

## 유도전동기 직접백터제어를 위한 회전자 시정수 추정

裴相俊\*, 崔鐘宇\*\*, 金興根†, 李弘熙\*\*\*, 全泰園\*\*\*\*

### Rotor Time Constant Estimation for Induction Motor Direct Vector Control

Sang-Jun Bae, Jong-Woo Choi, Heung-Geun Kim, Hong-Hee Lee, and Tae-Won Chun

#### 요 약

고피나스 모델 자속관측기를 사용한 유도전동기 직접백터제어 시스템에서 회전자 시정수에 오차가 있을 경우 시스템의 동특성이 저하되는 현상을 살펴보았으며, 이를 해결하기 위한 방안으로 MRAC를 이용한 회전자 시정수 실시간 추정 알고리즘을 제안하였다. 제안한 방식의 타당성을 검증하기 위해서 자속관측기에 사용되는 전동기 상수들의 오차가 회전자 시정수 추정에 미치는 영향을 실험적으로 분석한 결과 전동기 상수에 다소 오차가 있더라도 회전자 시정수의 추정오차는 5% 이내로 수렴됨을 보였다. 따라서 본 연구에서 제안한 회전자 시정수 추정 알고리즘을 고피나스 모델 자속관측기에 적용하게 되면 전동기 상수 변동에 강인한 유도전동기 직접백터제어 시스템을 구현할 수 있다.

#### ABSTRACT

In the induction motor direct vector control system using the Gopinath model flux observer, the deterioration of the dynamic response due to the detuned rotor time constant is investigated. To solve this problem, the on line estimation algorithm of the rotor time constant using model reference adaptive control is proposed. The effect of the motor parameter variation on the rotor time constant estimation is analyzed through experiment. The estimation error due to the parameter variation converges within 5%. Thus applying the proposed algorithm to the Gopinath model flux observer, the robust direct vector control system of the induction motor to the parameter variation can be implemented.

**Key Words** : Rotor Time Constant, Gopinath Model Flux Observer, Direct Vector Control, Model Reference Adaptive Control

#### 1. 서 론

백터제어는 유도전동기의 순시토크를 제어하기 위해 전류의 크기뿐만 아니라 위상까지 제어하는 것으로 그동안 이에 관한 수많은 연구가 진행되어 왔다<sup>[1~3]</sup>.

직접 백터제어는 전동기의 기준 자속각을 찾아내기 위해서, 전동기의 내부에 센서를 설치하여 자속을 직접 측정하거나 전압, 전류 등을 이용하여 자속을 추정하는 방식을 사용한다. 이중 자속센서를 이용한 자속 측정 방법은 센서의 기계적인 강인성이 떨어지고, 제품의 원가상승의 원인이 되기 때문에 기준 자속을 순시적으로 추정하는 자속관측기가 오랫동안 연구의 대상이 되어 왔다. 회전자 자속기준 직접백터제어를 위해서는 회전자 자속의 정확한 추정이 필수적인데, 이 회전자 자속은 추정 알고리즘에 따라 약간의 차이는 있지만 전동기 상수의 영향을 받는다<sup>[1~6]</sup>

†교신저자 : 정회원, 경북대 전자전기공학부 교수  
E-mail : kimhg@knu.ac.kr

\*정회원, 경북대 대학원 전기공학과 졸업(석사)

\*\*정회원, 경북대 전자전기공학부 조교수

\*\*\*정회원, 울산대 전기전자 및 자동화공학부 교수

접수일자 : 2003. 12. 31      1차 심사 : 2004. 4. 21

2차 심사 : 2004. 6. 3      심사완료 : 2004. 6. 7

대표적인 자속관측기로는 전류모델 관측기<sup>[7]</sup>와 전압 모델 관측기<sup>[8]</sup>가 있으며, 이 두 가지 모델을 적절히 혼용하여 사용하는 방법이 제안되었으며<sup>[8-9]</sup>, 전기적인 유도전동기 모델로부터 상태방정식을 유도하고, 적절한 추정기 이득값을 선택함으로써 자속을 추정하는 전차원 자속관측기 등이 있다<sup>[10]</sup>.

전류모델 자속관측기는 전동기 상수에 대해 민감하기 때문에 저속과 고속을 포함한 전 속도 영역에서 좋은 특성을 얻을 수 없다. 전압모델을 사용하는 경우는 역기전력이 낮은 저속영역에서는 고정자 임피던스 전압강하 및 잡음의 영향으로 추정값이 정확하지 않고, 또한 적분시 측정 변수들의 오프셋 때문에 적분기가 포화되기 쉽다. 한편 전류모델과 전압모델을 혼용한 고피나스 모델은 전압모델의 오프셋문제에 강인하고, 전동기 상수 오차에 다소 강인한 특성을 보이지만 저속에서 전류모델의 영향으로 전동기 상수 변화에 따른 자속 추정 오차를 수반한다.

본 연구에서는 전류모델과 전압모델을 혼용한 고피나스 자속관측기를 사용하여 자속을 추정할 경우, 전류모델의 회전자 시정수의 변화에 의한 자속추정오차의 문제점을 살펴보고, 전류모델의 회전자시정수를 실시간으로 추정할 수 있는 방법을 제시하였다.

고피나스 모델 자속관측기에 의해 추정된 회전자 자속의 위상과 전류모델의 회전자 자속의 위상의 차이를 MRAC(Model Reference Adaptive Control)방법을 적용하여 전류모델의 회전자 시정수를 추정하였다. 이러한 방법은 기존의 직접벡터 제어 시스템에 하드웨어의 추가나 수정 없이 PI제어기 알고리즘만을 추가함으로써 적용할 수 있다.

제안한 알고리즘을 적용한 실험을 통하여 회전자 자속추정 특성을 보임으로써 전동기 상수 오차에 강인함을 검증하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 고피나스 모델의 자속관측기<sup>[8]</sup>

유도전동기의 고정자 전압과 전류로부터 회전자 자속을 구하면 다음식과 같다.

$$\lambda_r^s = \frac{L_r}{L_m} \left( \frac{1}{s} (\mathbf{v}_s^s - R_s \mathbf{i}_s^s) - \sigma L_s \mathbf{i}_s^s \right) \quad (1)$$

한편 회전자 전압방정식을 회전자 자속과 고정자 전류로 표현하면 다음과 같다.

$$p\lambda_r^s = - \left( \frac{1}{\tau_r} - j\omega_r \right) \lambda_r^s + \frac{L_m}{\tau_r} \mathbf{i}_s^s \quad (2)$$

일반적으로 역기전력이 높은 고속영역에서는 식 (1)로부터 구한 전압모델( $\lambda_{r\_vm}^s$ )이, 역기전력 낮은 저속 영역에서는 식 (2)로부터 구한 전류모델( $\lambda_{r\_cm}^s$ )이 회전자 자속 추정특성이 우수하다. 따라서 저속에서는 전류모델이 우세하고, 고속에서는 전압모델이 우세하도록 동작하는 고피나스 모델 자속관측기의 블록도를 나타내면 그림 1과 같다.

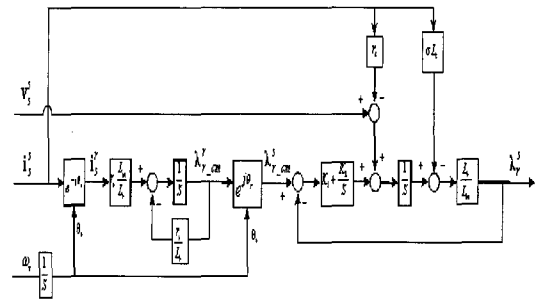


그림 1 전압모델과 전류모델을 혼용한 자속관측기  
Fig. 1 Flux observer using voltage model and current model

그림 1의 고피나스 모델 자속 관측기의 전달 함수는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\hat{\lambda}_r^s = \frac{s^2}{s^2 + K_p s + K_i} \hat{\lambda}_{r\_vm}^s + \frac{K_p s + K_i}{s^2 + K_p s + K_i} \hat{\lambda}_{r\_cm}^s \quad (3)$$

식 (3)은 전압모델에 고주파 통과필터가, 전류모델에는 저주파통과필터와 대역 통과필터가 곁해진 형태로 볼 수 있으며 전류모델에서 전압모델로 전이되는 주파수를 필터의 차단 각 주파수로 해석하여 PI제어기의 이득을 2차 버터워스 필터의 개념에서 설계하면,  $K_p = \sqrt{2}\omega_c$ ,  $K_i = \omega_c^2$  이고 여기서  $\omega_c$ 는 2차 버터워스 필터의 차단 각 주파수이다.

### 2.2 위상보상을 이용한 자속관측기<sup>[11-12]</sup>

자속관측기에서 전동기 상수 특히 회전자 저항,  $R_r$ 이나 자화 인덕턴스,  $L_m$ 에 오차가 있을 경우 두 모델이 전이되는  $\omega_c$  (rad/sec) 부근에서의 자속 추정특성이

전압 모델 또는 전류 모델 단독의 경우보다 나빠질 수도 있다. 이러한 현상은 전압, 전류 모델의 위상 변화를 적절히 보상함으로써 개선할 수 있으며 이를 고려한 자속 관측기의 블록도는 그림 2와 같다.

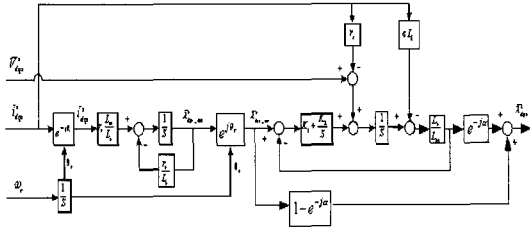


그림 2 위상 변화를 보정한 자속관측기  
Fig. 2 Flux observer with phase variation compensation

위상 보상 함수  $e^{-j\alpha}$ 의  $\alpha$ 는 식 (4)와 같이 주어진다.

$$\alpha = \left[ \pi - \tan^{-1} \left[ \frac{K_p \omega_e}{K_i - \omega_e^2} \right] \right] \quad (4)$$

이상과 같은 자속 추정기를 이용하면  $R_r$ 이나  $L_m$ 에 다소 오차가 있더라도 전이 속도부근에서 비교적 강한 추정 특성을 얻을 수 있다.

### 2.3 회전자 시정수 추정 알고리즘

고피나스 모델로 추정된 회전자 자속은 저속영역에서 전류모델이 우세하므로 회전자 시정수에 오차가 있으면 그 영향 때문에 추정된 자속에도 오차가 나타난다. 반면에 고속에서는 회전자 시정수의 영향이 크게 나타나지 않기 때문에 고피나스 모델 자속관측기를 기준모델로, 전류모델을 적용 모델로 하는 MRAC를 통하여 회전자 시정수를 추정할 수 있다. 식 (3)에서 전류모델 회전자 자속 추정값을 빼면 식 (5)와 같다.

$$\hat{\lambda}_r^s - \hat{\lambda}_{r\_cm}^s = \frac{s^2}{s^2 + K_p s + K_i} (\hat{\lambda}_{r\_vm}^s - \hat{\lambda}_{r\_cm}^s) \quad (5)$$

MRAC를 적용함에 있어서 회전자 자속을 직접 사용하는 것보다 자속 위상각을 이용하는 것이 회전자 시정수 추정에 유리하다. 즉 고피나스 모델로 추정된 회전자 자속의 위상각( $\hat{\theta}_e$ )과 전류모델로부터 구한 회전자 자속 위상각( $\hat{\theta}_{e\_cm}$ )의 오차가 "0"이 되게 제어하

면 전압 모델 자속관측기의 회전자 자속 위상과 전류 모델 회전자 자속 위상이 일치하게 된다. 이 개념을 이용하여 MRAC에 의한 회전자 시정수 추정 알고리즘을 블록도로 나타내면 그림 3과 같다.

그림 3에서 위상 오차에  $i_{qs}^e$ 를 곱해서 PI제어기의 입력신호로 사용한 이유는 오차신호의 부호를 판별하기 위해서이다.

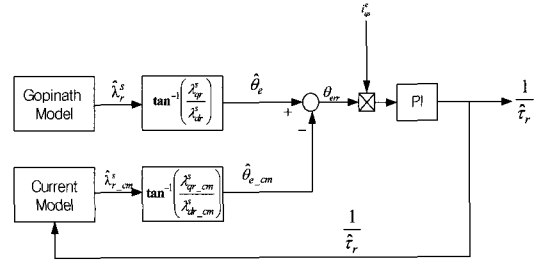


그림 3 회전자 시정수 추정시스템의 구조  
Fig. 3 Structure of rotor time constant estimation system

## 3. 실험

### 3.1 시스템구성

그림 4는 유도전동기 직접벡터제어 시스템의 블록도이다. 유도전동기의 직접벡터제어 시스템의 구조에 회전자시정수를 추정하는 PI제어기만 추가된 형태이므로 기존의 직접벡터제어 시스템의 구조를 그대로 사용할 수 있다.

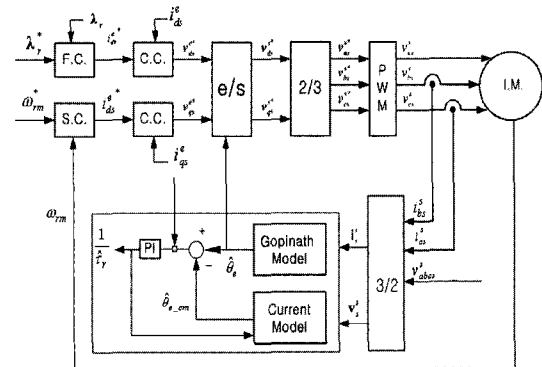


그림 4 제어시스템 블록도  
Fig. 4 Block diagram of Control System

전류제어기의 샘플링 주기는 100us이고 자속제어기

와 속도제어기의 샘플링 주기는 1ms로 하였으며 실험에 사용된 전동기의 정격 및 상수는 표 1과 같다.

표 1 유도전동기 정격 및 상수  
Table 1 Ratings and parameters of the induction motor

정격출력	3.7 [kW]	$R_s$	0.75 [ $\Omega$ ]
정격전압	220 [V]	$R_r$	0.56 [ $\Omega$ ]
정격전류	13.5 [A]	$L_s$	53.91 [mH]
극수	4	$L_r$	53.91 [mH]
정격주파수	60 [Hz]	$L_m$	52.2 [mH]
정격속도	1730 [rpm]	$J$	0.06 [ $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ ]

3.2 실험 결과 및 분석

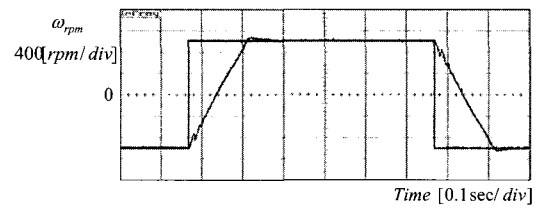
그림 5는  $1/\hat{\tau}_r$  이 정확한 경우와  $\pm 20\%$  오차를 가진 경우에 대해 기준속도를 1000  $\leftrightarrow$  -1000rpm으로 계단 변경시켰을 때의 속도 응답을 나타내는 파형이다. 고속영역에서는 고피나스 모델 자속 관측기에서 전압모델이 우세하지만 전류모델의 전동기 상수 오차의 영향으로 인하여 속도 응답의 지연이 나타나고 있다.

그림 6은  $1/\hat{\tau}_r$  이 정확한 경우와  $\pm 20\%$ 를 오차를 가진 경우 속도지령을 300  $\leftrightarrow$  -300rpm으로 계단 변경했을 때의 속도 응답을 나타내는 파형이다. 저속영역에서는 전류모델이 우세하기 때문에 회전자 시정수의 오차가 있으면 속도응답 특성이 현저히 나빠지는 것을 알 수 있다.

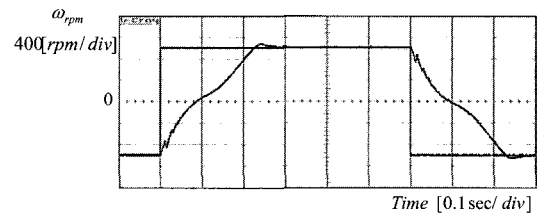
그림 7은  $L_m$  에  $+20\%$ 의 오차가 경우로서  $1/\hat{\tau}_r$  의 초기값은  $8.66[\text{sec}^{-1}]$ 이며 회전자 시정수 추정 알고리즘에 의해서 최종적으로는  $10.88[\text{sec}^{-1}]$ 로 수렴하여 4.7%의 오차를 갖는다. 그림 8에서는  $R_s$  에  $+20\%$ 의 오차가 있기 때문에  $1/\hat{\tau}_r$  의 초기값은  $12.47[\text{sec}^{-1}]$ 이며 수렴값은  $10.71[\text{sec}^{-1}]$ 로서 추정 오차는 3.1%이다. 그림 9 와 10은 회전자 시정수에 직접 영향을 미치지 않는  $R_s$  와  $\sigma L_s$  에 20% 오차가 있을 때 회전자 시정수의 추정 특성을 나타낸 것이다. 그림 9는  $R_s$  에  $+20\%$ 의 오차가 있어  $R_s = 1.2 \cdot R_{s\_real}$  인 경우로서  $1/\hat{\tau}_r$  의 초기값은 정확한 값인 반면에 추정 알고리즘이 동작하면  $R_s$  가 전압모델에 영향을 미치기 때문에  $1/\hat{\tau}_r$  이 실제값에서

벗어나 최종적으로  $10.54[\text{sec}^{-1}]$ 가 되어 추정값의 오차는 1.4%이다. 그림 10은  $\sigma L_s$  에  $+20\%$ 의 오차가 있어  $\sigma L_s = 1.2 \cdot \sigma L_{s\_real}$  인 경우로서  $1/\hat{\tau}_r$  의 초기값은 실제값과 같으며 추정값은 10.64로서 추정 오차는 2.4%이다.

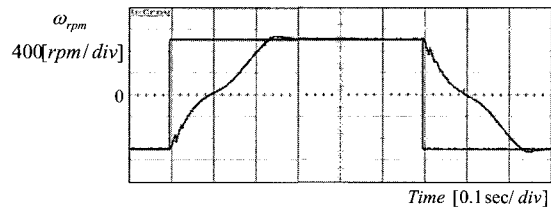
표 2는 전동기 상수의 오차가  $+20\%$ 인 경우의 회전자 자속 추정 특성을 정리한 것이며 표3은  $-20\%$ 의 상수 오차에 대한 추정 특성을 정리한 것이다. 전동기 구동시 동작 온도에 따라 회전자 저항  $R_r$  이 가장 많이 변하며 나머지 상수들은 오프라인 상으로 구한 값에서 크게 변하지 않는 점을 고려하면 제안한 방식의 회전자 시정수 추정 알고리즘은 최대 약 5%이내의 오차를 나타내어 전동기 상수변화에 대한 영향이 작다.



(a) 회전자 시정수가 정확한 경우  
(a) In case of correct rotor time constant

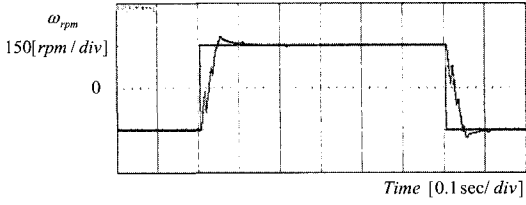


(b)  $1/\hat{\tau}_r = 1/\tau_r \times 1.2$  인 경우  
(b) In case of  $1/\hat{\tau}_r = 1/\tau_r \times 1.2$

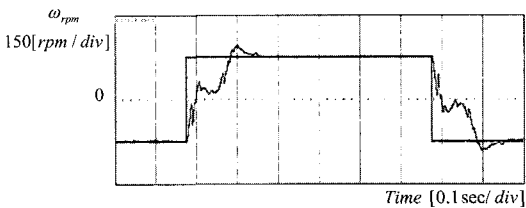


(c)  $1/\hat{\tau}_r = 1/\tau_r \times 0.8$  인 경우  
(c) In case of  $1/\hat{\tau}_r = 1/\tau_r \times 0.8$

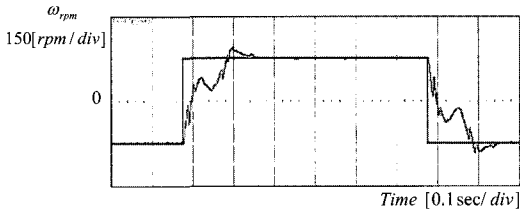
그림 5 계단 속도 응답(1000  $\leftrightarrow$  -1000rpm)속도  
Fig. 5 Step speed response(1000  $\leftrightarrow$  -1000rpm)



(a) 회전자 시정수가 정확한 경우  
(a) In case of correct rotor time constant



(b)  $1/\hat{\tau}_r = 1/\tau_r \times 1.2$ 인 경우  
(b) In case of  $1/\hat{\tau}_r = 1/\tau_r \times 1.2$



(c)  $1/\hat{\tau}_r = 1/\tau_r \times 0.8$ 인 경우  
(c) In case of  $1/\hat{\tau}_r = 1/\tau_r \times 0.8$

그림 6 계단 속도 응답(300 ↔ -300rpm)  
Fig. 6 Step speed response(300 ↔ -300rpm)

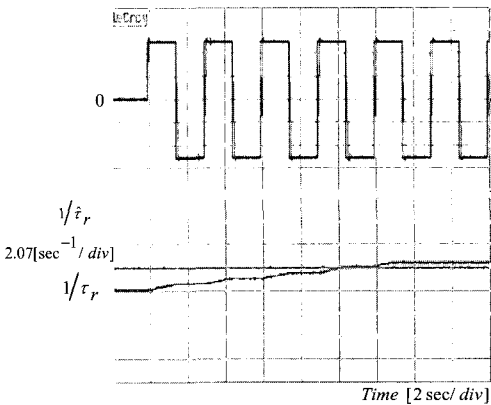


그림 7  $L_m = 1.2 \cdot L_{m\_real}$ 인 경우  $1/\hat{\tau}_r$  추정  
Fig. 7 Estimation of  $1/\hat{\tau}_r$  in case of  $L_m = 1.2 \cdot L_{m\_real}$

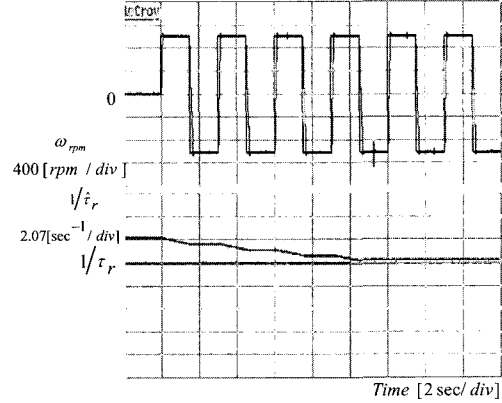


그림 8  $R_r = 1.2 \cdot R_{r\_real}$ 인 경우  $1/\hat{\tau}_r$  추정  
Fig. 8 Estimation of  $1/\hat{\tau}_r$  in case of  $R_r = 1.2 \cdot R_{r\_real}$

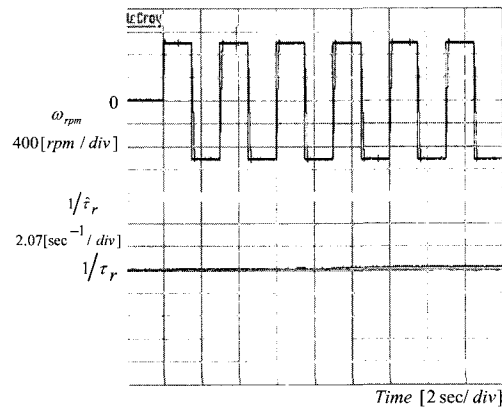


그림 9  $R_s = 1.2 \cdot R_{s\_real}$ 인 경우  $1/\hat{\tau}_r$  추정  
Fig. 9 Estimation of  $1/\hat{\tau}_r$  in case of  $R_s = 1.2 \cdot R_{s\_real}$

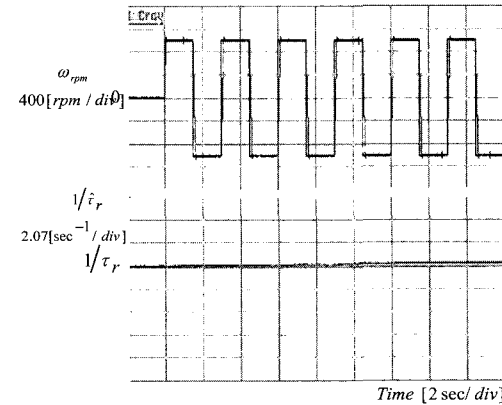


그림 10  $\sigma L_s = 1.2 \cdot \sigma L_{s\_real}$ 인 경우  $1/\hat{\tau}_r$  추정  
Fig. 10 Estimation of  $1/\hat{\tau}_r$  in case of  $\sigma L_s = 1.2 \cdot \sigma L_{s\_real}$

표 2 전동기 상수 오차(+20%) 에 따른  $1/\hat{\tau}_r$  추정  
 Table 2 Estimation of  $1/\hat{\tau}_r$  according to the Motor Parameters errors (+20%)

Parameters in error	Estimated value of $1/\tau_r$	
	[sec <sup>-1</sup> ]	error[%]
$R_r$	10.71	3.1
$L_m$	10.88	4.7
$R_s$	10.54	1.4
$\sigma L_s$	10.64	2.4

표 3 전동기 상수 오차(-20%) 에 따른  $1/\hat{\tau}_r$  추정  
 Table 3 Estimation of  $1/\hat{\tau}_r$  according to the Motor Parameters errors (-20%)

Parameters in error	Estimated value of $1/\tau_r$	
	[sec <sup>-1</sup> ]	error[%]
$R_r$	10.68	2.8
$L_m$	10.78	3.8
$R_s$	10.60	2.0
$\sigma L_s$	10.62	2.2

#### 4. 결 론

본 논문에서는 고퍼나스 모델 자속 관측기를 사용한 유도 전동기의 직접백터제어 시스템에서 회전자 시정수의 오차가 속도응답에 미치는 영향을 실험을 통해 고찰하였으며 그 영향을 경감시키기 위한 회전자 시정수 보상 알고리즘을 개발하였다.

고퍼나스 모델 자속 관측기는 저속 영역에서는 전류 모델이 우세하여 회전자 시정수의 오차 영향을 많이 받으며 고속 영역에서는 전압모델이 우세하여  $R_s$  나  $\sigma L_s$  의 영향이 크다. 그러나 고속에서는  $R_s$  나  $\sigma L_s$  에 의한 전압 강하가 역기전력에 비해 충분히 작기 때문에 고퍼나스 모델을 기준 모델로, 전류 모델을 적응 모델로 하는 MRAC를 적용하여 회전자 시정수를 실시간으로 추정할 수 있다.

제안한 회전자 시정수 추정 알고리즘을 적용하였을 때 전동기 상수 중에서 고퍼나스 모델 자속 관측기에 직접 영향을 미치는  $R_r$ ,  $L_m$ ,  $R_s$ ,  $\sigma L_s$  각각의  $\pm 20\%$

의 오차가 있는 경우 대략 5% 이내의 추정 오차를 보였다. 전동기 구동시 동작 상태에 따라 회전자 저항  $R_r$  이 가장 많이 변하여 나머지 상수들은 오프라인으로 구한 값에서 크게 벗어나지 않는 점을 고려하면 제안한 방식의 회전자 시정수 추정 알고리즘을 적용함으로써 고퍼나스 모델 자속 관측기의 성능이 개선되어 제어 성능이 우수한 직접백터제어 시스템을 구현할 수 있다.

본 논문에서 제안한 방식의 장점은 기존의 직접백터제어에 사용한 고퍼나스 모델 자속관측기를 그대로 이용할 수 있으며 단지 회전자 시정수를 추정하는 PI 제어기만 하나 더 추가함으로써 간단하게 직접백터제어를 구현할 수 있다는 점이다.

본 연구는 한국과학재단 지정 울산대학교 네트워크 기반 자동화 연구센터의 지원에 의한 것입니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] R. Gabriel, W. Leonhard and C. J. Nordby, "Field Oriented Control of a Standard AC Motor using Microprocessors," IEEE Trans. on Ind. Appl., Vol. 16, No. 2, March/April, 1980.
- [2] Luis J. Garces, "Parameter Adaption for the Speed Controlled Static AC Drives with a Squirred cage Induction Motor," IEEE Trans. on Ind. Appl, Vol. 16, No. 2 March/April, 1980.
- [3] R. Krishnan and Frank C. Dorn, "Study of Parameter Sensitivity in High Performance Inverter-Fed Induction Motor Drive System," IEEE Trans. on Ind Appl., Vol. 23, No.4, July/August, 1987.
- [4] George C. Verghese and Seth R. Sanders, "Observers for Flux Estimation in Induction Machines," IEEE Trans. on Ind. Elect., Vol. 35, No. 1, pp. 85~94, Feb., 1988.
- [5] Hisao Kubota, Kouki Matsuse and Takayoshi Nakano, "New Adaptive Flux Observer of Induction Motor for Wide Speed Range Motor Drives," IEEE IECON90, pp. 921~926.
- [6] Malik Elbuluk, Nikola Langovsky and M. David Kankam, "Design and Implementation of a Closed-Loop Observer and Adaptive Controller for Induction Motor Drives," IEEE Trans. on Ind. Appl., Vol. 34, No. 3, pp. 435~443, May/Jun. 1998.
- [7] Isao Takahasi and Toshihiko Noguchi, "A New Quick-Response and High-Efficiency Control Strategy

of an Induction Motor," IEEE Trans. on Ind. Appl., Vol. 22, No. 5, pp. 820~827, Sep/Oct. 1986.

[8] Patrick L. Jansen and Robert D. Lorenz, "A Physically Insightful Approach to the Design and Accuracy Assessment of Flux Observers for Field Oriented Induction Machine Drives," IEEE Trans. on Ind. Appl., Vol. 30, No. 1, pp. 101~110, Jan/Feb. 1994.

[9] Patrick L. Jansen and Robert D. Lorenz and Donald W. Novotny, "Observer-Based Direct Field Orientation : Analysis and Compensation of Alternative Methods," IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. 30, No. 4, pp. 945~953, Jul/Aug. 1994.

[10] H.Kubota, K.Matsuse and T.Nakano, "DSP-Based Speed Adaptive Flux Observer of Induction Motor," IEEE Trans. on I.A., Vol. 29, No.2, Mar./Apr., pp. 344~348, 1993.

[11] 최중우, 남현택, 박용환, 김홍근, "파라미터 민감도를 이용한 유도전동기 회전자 자속관측기의 특성비교", *전력전자학회 논문지*, 제7권, 제4호, pp. 377~383, 2002.8.

[12] 박용환, 최중우, 김홍근, 최영태, 노의철, 전태원, "자속관측기를 이용한 유도전동기 센서리스제어의 특성해석", *전력전자학회 논문지*, 제8권, 제4호, pp. 299~306, 2003.



**이홍희(李弘熙)**

1957년 10월 15일생. 1980년 서울대 전기공학과 졸업. 1982년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 울산대 전기전자 및 자동화공학부 교수.



**전태원(全泰園)**

1959년 1월 30일생. 1981년 부산대 전기공학과 졸업. 1983년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 울산대 전기전자 및 자동화공학부 교수. 당 학회 편집이사

**저 자 소 개**



**배상준(裵相俊)**

1973년 6월 26일생. 2001년 경일대 전기공학과 졸업. 2004년 경북대 대학원 전기공학과 졸업(석사).



**최중우(崔鐘宇)**

1969년 2월 25일생. 1991년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 경북대 전자전기공학부 조교수. 당 학회 편집위원.



**김홍근(金興根)**

1956년 4월 24일생. 1980년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1982년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 경북대 전자전기공학부 교수.