

타부 탐색법을 이용한 유도전동기 파라미터 오토튜닝

박경훈, 한경식*

LS산전 자동화제품연구소

Estimation to Induction Motor Parameters Using Tabu-Search

Kyeoung-Hun. Park, Kyung-Sik. Han

Automation R&D Center, LS Industrial Systems Co, Ltd.

ABSTRACT

In order to simplify the offline identification of induction motor parameters, a method based on optimization using a Tabu Search algorithm is proposed. The Tabu Search algorithm is used to minimize the error between the actual data and an estimated model. The robustness of the method is shown by identifying parameters of the induction motor in three different cases. The simulation results show that the method successfully estimates the motor parameters.

1. 서론

최근 벡터제어에 의해 고성능 산업응용 분야에 유도전동기가 사용되고 있으며, 속도 센서가 없는 속도센서리스 벡터제어 이론에 대한 연구가 활발하게 진행되어 왔다.^[1] 이러한 벡터제어나 센서리스 벡터제어시 유도전동기의 회전자 시정수나 상호인덕턴스값과 같은 파라미터값들이 실제와 같지 않으면 만족할 만한 성능을 내기어렵기 때문에, 이러한 파라미터를 정확하게 측정하는 것이 중요하다. 이러한 측정방법에 대해서는 지금까지 많은 연구가 진행되어 왔다^[1]. 특히 중요한 회전자 시정수, 상호인덕턴스 여자전류와 같은 파라미터값은 전동기를 회전시키면서 측정하는 것이 효과적이나 엘리베이터나 크레인과 같은 대부분의 산업현장에서는 모터를 회전하지 못하고 설치해야 경우가 많다. 이와같이 중요한 전동기 파라미터값을 정확하게 측정하는 것이 어렵다. 따라서 본 논문에서는 타부 탐색을 이용한 MRAS기법을 이용하여 모터를 회전시키지 않는 정지상태에서 전동기 파라미터값을 측정하는 방법을 제안하였으며, 제안된 방법을 유도전동기 센서리스 벡터제어기에 적용하였고 성능을 시뮬레이션과 실험으로 검증 하였다.

2. 전동기 파라미터 오토튜닝 방법

2.1 절 유도전동기 회전자 쇄교자속 연산

유도전동기가 정지된 상태에서 낮은 주파수의 구형파 전류를 인가하여 전류 모델에서의 2차 쇄교 자속이 전압 모델에서의 2차 쇄교 자속을 추종하도록 적응 제어 알고리즘을 이용한

여회전자시정수(τ_r) 및 상호인덕턴스(L_m) 을 측정하고 여자전류 (If)는 고정자 저항 R_s , 누설 인덕턴스 σL_s , 상호 인덕턴스 L_m 을 가지고 등가회로법을 통하여 구한다.

고정자 좌표계에서 유도전동기의 회로방정식을 이용하여, 전압모델에서 회전자 쇄교 자속을 구하면 식(1)과 같고, 측정된 고정자저항, 누설인덕턴스를 이용하여 회전자 쇄교자속을 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \dot{\phi}_{dr} \\ \dot{\phi}_{qr} \end{bmatrix} = \frac{L_r}{L_m} \begin{bmatrix} v_{ds} \\ v_{qs} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R_s + \sigma L_s P & 0 \\ 0 & R_s + \sigma L_s P \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \end{bmatrix}$$

(1)

여기서,

- R_s , 고정자저항
- L_s, L_r 고정자와 회전자 인덕턴스
- L_m 상호 인덕턴스
- σL_s 누설 인덕턴스
- P 미분 연산자
- ϕ_{dr}, ϕ_{qr} d, q 축 회전자 쇄교 자속
- V_{ds}, V_{qs} d, q 축 고정자 전압
- i_{ds}, i_{qs} d, q 축 고정자 전류

전동기가 정지된 상태 즉 속도 $\omega_{re}=0$ 이라고 가정하면, 전류모델에의해 d, q 축 회전자 쇄교 자속은 다음식과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \phi_{dr} \\ \phi_{qr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1/\tau_r & 0 \\ 0 & -1/\tau_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_{dr} \\ \phi_{qr} \end{bmatrix} + \frac{L_m}{\tau_r} \begin{bmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \end{bmatrix}$$

(2)

2.2 절 타부 탐색법을 이용한 시정수(τ_r), 상호 인덕턴스 (L_m) 및 여자 전류 (If) 측정

그림 1에 유도전동기 파라미터 추정을 위한 MRAC 적응제어의 블록도를 나타낸다. 유도전동기가 정지된 상태에서 저주파의 구형파 전류(i_{qs})를 인가하여 전류모델에서의 회전자 쇄교 자속이 전압모델에서 얻어진 회전자 쇄교자속을 추종하도록 구현하여 회전자 시정수 τ_r , 상호인덕턴스 L_m 을 추정한다.

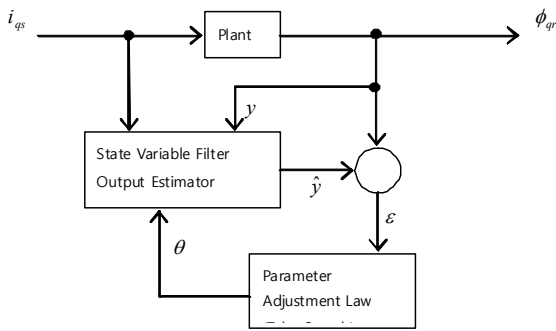


그림 1. MRAC 적응제어기의 블록도
Fig. 1 The Block Diagram of MRAC Adaptive Controller

1.3 절 타부 탐색법

타부 탐색은 최적화문제를 해결하는 최적화 기법의 하나로 인간의 기억과정을 이용해 복잡한 해 영역에서 최적해를 얻기 위해 탐색을 유도하는 휴리스틱적인 기술이다[2]. 이것은 1970년대 후반에 글러버(Glover)에 의해서 소개되었고 유전자 알고리즘(GA)이나 시뮬레이티드 어닐링(SA)등과 같은 전역적 탐색기법에 비해 대상문제에 관한 지식을 활용하기에 유리한 탐색기법이다[2]이 탐색 메커니즘은 목적함수 최소화를 위한 효과적인 해 개선을 통하여 최적해에 가까이 갈 목적으로 수행된다.

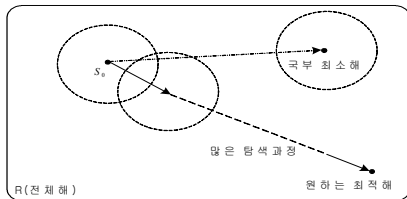


그림 2. 이웃해를 생성하는 일반적인 방법
Fig. 2 general method for generating neighborhood

그림 2에서 알 수 있듯이 최적해가 So에서 멀리 존재할 때 최적해에 접근하기 위하여 많은 탐색과정을 거쳐야 된다. 또한 접근 방향이 최적해에 가까이 가지 못한다면 국부 최소해에 빠질 가능성이 크다. 이러한 문제점은 이웃해의 분포를 좀 더 확장하여 해결할 필요가 있다. 이웃해를 확장할 때 기준해 So 근처의 이웃해가 최적해가 될 가능성이 높으므로 큰 밀도로 해가 존재하고 멀어질수록 최적해가 될 가능성이 적으므로 해가 존재할 가능성이 적다. 본 논문에서는 연산의 간략화를 위해 그림 3과 같이 삼각함수 분포(Triangular Random Distribution)로 단순화 하여 이웃해를 선정하도록 하였다. So는 기준해, 전체해 영역을 R 이웃해 존재구간을 d 라고 하고 ($0 \leq R \leq 1$)라고 한다.

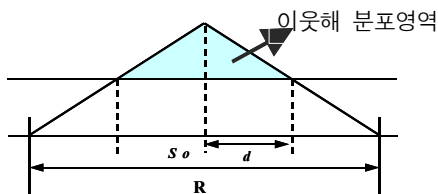


그림 4. 삼각함수 분포
Fig. 4 Triangular Random Distribution

타부탐색을 사용한 제안한 알고리즘의 수행은 다음과 같다.
(1) 초기해 생성(초기해 So는 랜덤하게 생성한다.)

$$S_0 = \{init1, init2, init3\} \quad (3)$$

(2)이웃해 생성

생성된 초기해 또는 현재의 최적해를 이용하여 가우시안 랜덤 분포를 이용하여 해를 생성한다.

(3)성능평가

위의 과정에서 생성된 이웃해 N(S)들로부터 각각의 성능지수(Performance Index)인 식 (20)과 같은 Oj 를 통해 새로운 최적의 해를 찾는다.

$$O_j = \text{Minimize} \sum_{k=1}^n E(k) \quad (4)$$

3. 실험결과

본 논문에서 제안한 전동기 파라미터 추정 방법을 표 1과 같은 1.5kW급 유도전동기를 이용하여 성능을 시뮬레이션과 실험으로 검증 하였고 그 결과, 256ms의 회전자 시정수 τ 과 48.1mH의 상호인덕턴스 Lm을 얻을 수 있었다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터

Table. 1 Simulation parameters

고정자저항	Rs	0.032
회전자 저항	Rr	0.195
고정자 인덕턴스	Ls	48mH
회전자 인덕턴스	Lr	1.817mH
상호 인덕턴스	Lm	48mH

3. 결론

본 논문에서는 타부 탐색법을 이용하여 모터를 회전시키지 않는 정지상태에서 회전자시정수, 상호인덕턴스, 여자전류따위의 유도전동기 파라미터값을 측정하는 방법을 제안하였다. 이 방법은 구현이 쉽고, 오차가 작으며, 연산 시간이 매우짧은 장점이있다. 또한 엘리베이터, 크레인, 주차설비와 같이 정지한 상태에서 전동기 파라미터를 자동으로 추정해야하는 산업현장에 본 제안 방법을 적용 한다면 유용하리라 본다.

참고 문헌

- [1] C. Schauder "Adaptive Speed identification for vector control of induction motor without rotational transducers"IEEE Trans. Ind. Appl. Vol. 28 No. 5 pp. 493-499, 1992.
- [2] F. Glover, "Future Paths for Integer Programming and Link to Artificial Intelligence," Computers and Operations Research, 12:533-549, 1986.
- [3] D. Karaboga and A. Kalili, "Tuning PID Controller Using Tabu Search Algorithm", IEEE International Conference on Volume: 1, 14-17 Oct pp.134-136, 1996.
- [4] F. Z. Peng and T. Fukao "Robust speed identification for speed-sensorless vector control of induction motors" IEEE Trans. Ind. Appl. vol. 30 no. 5 pp. 1234-1240, 1994