

파라미터 추정을 통한 유도전동기의 고정자 자속 기준 벡터 제어

함년근* 전기영 김성남* 이승환** 이훈구** 한경희*
*명지대학교 **충남전문대학

Stator Flux Vector Control Of Induction Motor using Parameter Estimation

Nyun-Kun Hahm*, Kee-young Jun*, Sung-Nam Kim*, Seung-Hwan Lee**,
Hoon-Goo Lee**, Kyung-Hee Han*
* Myong Ji University ** Chung Nam Junior College

Abstract - In the induction motor control, the rotator flux estimation methods are used in the implement vector control of the induction motor instead of the potential-meter or tacho-meter, a system is very sensitive in noise.

In this paper, the parameters that do not affect the stability of the system were applied in Off-Line tuning methods. In case of the rotator resistor that is sensitive, On-Line tuning methods applied in the steady state.

We ascertained that the utility of a theory applied in stator flux orientation vector control through the simulation.

1. 서 론

유도전동기의 제어에 있어 위치점출기 및 자속점출기를 사용하지 않고 유도전동기의 벡터제어 구동 시스템을 구현하기 위하여 회전자 자속을 예측하는 방법들이 사용되어 왔다. 그러나 이러한 시스템은 전동기의 쇄교자속을 예측하여야 하기 때문에 노이즈에 매우 민감하다.

본 논문에서는 시스템의 안정도에 많은 영향을 주지 않는 파라메타들은 Off-Line Tuning 기법을 사용하고, 응답에 민감한 회전자 저항의 경우에는 정상상태에서 On-Line Tuning 기법을 적용하였다. 또한 시뮬레이션을 통한 고정자 자속 기준 벡터제어에 적용함으로써 이론의 실효성을 확인한다.

2. 본 론

2.1 유도기 파라메터 추정 알고리즘

d-q변환에 의한 유도전동기를 그림1의 T형 등가 모델로 해석하고 이에 따른 파라메터를 추정한다.

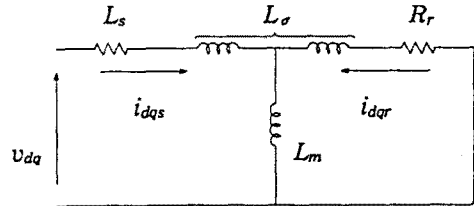


그림 1. 유도전동기 T형 등가 모델

2.1.1 OFF-LINE TUNING 방법

가. 고정자 저항의 추정

$\omega_r = 0$ 인 상태에서 토크분전류 (i_m)를 0으로 하고 자속분전류 (i_d)를 무부하전류 (I_m)로 제어하면 이 때 유기되는 전압 v_d 에서 식(1)을 얻을 수 있다.

$$R_r = \frac{v_d^e}{i_d^e} \tag{1}$$

나. 누설 인덕턴스의 추정

그림2의 회로에서 인버터의 스위치 $sa+$, $sb-$, $sc-$ 을 Turn-on 하면, $v_d^e = \frac{2}{3} V_{dc}$ 의 전압이 인가되며, 초기 과도상태에서는 쇄교자속이 0이 되므로 누설인덕턴스는 식(2)와 같이 표현될 수 있다.

$$L_\sigma = v_d^e \frac{dt}{di_d^e} \tag{2}$$

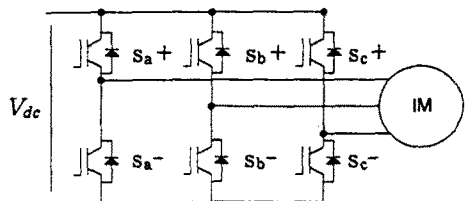


그림2. 인버터의 스위치 구성

다. 상호인덕턴스의 추정

무부하상태에서 고속운전의 경우는 고정자 저항과 누설인덕턴스(L_s)의 영향이 배제되므로 정상상태에서의 정격자속을 λ_m 이라 할 때 상호인덕턴스(L_m)은 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$L_m = \frac{\lambda_m}{I_m} \quad (3)$$

여기에서, I_m = 무부하전류, λ_m = 정격자속

2.2 ON-LINE TUNING방법에 의한 회전자 저항의 추정

회전자 저항의 추정에 있어 제안된 방법은 고정자측에 테스트 파형의 주입이 불필요하며 운전 중에 연속적인 on-line 추정이 가능하다. 또한 미분항이나 적분항을 갖지 않음으로 노이즈나 저속에서도 강인성을 갖는다.

고정좌표계에 의한 고정자 및 회전자의 유도전동기 방정식은 다음과 같다.

$$v_{\alpha} = L_m \frac{di_{\alpha r}}{dt} + L_r \frac{di_{\alpha s}}{dt} + R_s i_{\alpha s} \quad (4)$$

$$v_{\beta s} = L_m \frac{di_{\beta r}}{dt} + L_r \frac{di_{\beta s}}{dt} + R_s i_{\beta s} \quad (5)$$

$$0 = L_m \frac{di_{\alpha r}}{dt} + L_r \frac{di_{\alpha r}}{dt} + R_r i_{\alpha r} - L_m \omega_s i_{\beta s} - L_r \omega_s i_{\beta s} \quad (6)$$

$$0 = L_m \frac{di_{\beta r}}{dt} + L_r \frac{di_{\beta r}}{dt} + R_r i_{\beta r} - L_m \omega_s i_{\alpha s} - L_r \omega_s i_{\alpha s} \quad (7)$$

고정좌표계에서 고정자측에 흐르는 전류를 $i_{\alpha s} = A \cos \omega_s t$, $i_{\beta s} = -A \sin \omega_s t$ 라 할 때, 양변을 미분하여 정리하면 식(8)로 정리된다.

$$\begin{aligned} \frac{di_{\beta s}}{dt} &= -\omega_s i_{\alpha s}, & \frac{di_{\alpha s}}{dt} &= \omega_s i_{\beta s} \\ \frac{di_{\beta r}}{dt} &= -\omega_s i_{\alpha r}, & \frac{di_{\alpha r}}{dt} &= \omega_s i_{\beta r} \end{aligned} \quad (8)$$

또한, 식(8)을 식(5)와 (6)에 대입하면, 식(9)와 (10)을 얻을 수 있다.

$$i_{\beta r} = \frac{v_{\alpha} - i_{\alpha r} R_s - L_s i_{\beta s} \omega_s}{L_m \omega_s} \quad (9)$$

$$i_{\alpha r} = \frac{v_{\beta s} - i_{\beta s} R_s - L_s i_{\alpha s} \omega_s}{-L_m \omega_s} \quad (10)$$

또한, 식(6)과 (7)에 식(8)을 적용하여 미분항을 소거하면 다음과 같다.

$$i_{\beta r} = \frac{L_m i_{\alpha s} + L_r i_{\alpha r}}{R_r} \omega_s \quad (11)$$

$$i_{\alpha r} = \frac{L_m i_{\beta s} + L_r i_{\beta r}}{-R_r} \omega_s \quad (12)$$

식(9)와 식(11), 식(10)과 식(12)을 같게 놓고, 연립으로 풀어 고정자 저항을 제거하면, 식(13)에서 회전자 저항(R_r)을 구할 수 있다.

$$R_r = \frac{L_r \omega_s \sqrt{-K^2 + \frac{KL_m^2 T}{L_r}}}{K} \quad (13)$$

여기에서, $P = v_{\beta s} \cdot i_{\alpha r} - v_{\alpha s} \cdot i_{\beta r}$

$$T = \omega_s \cdot (i_{\beta s}^2 + i_{\alpha s}^2)$$

$$K = L_s T - P$$

2.3 고정자 자속기준 벡터제어

회전자 자속을 기준으로 한 벡터제어의 경우에는 회전자자속의 정확한 연산이 어렵다. 따라서 고정자 자속을 기준축으로 하여 제어변수를 고정자에 관계된 변수로 표현함으로써 더욱 정확한 벡터제어를 구현할 수 있다.

다음은 고정자 자속 기준 벡터제어법에 의한 제어블럭 다이어그램으로 나타내었다.

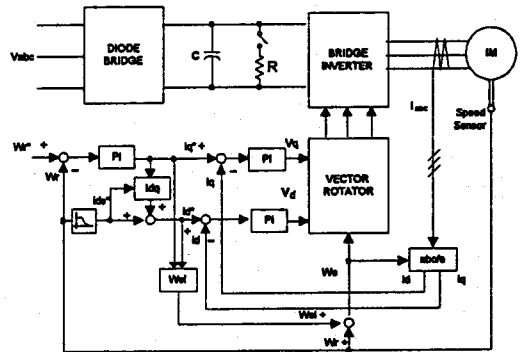


그림 3. 고정자 자속기준 벡터제어에 의한 블럭다이어그램

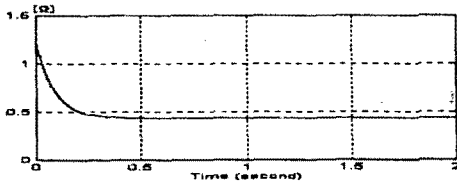
여기서 간섭분전류 $i_{\beta s} = \frac{\omega_s \cdot T_r \cdot \sigma \cdot i_{\alpha s}}{1 - \sigma T_r p}$, 슬립 $\omega_{sl} = \frac{(1 + \sigma T_r p) i_{\alpha s}}{T_r (1 - \sigma) i_{\beta s}}$ 로 나타내며, 추정된 파라미터를 적용하여 제어를 구성하여 시뮬레이션을 행한다.

3. 시뮬레이션

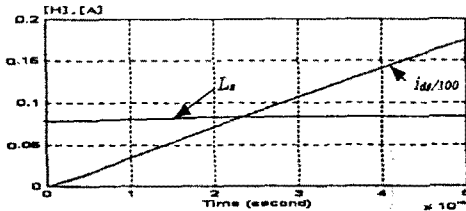
표 1.은 시뮬레이션에 사용된 전동기의 파라미터를 나타낸다. 이상적인 경우를 가정하여 유도전동기를 모델링하고 이에따른 파라미터를 추정한다.

표 1. 유도전동기 파라미터

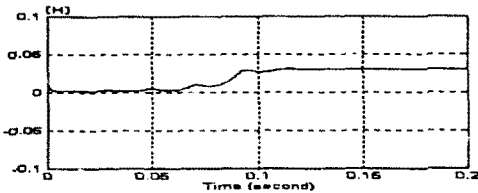
고정자저항 (R_s)	0.435[Ω]	관성 계수(J)	0.089[N.m]
회전자저항 (R_r)	0.816[Ω]	마찰 계수(a)	0.0032[kg·m ² /sec]
상호인덕턴스(L_m)	0.035[H]	교류입력전압	220[V]
누설인덕턴스(L_s)	0.073[H]	정 격	5[Hz]



a. 상호 인덕턴스 추정파형



b. 누설 인덕턴스 추정파형



c. 고정자 저항 추정파형

그림 4. off-line tuning 방법에 의한 파라미터의 추정

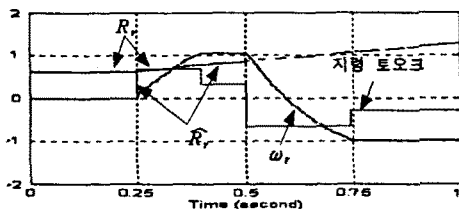
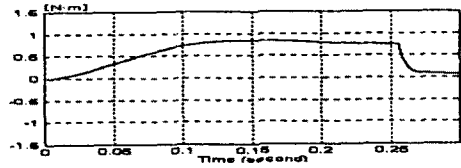
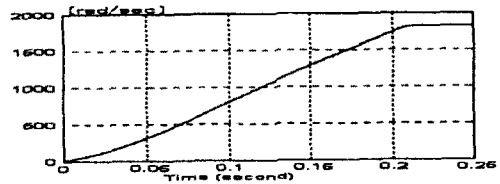


그림 5. on-line tuning 방법에 의한 회전자저항의 추정



a. 토크 곡선



b. 속도 곡선

그림 6. 파라미터 추정에 의한 고정자 자속기준 벡터 제어를 통한 속도 추정파형

전체적인 시뮬레이션은 Matlab의 Simulink를 사용하였다. 그림 4는 테스트 파형 주입후 정상상태에 이르렀을 때 파라미터값에 접근하는 것을 볼 수 있으며 그림 5는 0.25초에서 전동기를 구동시켜 R_s 의 증가에 따른 파라미터 R_r 파형을 나타내었다.

4. 결론

본 논문에서는 시뮬레이션을 이용하여 유도기를 모델링하고 Off-Line tuning 기법 및 On-Line tuning 기법을 사용하여 파라미터를 추정하였다.

또한 추정된 파라미터를 고정자 자속 기준 벡터 제어에 적용함으로써 이론의 타당성을 확인하였다. 앞으로의 과제로는 실제 실험을 통한 이론의 검증에 있다.

[참고 문헌]

- [1] Peter Vas. "Vector Control of AC Machines." Clarendon Press Oxford 1990, pp 311-319
- [2] K. Sul. "A novel technique of rotor resistance estimation considering the variation of mutual inductance." IEEE trans. Ind. Applicat., vol25, no4, july/August 1989, pp.578-587.
- [3] S. shirsavar, M. McCulloch, "Speed sensor-less vector control of induction machines". proc.canadian Conference in Electrical and Computer Engineering., May 1996, in press.