

클러스터링 적응 퍼지 제어를 이용한 브러시리스 직류 전동기의 토크 제어

Torque Control of Brushless DC Motor Using a Clustering Adaptive Fuzzy Logic Controller

권 정 진, 한 우 용**, 이 창 구***, 김 성 중****

* 전북대학교 제어계측공학과(Tel : 063-272-1973; Fax : 063-270-2451 ; E-mail : GuaGua@orgio.net)

** 전주공업대학 전기과(Tel : 063-220-3834; E-mail : wyhan@jtc.ac.kr)

*** 전북대학교 전자정보공학부(Tel : 063-270-2476; E-mail : changgoo@moak.chonbuk.ac.kr)

**** 전북대학교 전자정보공학부(Tel : 063-270-2393; E-mail : sjkim@moak.chonbuk.ac.kr)

Abstract : A Clustering Adaptive Fuzzy Logic Controller(CAFLC) is applied to the torque control of a brushless dc motor drive. Objective of this system includes elimination of torque ripple due to cogging at low speeds under loads. The CAFLC implemented has advantages of computational simplicity, and self-tuning characteristics. Simulation results showed that the torque ripple and dynamic response of the system using a CAFLC were superior to the model reference adaptive controlled system.

Keywords : Adaptive fuzzy, Clustering, Brushless, Torque ripple

1. 서론

브러시리스 직류 전동기는 넓은 속도 범위에 걸쳐 높은 효율을 유지하고 정밀도가 높으며 제어가 용이하여 산업현장에서 널리 사용되고 있다. 그러나 브러시리스 직류 전동기는 운전시 비연속 모드의 전류 제어로 인한 코깅 현상과 이상적인 사다리꼴 역기전력과 실제의 역기전력간의 차이로 인한 리플 성분으로 인하여 토크 리플이 발생한다[1].

지금까지 브러시리스 직류 전동기의 운전시 발생하는 토크 리플을 감소시키기 위하여 많은 연구가 이루어졌다. Kang은 전류 예측 제어를 기반으로 직접 전류 제어를 수행하여 토크 리플을 감소시키는 방법을 제시하였으나 토크 관측기를 설계하기 위해서는 시스템 정보를 필요로 한다는 단점이 있다[2]. Tang은 FFT를 이용하여 토크 리플의 하모닉을 계산하여 가변 구조 제어기에 적용하여 토크 리플을 감소시키는 방법을 제시하였다[3].

최근에는 퍼지 논리에 적응성을 추가한 적응 퍼지 논리 시스템을 이용하여 토크 리플을 감소시키는 방법이 많이 연구되고 있다. Huh는 기존의 모델 기준 적응 제어기에 적응 퍼지 논리 시스템을 적용하였다[4]. 이 방법은 파라미터가 실제값으로 수렴하도록 하는 추정 능력을 가지면서도 기존의 모델 기준 적응 제어기보다 빠른 응답 특성을 보였다.

본 논문에서는 리플 현상이 없는 토크 특성을 얻기 위해 클러스터링 적응 퍼지 제어를 브러시리스 직류 전동기에 적용하였다. 클러스터링 적응 퍼지 제어기는 제어 대상의 모델링을 필요로 하지 않으며, 학습을 위해서 많은 입·출력 데이터를 이용할 수 없는 시스템에 적합하다. 또한 모델 기준 적응 제어기에 비해 빠른 수행 능력을 보인다. 이 제어기는 최적 퍼지 논리 제어기에 적응성을 추가한 형태이며, fuzzifier, rule-base와 defuzzifier의 기본 성분으로 구성된다[5].

2. BLDC 전동기의 모델링

브러시리스 직류 전동기의 고정자는 3상 Y결선으로 되어있고 회전자는 영구자석으로 되어있다. 고정자의 역기전력 파형은 사다리꼴형태이며 고정자 권선의 분포가 대칭적인 때 전기적인 회로 방정식은 다음과 같다[6].

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & 0 & 0 \\ 0 & R & 0 \\ 0 & 0 & R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} L & M & M \\ M & L & M \\ M & M & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

$i_a + i_b + i_c = 0$ 이고, $Mi_b + Mi_c = -Mi_a$ 이므로 회로 방정식은 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{di_x}{dt} = \left(\frac{1}{L-M} \right) [V_x - Ri_x - e_x], \quad x=a,b,c \quad (2)$$

기계적인 상태 방정식은 아래와 같다.

$$J \frac{d\omega}{dt} = T_e - T_l - B\omega \quad (3)$$

$$\frac{d\theta}{dt} = \omega \quad (4)$$

$$T_e = \frac{e_a i_a + e_b i_b + e_c i_c}{\omega} \quad (5)$$

여기서, J : 회전자 관성, T_e : 발생토크, T_l : 부하토크,