

직접 토크제어에 의한 유도전동기의 위치제어 시스템

°김남훈, 김민호, 김동희, 김민희
*영남대학교, **영남이공대학

An Induction Motor Motion Control System with Direct Torque Control

Min-Ho Kim, Nam-Hun Kim, Dong-Hee Kim, Min-Huei Kim
*Yeungnam University, **Yeungnam College of Science & Technology.

Abstract - This paper presents an implementation of digital motion control system of induction motor vector drives with a direct torque control(DTC) using the 16bit DSP TMS 320F240. The DSP controller enable enhanced real time algorithm and cost-effective design of intelligent controllers for induction motors which can be yield enhanced operation, fewer system components, lower system cost, increased efficiency and high performance. The system presented are stator flux observer of current model that inputs are current sensing of motor terminal and rotor angle, and optimal switching look-up table by using fully integrated control software. The developed system are shown a good motion control response characteristic results and high performance features using 2.2Kw general purposed induction motor.

Key Words : F240 DSP, Digital Motion Control, Stator Flux Observer, DTC

1 서 론

최근 급속도로 발전되고 있는 산업분야에서 위치제어는 고도의 정밀도와 빠른 응답특성을 갖는 제어시스템이 필수적이다. 이를 위해 구조가 간단하고 견고하며 가격이 저렴한 유도전동기에 벡터제어 이론을 도입한 제어시스템이 많이 적용되고 있다. 유도전동기의 벡터제어는 난해하고 많은 연산이 요구되는 제어 알고리즘으로 인하여 필수적으로 복잡한 하드웨어와 프로세서를 사용하여야만 구현이 가능하였다. 따라서 종전의 복잡하게 이루어진 하드웨어적인 제어를 비용이 저렴하며 여러 가지 형태로 변환이 쉽게 이루어지면서 간단하게 소프트웨어적으로 실행할 수 있는 제어시스템 구현은 고속연산과 처리속도가 빠른 전용 DSP를 이용하여 이를 해결할 수 있었다[1]-[3].

최근에는 제어구조가 디지털 형태로 아주 단순하면서 벡터제어에서처럼 많은 제어기와 복잡한 연산을 요구하지 않고, 토크의 동적 특성이 전동기 파라미터 변화에 의존성이 적으면서 직접 전동기의 토크를 제어할 수 있는 직접 토크제어 구동 시스템에 대한 연구와 관심이 집중되고 있다[4]-[12].

이에 따라 본 연구에서는 범용 유도전동기를 정밀 제어시스템에 적용하기 위하여 전동기 제어용으로 개발된 TI(Texas Instruments)사의 16비트 DSP인 TMS 320 F240을 적용하여 최소한의 하드웨어만 이용하고 모든 제어는 소프트웨어적으로 제어될 수 있는 시스템으로, 저속영역에서 토크와 고정자 자속을 직접 관측하기 위하여 전류모델형 자속 관측기를 적용하여 직접 토크제어에 의한 유도전동기 정밀제어 시스템을 구현하였다.

구현된 시스템의 운전특성을 조사하기 위하여 IGBT 전압형 인버터에 의한 2.2 Kw 농형 일반 유도전동기의 위치제어 응답특성을 고찰하였다.

II 직접 토크제어

1. 직접 토크제어의 특성과 개념

유도전동기의 직접 토크제어(DTC, Direct Torque Control)는 인버터에 가해지는 최적 스위칭 모드 선택에 의하여 전동기에 공급되는 단자전압제어에 의하여 이루어지므로 직접적으로 고정자의 자속과 발생하는 토크를 서로 독립적으로 제어할 수 있다. 빠른 토크응답과 낮은 인버터 스위칭 주파수 및 적은 고조파 손실을 얻기 위하여 요구되는 스위칭 모드 선택은 고정자의 자속과 토크의 히스테리시스 밴드 안에서 오차 제한에 의하여 만들어지며, 이때 토크는 고정자의 쇄교자속 벡터를 제어함으로써 빠르게 변화시킬 수 있다. 이에 따라 직접토크제어 방식은 유도전동기의 빠른 토크응답과 유연성 있는 제어를 이룰 수 있다. 이 기술의 주 장점은 제어구조가 디지털 형태로 아주 단순하다는 것이며, 토크의 동적 특성이 전동기 회전자 파라미터 변동에 영향이 적으며, 많은 제어기의 채용과 복잡한 알고리즘 계산에 요구되는 연산시간을 감소시킬 수 있는 특징을 가지고 있어 빠른 동적 응답특성이 요구되는 시스템에 큰 장점을 가지는 제어방식이다[5]-[8].

전동기의 발생 토크는 고정자의 자속(Φ_s)과 회전자 자속(Φ_r)의 벡터 곱에 비례한다. 일반적으로 고정자 자속의 크기는 가능한 정상적인 안정상태로 유지하고 토크는 고정자와 회전자 사이의 각(γ)에 제어된다. 유도전동기의 고정자와 회전자의 쇄교자속은 식(1)과 (2)로, 토크는 식(5)로 된다.

$$\Phi_{das}^s = \frac{L_m}{L_r} \Phi_{dar}^s + \sigma L_s \dot{I}_{das}^s \quad (1)$$

$$\Phi_{dar}^s = \text{Exp}(j\theta_r) \Phi_{dar}^r \quad (2)$$

$$\Phi_{dar}^r = \frac{L_m}{1 + T_r p} I_{das}^s \quad (3)$$

$$I_{das}^r = \text{Exp}(-j\theta_r) \dot{I}_{das}^s \quad (4)$$

$$T_e = \left(\frac{3}{2}\right) \left(\frac{P}{2}\right) (\overline{\Phi_s^s} \times \overline{I_s^s}) \quad (5)$$

여기서 I_{das}^r 은 회전자에서 본 고정자의 전류를, \dot{I}_{das}^s 은 고정자의 전류를, Φ_{das}^s 는 고정자에서 본 고정자의 자속을, Φ_{dar}^s 는 회전자에서 본 회전자의 자속을, Φ_{dar}^r 는 고정자에서 본 회전자의 자속, T_r 은 회전자 시정수를, σ 는 누설계수를 나타낸 것이다.

그림 1은 본 연구에서 적용한 저속영역에서 우수한 특성이 얻어지는 전류 모델 관측기이며, 그림 2는 직접 토크제어의 개념을 나타낸 것이다.

2. 최적 스위칭 전압벡터

최적의 스위칭 전압벡터는 출력의 토크와 고정자 자속의 상태 모두를 동시에 만족하게 하는 특수한 고정자의 전압벡터를 선택하는 것이다. 이것은 그림 2에서 나타난 것처럼 전압원 인버터에서 만들 수 있는 6개의 전압벡터와 2개의 영 전압벡터로 구성된다.

부하 및 속도가 가변되어 고정자 쇄교자속의 증가가 요구될 때에는 $d\lambda = 1$ 로, 감소가 요구될 때에는 $d\lambda = 0$ 로 나타낼 때, 2 레벨 자속 히스테리시스 비교기의 디지털 출력 신호는 식(6)의 조건에서 결정되며, 토크의 증가가 요구될 때에는 $dT_e = 1$, 감소가 요구될 때에는 $dT_e = -1$, 토크변화가 없을 경우에는 $dT_e = 0$ 으로 나타낼 때, 3 레벨 토크 히스테리시스 비교기의 디지털 출력 신호는 정 방향 일 경우는 식(7)로, 역 방향 일 경우는 식(8)의 조건을 적용하고(5), 표1은 최적 스위칭 전압벡터의 룩업테이블을 나타낸 것이다.

$$d\lambda = 1, \text{ if } |\bar{\lambda}_s| \leq |\bar{\lambda}_s^*| - |\Delta\bar{\lambda}_s| \quad (6)$$

$$d\lambda = 0, \text{ if } |\bar{\lambda}_s| \geq |\bar{\lambda}_s^*| + |\Delta\bar{\lambda}_s|$$

$$dT_e = 1, \text{ if } |T_e| \leq |T_e^*| - |\Delta T_e| \quad (7)$$

$$dT_e = 0, \text{ if } T_e \geq T_e^*$$

$$dT_e = -1, \text{ if } |T_e| \geq |T_e^*| + |\Delta T_e| \quad (8)$$

$$dT_e = 0, \text{ if } T_e \leq T_e^*$$

표 1 최적 스위칭 전압벡터의 룩업테이블

$d\lambda$	dT	Sector 1	Sector 2	Sector 3	Sector 4	Sector 5	Sector 6
1	1	\bar{V}_2	\bar{V}_3	\bar{V}_4	\bar{V}_5	\bar{V}_6	\bar{V}_1
	0	\bar{V}_7	\bar{V}_0	\bar{V}_7	\bar{V}_0	\bar{V}_7	\bar{V}_0
	-1	\bar{V}_6	\bar{V}_1	\bar{V}_2	\bar{V}_3	\bar{V}_4	\bar{V}_5
0	1	\bar{V}_3	\bar{V}_4	\bar{V}_5	\bar{V}_6	\bar{V}_1	\bar{V}_2
	0	\bar{V}_0	\bar{V}_7	\bar{V}_0	\bar{V}_7	\bar{V}_0	\bar{V}_7
	-1	\bar{V}_5	\bar{V}_6	\bar{V}_1	\bar{V}_2	\bar{V}_3	\bar{V}_4

III 시스템 구성

직접 고정자 자속과 토크제어에 의한 유도전동기의 위치제어 시스템을 구현하기 위하여 그림 5와 같은 시스템을 구성하였으며 F240DSP Controller를 이용하여 소프트웨어에 의하여 제어된다. 위치제어는 PD제어기를, 속도제어는 IP 제어기를 사용하였으며, 토크 및 고정자 자속 추정용 전동기 단자에서 전류를 사용한 전류모델 관측기를 이용하였으며, 자속은 2레벨로, 토크는 3레벨의 히스테리시스 밴드 제어기를 사용하였다.

IV 실험결과

실험에 적용된 전동기의 정격 및 파라미터는 표2와 같다. 그림 3의 위치제어 시스템에서 시행오차에 의한 제어기 정수가 결정되었으며, 실험 결과는 그림 4와 같다. 그림 4는 전동기의 속도를 50rpm을 기준으로 설정된 상태에서 2초 동안 위치제어를 할 경우 응답특성을 보여준 것으로 (a)는 위치제어응답 특성, (b)는 속도제어응답특성, (c)는 토크제어응답특성, (d)는 고정자 자속의 리사주도형을 보여준 것이다.

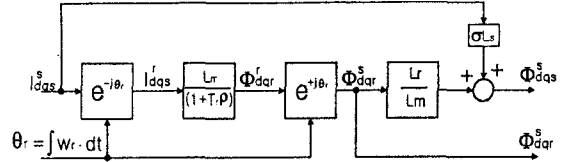


그림 1. 유도전동기 전류모델 고정자 자속 관측기

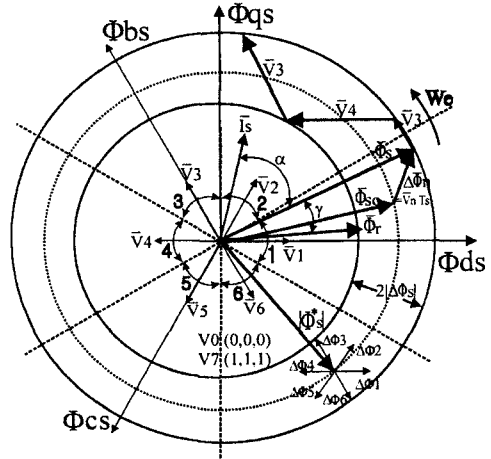


그림 2. 직접토크제어의 개념도

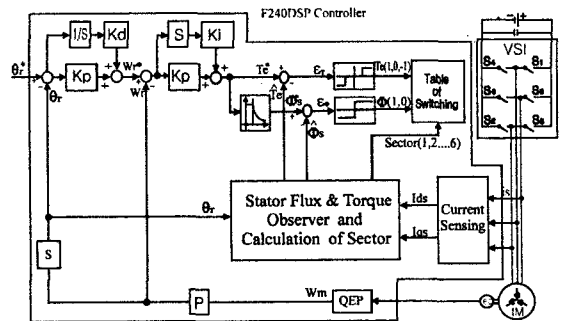


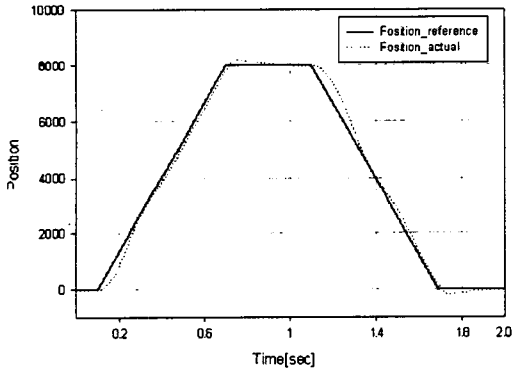
그림 3. DTC를 이용한 위치제어 시스템

표 2 실험에 적용된 범용 유도전동기 특성

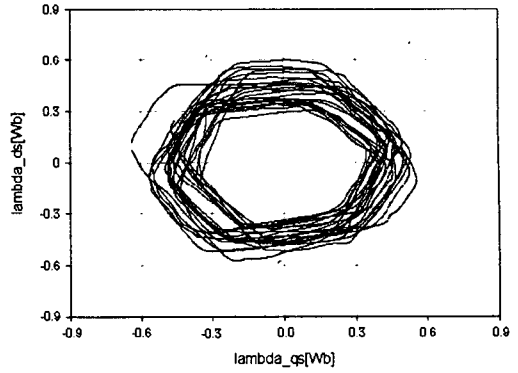
$P_o = 2.2[\text{Kw}]$, $I = 8.2[\text{A}]$, $V = 220[\text{V}]$, $P = 4$ 극
$L_s = L_r = 79.156$, $M = 75.01[\text{mH}]$
$R_s = 0.713$, $R_r = 0.773[\text{Ohm}]$, $J = 0.025[\text{Kgm}^2]$

V 결론

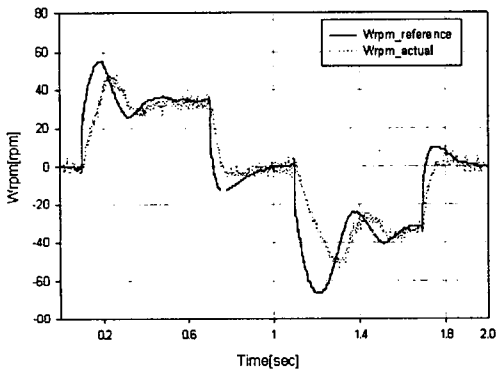
범용 유도전동기를 고성능 정밀 제어용 서어보 시스템에 적용하기 위하여 하드웨어적으로는 최근 전동기 제어 전용으로 개발된 TI사의 16비트 DSP인 TMS 320F240을 적용하여 최소한의 하드웨어만 이용하고, 모든 제어는 소프트웨어적으로 제어될 수 있는 직접 토크제어에 의한 유도전동기 위치 제어시스템을 구현하였다. 개발된 제어 프로그램과 시스템의 운전특성을 조사하기 위하여 IGBT 전압원 인버터에 2.2Kw 유도전동기를 적용하여 위치제어 응답특성을 고찰한 결과 우수한 동적 특성이 얻어짐을 보여 주었다.



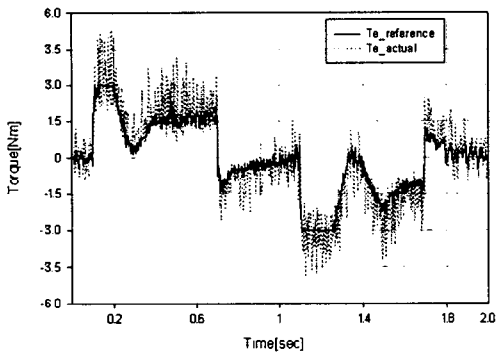
(a) 위치제어 응답특성



(d) 고정자 자속의 리사주도형
그림 4 시스템 응답특성



(b) 속도제어 응답특성



(c) 토크제어 응답특성

[참 고 문 헌]

- [1] 김남훈, 김동희, 김민희, "F240 DSP를 이용한 유도전동기 위치제어 시스템", 대한전기학회 전력 전자연구회회 추계학술대회 논문집, pp.203-207, 1999
- [2] 김민희, 김남훈, "DSP를 이용한 유도전동기 디털 제어시스템", 한국산업응용학회의 논문집, Vol. 3, No. 1, pp. 9-15, 2000
- [3] Technosoft Co., "DSP Digital Motion Controller DMCS-ac Toolbox", 1998
- [4] Bimal K. Bose, "Power Electronics and Variable Frequency Drivers, IEEE Press, 1997(5) Peter Vas, "Sensorless Vector and Direct Torque Control", Oxford Press, 1998
- [6] Iron Boldea "Electric Drives", CRC Press, 1999
- [7] M. Depenbrock, "Direct Self-Control(DSC) of Inverter-Fed Induction Machine", IEEE Trans. Power Electronics., Vol.3, pp.420-429, Oct. 1988
- [8] I.Takahashi, and T. Noguchi, "A New Quick-Response and High-Efficiency Control Strategy of an Induction Motor", IEEE Trans. IA, Vol.22, No. 5, pp. 820-827, Sept./Oct. 1986
- [9] James N. Nash, "Direct Torque Control, Induction Motor Vector Control Without an Encoder", IEEE Trans. IA, Vol. 3, No. 2, pp.333-341, March/April, 1997
- [10] Sayeed Mir, Malik, E. Elbuluk and Donald S. Zinger, "PI and Fuzzy Estimators for Turing the Stator Resistance in Direct Torque Control of Induction Machines", IEEE Trans. PE, Vol. 13, No. 2, pp. 279-387, March 1998
- [11] Hoang Le-Huy, "Comparison of Field-Oriented Control and Direct Torque Control for Induction Motor", PESC'99, pp. 1245-1252, 1999
- [12] Cristan Lascu, Ion Boldea "A modified Direct Torque Control for Induction Motor Sensorless Drive", IEEE Trans. IA, Vol. 36, No.1, pp122-130, 2000.
- [13] Perer Vas "Artificial-Intelligence-Based Electrical Machines and Drives", Oxford Press, 1999