widehat{\lambda}_{dr}^s$ 를 실제값으로 사용한다. 추정하는  $\widehat{R}_r/\widehat{L}_r$  값이 실제값과 차이가 난다면, 페이저 이론에 의해  $\widehat{\lambda}_{dr}^s$ 와  $\widehat{\lambda}_{dr\_cm}^s$ 는 서로 위상차이가 생긴다. 따라서  $\widehat{\lambda}_{dr}^s$  값과  $\widehat{\lambda}_{dr\_cm}^s$ 이 같다면  $\widehat{R}_r/\widehat{L}_r$  값과  $R_r/L_r$  값이 같아지고 회전자 시정수 값을 추정할 수 있게 된다. 이러한 이론을 근거로 하여 회전자 시정수 추정기 전체 블록도는 다음 그림 2와 같다.

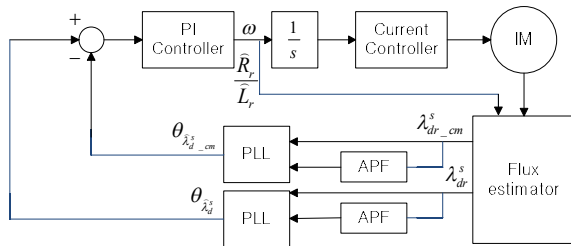


그림 2 제안하는 회전자 시정수 추정기  
Fig. 2 Proposed Rotor Time Constant

제안하는 회전자 시정수 추정기의 제어기는 비례 적분 제어기를 연결하고, 정상상태에서 파라미터 추정을 위해 d축 고정자 전류만 주입한다. 이때 주입하는 초기 전류 주파수는 자속 추정기 절환주파수 10배인 값으로 하였고, 크기는 정격고정자 전류값으로 하였다.

$$i_{ds}^{e(rated)} = \frac{\lambda_{dr}^{e(rated)}}{L_m} \quad (7)$$

자속 추정기로부터,  $\lambda_{dr}^s$ 와  $\lambda_{dr\_cm}^s$ 의 각 정보를 알기 위해 각각 전역통과필터(APF)를 통해 위상을 90° 지연 시키고, PLL을 통해 각 정보를 추정 하였다.

### 3. 모의실험

제안한 회전자 시정수 추정법을 MATLAB SIMULINK로 검증하였다. 모의실험에 사용한 유도전동기의 제정수와 정격은 표1에 나타내었다.

표 1 유도전동기의 정격 및 제정수  
Table 1 Ratings and parameters of induction motor

정격용량	1.5 [kW]	극수	4극
정격전류	5.5(rms) [A]	정격속도	1500 [rpm]
정격주파수	50 [Hz]	모터자체관성	0.005 [kgm <sup>2</sup> ]

모의실험은 초기  $\widehat{R}_r/\widehat{L}_r$  값을 실제값의 0.5배, 1배, 1.5배로 하여 실험하였다.

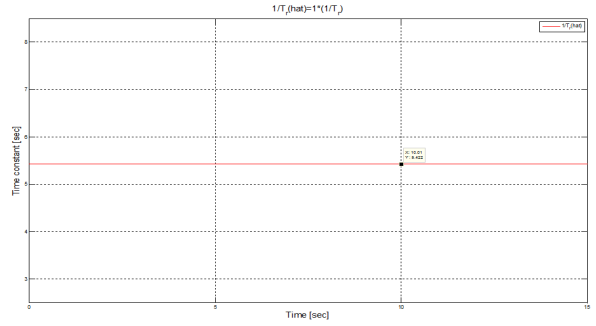


그림 3  $\widehat{R}_r/\widehat{L}_r = R_r/L_r$ 인 경우  $1/\tau_r$  추정  
Fig. 3 Estimation of  $1/\tau_r$  in case of  $\widehat{R}_r/\widehat{L}_r = R_r/L_r$

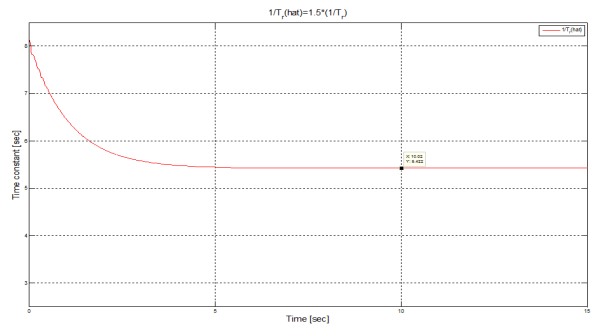


그림 4  $\widehat{R}_r/\widehat{L}_r = 1.5 \cdot R_r/L_r$ 인 경우  $1/\tau_r$  추정  
Fig. 4 Estimation of  $1/\tau_r$  in case of  $\widehat{R}_r/\widehat{L}_r = 1.5 \cdot R_r/L_r$

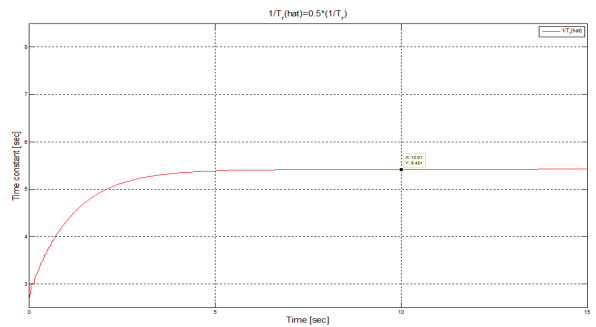


그림 5  $\widehat{R}_r/\widehat{L}_r = 0.5 \cdot R_r/L_r$ 인 경우  $1/\tau_r$  추정  
Fig. 5 Estimation of  $1/\tau_r$  in case of  $\widehat{R}_r/\widehat{L}_r = 0.5 \cdot R_r/L_r$

그림 3, 그림 4, 그림 5는 실제 회전자 시정수와 추정된 회전자 시정수에 따른 추정 비교 파형이다. 세 파형 모두 회전자 시정수 역수값인 5.402 [sec<sup>-1</sup>]에 수렴함을 알 수 있고, 모의실험을 통해 회전자 시정수 값을 추정할 수 있음을 검증하였다.

### 4. 결론

본 논문은 전동기가 정지상태에서 자속 추정기를 이용하여 회전자 시정수 추정법을 제안 하였다. 제안된 추정법은 모의실험을 통해 회전자 시정수 값을 추정할 수 있음을 검증하였다.

### 참고 문헌

- [1] 설승기, “전기기기 제어론”, 홍릉과학출판사.
- [2] 김 민, 최중우, “자속추정기를 이용한 정지상태 회전자 저항 추정,” 전기학회 학술대회 논문집, pp 232 234, 2012