

DSP로 구현된 유도 전동기의 직접토크 제어

곽진표*, 박진홍**, 김태웅*, 이성백*
*광운대학교, **해전대학

Direct Torque Control of Induction motor using DSP

Gwak jin pyo*, Park jin hong**, Kim tae woong*, Lee sung paik*
*Kwangwoon Univ, **Hyejeon College

Abstract - This paper presents and analysis a system control algorithm of direct torque control for induction motor using digital signal processor. Using direct torque control, robust, simple and dynamic motor control can be realized. The implemented system is verified by analyzing control torque and flux characteristic.

1. 서 론

유도 전동기는 그 단순성, 견고성, 신뢰성, 효율성 그리고 경제성 면에서 상당히 오랫동안 고정된 속도가 필요한 시스템에서 많이 사용되어 왔다. 하지만 벡터 제어 이론과 전력용 반도체 기술의 발달로 인해 유도 전동기의 고성능 속도 제어가 가능하게 되었다.

유도 전동기의 고성능 속도 제어에는 일반적으로 벡터 제어가 사용된다. 벡터제어는 자속과 토크의 빠른 제어가 가능하지만 시스템이 크고 제어 알고리즘이 복잡하다는 단점이 있다. 이에 따라 빠른 제어를 하며, 복잡한 제어 알고리즘을 줄이기 위한 방법이 직접토크제어(Direct Torque Control: DTC)방식이다.

직접토크제어는 순시 자속과 순시 토크를 각각 독립적으로 제어하는 방법으로, 고정자 전류와 전압을 통해 현재의 토크와 자속을 추정, 지령치와 비교하여 히스테리시스 제어를 통해 오차를 계산한다. 이 계산된 오차값에 따라 그 오차를 줄이는 방향으로 전압벡터를 출력시키는 방법이다. 전압벡터는 현재 자속의 위치와 히스테리시스 제어기에 의해 미리 계산된 switching table을 선택함으로써 간단하고 빠른 제어가 가능하다. 또한 순시 자속과 순시 토크를 독립적으로 제어함으로써 빠른 응답성과 정확성을 얻을 수 있다. 직접토크 제어와 기존

직접토크제어 방식의 고도의 정밀도와 빠른 응답 특성을 얻기 위해서 고속연산이 가능하고 처리 속도가 빠른 DSP에 제안된 알고리즘을 적용하였다. 아날로그 방식의 제어시스템에 비해 DSP 기반의 제어시스템은 소프트웨어의 간단한 변경으로 제어 알고리즘을 변경할 수 있으며, 시스템의 노화 등에 대해 신뢰성이 높은 장점을 가진다.

본 연구에서는 Digital Signal Processor를 이용한 유도 전동기의 직접 토크제어 알고리즘을 제시하였다. 본 연구에서는 PC용 시뮬레이션 프로그램인 MATLAB을 이용하여 직접토크제어 시스템을 구현하여 2.2KW급 농형 유도 전동기의 빠른 제어 및 자속과 토크가 정확히 제어됨을 확인하였다.

2. 본 론

2.1 직접 토크 제어의 기본 개념

직접토크제어는 순시 자속과 순시 토크를 각각 독립적으로 제어하는 방법으로, 고정자 전류와 전압을 통해 현재의 토크와 자속을 추정, 지령치와 비교하여 히스테리시스 제어를 통해 오차를 계산한다. 이 계산된 오차값에 따라 그 오차를 줄이는 방향으로 전압벡터를 출력시키는 방법이다. 전압벡터는 현재 자속의 위치와 히스테리시스 제어기에 의해 미리 계산된 switching table을 선택함으로써 간단하고 빠른 제어가 가능하다. 또한 순시 자속과 순시 토크를 독립적으로 제어함으로써 빠른 응답성과 정확성을 얻을 수 있다. 직접토크 제어와 기존

벡터 제어와의 차이점은 크게 Inverter Switching Table과, 히스테리시스 제어기이다.

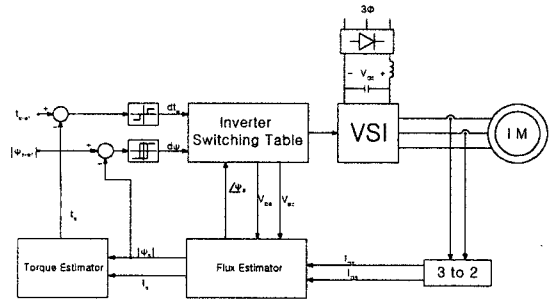


그림 2-1. DTC 블록도

2.2 자속과 토크의 추정

모터의 고정자 자속 $\vec{\Psi}_s(t)$ 는 전압 벡터 \vec{V}_s 와 전류 벡터 \vec{I}_s 에 의해 구해진다.

$$\vec{\Psi}_s = \int (\vec{V}_s - R_s \vec{I}_s) dt \quad (1)$$

고정자의 전류 벡터는 측정된 i_a, i_b 에 의해 식(2)와 같이 구해지고

$$\vec{I}_s = \frac{2}{3} [i_a + e^{j2\pi/3} i_b + e^{j4\pi/3} i_c] \quad (2)$$

전류 벡터와 자속 벡터에 의해 식(3)과 같이 토크가 구해진다.

$$T_e = \frac{3}{2} \cdot \frac{p}{2} \cdot (\vec{I}_s \cdot j\vec{\Psi}_s) \quad (3)$$

자속과 토크는 시간 간격 Δt 로 전압 벡터를 가함으로 제어할 수 있다. 임의의 위치에서 전압 벡터는 6개의 섹터중 하나의 섹터에 위치하게 되고 그 때 인가되는 전압 벡터에 의해 자속 또는 토크가 제어된다. 이 때 전압 벡터는 스위칭 테이블에 의해 결정한다.

2.3 전압 벡터 스위칭

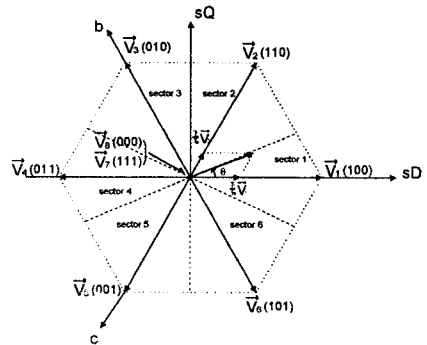


그림 2-2. Switching Vector

전압형 인버터에서 출력 될 수 있는 전압 벡터는 6개의 유효 벡터와 2개의 무효 벡터로, 순시 시간의 전압 벡터 \vec{V}_s 는 자속의 위치와 토크로부터 스위칭 테이블에 따라 선택된다.

$$\vec{V}_s = \frac{2}{3} V_{dc} [S_a + e^{j2\pi/3} S_b + e^{j4\pi/3} S_c] \quad (4)$$

각 순시 자속의 위치는 아래 식에 의해 구할 수 있다.

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{\Psi_{qs}}{\Psi_{ds}}\right) \quad (5)$$

표 2-1. 전압 벡터 스위칭 테이블

$d\Psi$	dt_e	$\alpha(1)$	$\alpha(2)$	$\alpha(3)$	$\alpha(4)$	$\alpha(5)$	$\alpha(5)$
1	1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_1
	0	V_7	V_8	V_7	V_8	V_7	V_8
	-1	V_6	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5
0	1	V_3	V_4	V_5	V_6	V_1	V_2
	0	V_8	V_7	V_8	V_7	V_8	V_7
	-1	V_5	V_6	V_1	V_2	V_3	V_4

2.4 히스테리시스 제어기의 자속과 토크의 궤적

모터의 토크와 고정자의 자속은 각각의 히스테리시스 제어기에 의해 제어된다. 그림 2-3은 자속의 히스테리시스 제어기를 나타낸다. 순시 자속이 sector 1에 위치하는 경우 자속 벡터가 상한선에 도달하면 자속이 감소하는 V_3, V_5, V_8 의 전압벡터 중, 토크 히스테리시스의 출력에 따라 토크가 증가하는 방향인 V_3 전압벡터를 출력한다. 반대로 하한선에 도달하면 자속이 증가하는 V_2, V_6, V_7 의 전압 벡터 중, 토크 히스테리시스의 출력에 따라 토크가 증가하는 V_2 전압벡터를 출력한다.

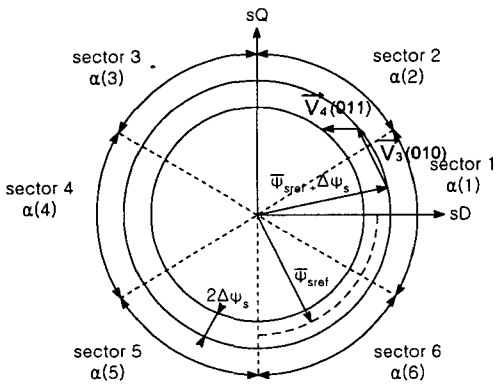


그림 2-3. 히스테리시스 밴드

2.5.1 히스테리시스 제어기의 구현 알고리즘

명령치와 비교된 추정치는 히스테리시스 제어기에 입력되어 자속이나 토크가 증가되어야 하는지, 감소되어야 하는지를 결정한다. 이 때 히스테리시스 밴드의 크기는 시스템의 성능에 매우 큰 영향을 줌으로 적절한 값으로 선택되어야 한다.

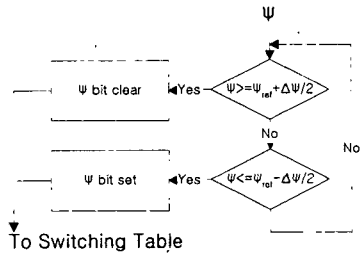


그림 2-4. 히스테리시스 제어기 구현 플로우 차트

2.5.2 switching table의 구현 알고리즘

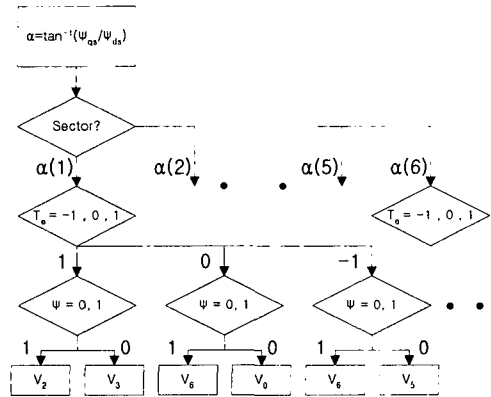


그림 2-5. 스위칭 테이블 구현 플로우 차트

표 2-2와 식 (5)에 의해 자속의 위치를 결정하고, 히스테리시스 제어기의 출력에 따라 토크와 자속의 증가 및 감소에 따라 인버터 출력 벡터를 선택한다. 그림 2-5를 표로 만들면 표2-1과 같다.

표 2-2. 고정자 자속 위치 선택 테이블

	$\alpha(1)$	$\alpha(2)$	$\alpha(3)$	$\alpha(4)$	$\alpha(5)$	$\alpha(6)$
sign of Ψ_{sD}	+	+	-	-	-	+
sign of Ψ_{sQ}	+, +	+	+	+, -	-	-
sign of Ψ_{sB}	-	+	+	+	-	-

2.5.3 Estimator의 구현 알고리즘

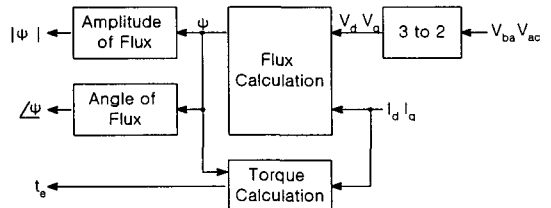


그림 2-6. Estimator 구현 블록 다이어그램

스위칭 테이블로부터 전압 벡터를 입력받아 3상 전압을 2상 전압으로 변환한다. 전압 벡터와 전류 벡터를 이용하여 식(1)에 의해 자속 벡터를 계산한다. 이 계산된 자속 벡터의 진폭은 자속 명령치와 비교하여 히스테리시스

스 제어기로 입력하고, 각도는 스위칭 벡터 테이블로 입력하여 자속의 위치를 계산하는데 이용한다. 또한 식(3)의 전류 벡터와 자속 벡터를 이용하여 토크를 계산한다. 계산된 토크는 토크 명령치와 비교하여 히스테리시스 제어기로 입력한다.

3. 시뮬레이션

논문에서 제안한 알고리즘을 s-function을 이용하여 구현하고 특성을 분석하기 위해 MATLAB을 이용하여 시뮬레이션을 하였다. 유도전동기는 3HP로 simulink power blockset을 사용하였고, 히스테리시스 밴드 폭은 정격 자속과 토크의 5%로 설정하였다.

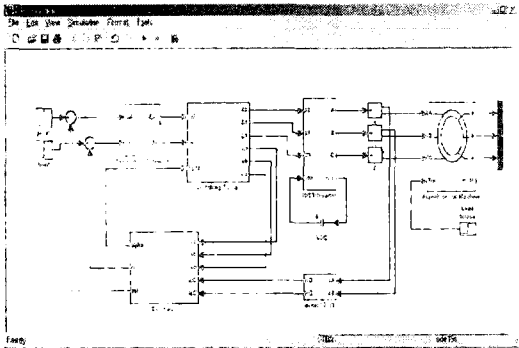


그림 3-1. DTC의 simulink 블록도

시뮬레이션의 속도 명령치는 그림 3-2와 같다. 본 시뮬레이션에서는 전동기의 동 특성을 분석하였다. 그에 따른 자속과 토크는 그림 3-3과 3-4와 같음을 확인하였다.

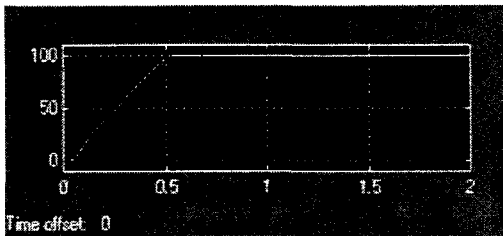


그림 3-2. 전동기 속도

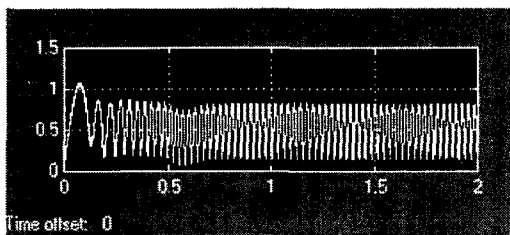


그림 3-3. 전동기 자속

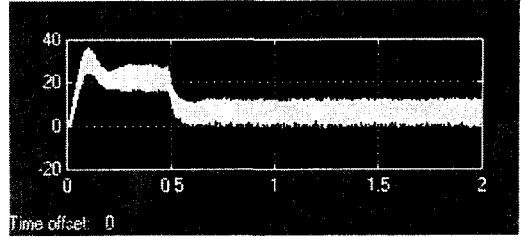


그림 3-4. 전동기 토크

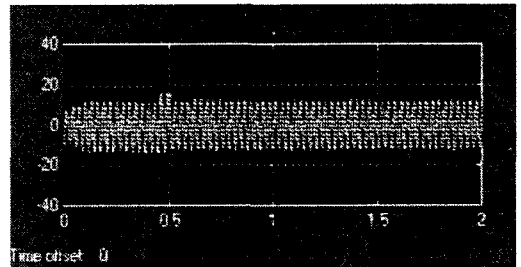


그림 3-5. 전동기 전류 i_s, i_d

4. 결 론

본 논문에서는 유도 전동기의 직접 토크 제어 기법을 DSP로 구현하기 위한 유도 전동기 제어 알고리즘을 제안하고 이를 MATLAB을 이용하여 시뮬레이션 하였다. 직접 토크 제어 방식을 이용함으로써 제안된 알고리즘은 기존의 벡터 제어 방식이 하드웨어적으로 복잡하고 알고리즘 또한 복잡한데 비해, 하드웨어가 간단하고 알고리즘 또한 간단해졌다. 그러므로 시뮬레이션 과정이 간단해졌으며 이를 시스템으로 구현하였을 때 시스템 또한 간단한 구성을 가지게 되었다. 또한 제안된 알고리즘을 적용하여 시뮬레이션으로 토크 응답과 자속 특성을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] Peter Vas "Sensorless Vector and Direct Torque Control", Oxford Press, 1998
- [2] B.K. Bose, "Power Electronics and Variable Frequency Drives", IEEE Press 1997
- [3] Pekka Tiitinen, "The Next Generation Control Method, DTC Direct Torque Control", International Conference on Power Electronics, Drives & Energy System for Industrial Growth Proceeding Vol.1. 1996. pp 37-43
- [4] Hoang Le-Huy, "Comparison of Field-Oriented Control and Direct Torque Control for Industrial Motor Drives", Industry Applications Conference, 1999. Thirty-Fourth IAS Annual Meeting. Conference Record of the 1999 IEEE Vol. 2, 1999. pp.1245-1252
- [5] Texas Instruments, "TMS320F/C240 DSP Controllers Reference Guide", Texas Instruments, 1999