

# 퍼지 가변스위칭 섹터기법을 이용한 유도전동기의 직접토크 제어

## Direct Torque Control for Induction Motors Using Fuzzy Variable Switching Sector

윤인식, 서영민, 류지수, 이기상, 홍순찬

단국대학교 전기공학과(Tel : +82-2-709-2580 ; Fax : +82-2-795-8771 ; E-mail : keesang@dankook.ac.kr)

Abstract : Direct torque control (DTC) scheme provides a very quick torque response without the complex field-orientation block and inner current regulation loop. DTC is known as an appropriate scheme for high power induction motor drives because it can be used at lower switching frequency. There are two major drawbacks with the application of DTC schemes : one is large current harmonics due to flux drooping in a low speed range, the other is that the inverter switching frequency is varying according to motor parameters and operating speed. Switching devices in the power electronics drives should be supported for relatively high switching frequency. In this paper, a P-type fuzzy controller to realize the variable switching sector scheme and a PID-type fuzzy switching frequency regulator are adopted. A meaningful contribution of this paper is to propose a simple realization scheme of the fuzzy switching frequency regulator. Simulation results show the effectiveness of those propositions.

Keywords : DTC, variable switching sector, PID type fuzzy controller

### 1. 서론

벡터제어는 유도전동기의 서보제어에 사용되는 가장 대표적인 제어기법이지만 자속과 토크를 분리하여 제어하기 위해 복잡한 변환과 내부 전류제어루프가 필요하며, 설계시 매우 정확한 전동기 파라미터 정보가 필요하다. DTC(Direct Torque Control)는 복잡한 좌표변환과정과 내부 전류제어루프 없이 빠른 토크응답을 얻을 수 있으며 제어알고리즘이 간단하고 최소한의 전동기 파라미터 정보만으로 구현이 가능하다.[1-3]

DTC기법을 적용함에 있어 문제점의 하나는 저속영역에서 자속 저하(drooping)현상이 발생한다는 점이다.[4] 이러한 자속저하 문제의 해결방안으로 자속회복(flux refreshment)기법과 가변 스위칭 섹터(variable switching sector)기법이 제안되어있다.[4-7] 자속회복기법은 일반적으로 인버터의 스위칭 주파수를 증가시키므로 낮은 스위칭 주파수가 요구되는 대용량 전동기 구동장치에의 적용은 곤란하다. 가변 스위칭 섹터기법은 자속회복기법과 달리 자속저하를 개선하는 동시에 스위칭 주파수를 감소시킬 수 있기 때문에 대용량 전동기 구동시스템에 적합하다. 그러나 이제까지의 가변 스위칭 섹터기법은 이 기법의 성능을 좌우하는 파라미터인 섹터이동각의 한계치가 알려졌을 뿐이며 적절한 이동각 결정규칙이 제시되지 못한 상태이다.[5,6] DTC 적용시 다른 문제점의 하나는 스위칭 주파수가 전동기의 회전속도와 히스테리시스 밴드폭에 따라 변동함으로써 구동장치내의 스위칭 소자는 가장 높은 스위칭 주파수를 기준으로 선정되어야 한다는 점이다.[8]

본 논문에서는 DTC와 관련된 위의 두 가지 문제점의 해결방안을 제시하여 그 타당성을 보이고 제어기를 설계함에 목적을 둔다. 먼저 저속영역에서 자속저하로 인한 전류 고조파 성분의 저감을 위해서 P형 퍼지 가변 스위칭 섹터 제어기를 구성하며, 동시에 스위칭 주파수의 조절을 위한 PID형 퍼지 스위칭 주파수 제어기를 설계한다. 퍼지 제어기를 구현할 때 많은 계산량을 요구하는 퍼지 추론엔진 대신에 단순한 함수계산에 의한 실현방법을 제시하며 시뮬레이션을 통해 이들 기법의 타당성을 검증한다.

### 2. 유도전동기의 모델 및 DTC의 개념

일반적으로 3상 교류기기는 공간벡터로 표현하여 사용하는 것이 편리하다. 정지좌표계( $\alpha-\beta$ )에서 유도전동기의 방정식을 공간벡터로 표현하면 다음과 같다.

$$\mathbf{v}_s = R_s \mathbf{i}_s + \frac{d \lambda_s}{dt} \quad (2.1)$$

$$\mathbf{v}_r = R_r \mathbf{i}_r + \frac{d \lambda_r}{dt} - j\omega_r \lambda_r \quad (2.2)$$

$$\lambda_s = L_s \mathbf{i}_s + L_m \mathbf{i}_r \quad (2.3)$$

$$\lambda_r = L_m \mathbf{i}_s + L_r \mathbf{i}_r \quad (2.4)$$

여기서  $s$ 와  $r$ 은 고정자와 회전자를 나타내는 첨자이다.  $\mathbf{v}_s$ 와  $\mathbf{v}_r$ 은 공간전압벡터이며  $\lambda_s$ 와  $\lambda_r$ 은 공간자속벡터이다.  $L_s$ 와  $L_r$ 은 자기인덕턴스이며  $L_m$ 은 상호인덕턴스이다. 또한  $R_s$ 와  $R_r$ 은 권선저항이며  $\omega_r$ 은 회전자의 전기 각속도이다. 고정자 자속은 식(2.1)로부터 식(2.5)와 같이 얻을 수 있으며, 고정자 자속의 크기와 각위치는 식(2.5)를 이용하면 식(2.6)과 식(2.7)과 같다.

$$\lambda_{as} = \int (v_{as} - R_s i_{as}) dt \quad (2.5)$$

$$\lambda_{\beta s} = \int (v_{\beta s} - R_s i_{\beta s}) dt$$

$$|\lambda_s| = \sqrt{\lambda_{as}^2 + \lambda_{\beta s}^2} \quad (2.6)$$

$$\theta_{\lambda_s} = \tan^{-1} \left( \frac{\lambda_{\beta s}}{\lambda_{as}} \right) \quad (2.7)$$

유도전동기의 토크는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$T_e = \frac{3}{2} \frac{P}{2} (\lambda_{as} i_{\beta s} - \lambda_{\beta s} i_{as}) \quad (2.8)$$

여기서  $P$ 는 유도전동기의 극수이다.

DTC 기법은 토크와 자속을 제어하기 위해서 히스테리시스 제어기와 ST(Switching Table)기법을 이용하여 적절한 인버터 출력전