

Motion Coprocessor를 이용한 유도전동기의 벡터제어

김성훈*, 안호균, 박군평
 창원대학교 전기공학과

Vector Control of Induction Motors Using Motion Coprocessor

Sung-Hoon Kim*, Ho-Kyun An, Gun-Pyong Kwak
 Department of Electrical Engineering, Changwon National University.

Abstract - This Paper describes the design of an induction motor control using the TMS320C32 Digital Signal Processor and the ADMC201 motion coprocessor. Presented hardware architecture can be used for several industry applications with wide range of speed control, e.g. elevator and cranes application, servo motor, electrical vehicles. The main purpose of the paper is demonstration of the implementation and maximum utilization of the ADMC201 motion coprocessor in digital vector control system for AC drives.

1. 서 론

산업응용분야에서 이용되고 있는 유도전동기는 직류전동기에 비해 효율, 출력대 중량비, 낮은 초기비용과 강인성들의 여러측면에서 유리하지만 비선형적인 구조를 가지고 있기 때문에 제어가 어려운 단점을 가진다. Digital signal processor와 전력용반도체 소자의 발전 그리고 고효율의 속도·위치제어에 대한 요구가 증가하면서 벡터제어 기술이 널리 이용되어져 왔다.

그러나 전동기의 벡터제어를 위해서는 여러 가지 벡터 변환의 과정이 요구되어 지며, 실시간 전류제어를 위해서는 많은 연산이 필요하게 된다. 또한 여러 가지 제어 알고리즘을 적용하기 위하여서는 보다 빠른 고가의 고성능 프로세서가 요구되어진다.

본 논문에서는 이러한 요구조건을 해결하기 위하여 Motion coprocessor를 이용하여 A/D변환, 좌표변환, PWM발생부분을 처리함으로써 프로세서의 부하를 줄이고, 프로세서부의 설계를 간략화 하는 것을 목표로 한다. 또한 CPU 하나에 여러개의 Motion coprocessor를 사용하여 다축제어가 가능하며 많은 연산량을 필요로 하는 실시간 회전자 시상수를 추정 등의 다양한 제어 알고리즘의 구현을 손쉽게 할 수가 있다.

2. 본 론

2.1 공간전압벡터 PWM의 원리

인버터를 사용하여 전동기의 전류를 제어할 때는 일반적으로 펄스폭변조(PWM) 방식을 이용하여 전압을 제어한다. PWM제어는 그 자체가 전압변조를 위한 것이지만 PWM방식에 따라 전류제어의 특성이 달라지므로 넓은 의미에서 이것을 전류제어기의 한 부분으로 생각할 수 있다. 현재까지 전류제어기로는 히스테리시스 제어기, 델타 제어기, 삼각파 비교 제어기, 최적 PWM제어기 등 여러 가지 방식이 개발되어 왔으나 이것들은 응답 특성, 스위칭 주파수, 출력전류의 고조파 함유율등의 측면에서 아직 미흡한 점이 많다. 그러나 공간벡터 PWM 방식은 많은 연산과 전력변환장치의 스위칭소자의 높은 스위칭 속도가 요구되나 이러한 단점을 상당히 개선할

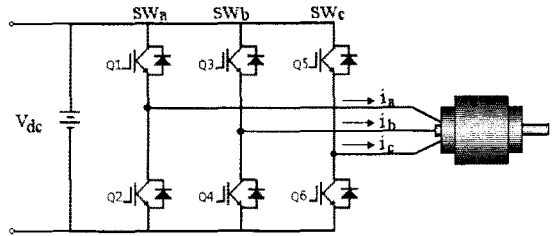


그림 1. 3상 전압형 인버터

수 있다.

그림1의 3상 전압형 인버터에서 각 상의 스위치를 SWa, SWb, SWc를 각각 상보형으로 동작시키면 8가지 형태의 스위치 상태를 만들어 낼 수 있다. 스위치가 1로 표시된 것은 각 상의 위쪽 스위치가 턴온된 것을 의미하며, 각 상의 스위치가 모두 1이거나 모두 0이면 출력전압은 0전압이 되어 무효벡터가 된다. 인버터가 출력할수 있는 3상 합성출력벡터인 유효벡터 V(1)~V(6)과 무효벡터 V(0),V(7)을 포함하는 8가지의 동작모드에서 각각 스위칭 상태와 상전압 벡터를 표로 나타내면 표1과 같다.

전압벡터	SW _a	SW _b	SW _c	V _s
V(0)	0	0	0	0 ∠0°
V(1)	1	0	0	$\frac{2}{3} V_{dc} \angle 0^\circ$
V(2)	1	1	0	$\frac{2}{3} V_{dc} \angle 60^\circ$
V(3)	0	1	0	$\frac{2}{3} V_{dc} \angle 120^\circ$
V(4)	0	1	1	$\frac{2}{3} V_{dc} \angle 180^\circ$
V(5)	0	0	1	$\frac{2}{3} V_{dc} \angle 240^\circ$
V(6)	1	0	1	$\frac{2}{3} V_{dc} \angle 300^\circ$
V(7)	1	1	1	0 ∠0°

표 1. 인버터의 스위칭 상태 및 출력전압벡터

인버터의 8가지 동작모드에서의 출력전압을 벡터도로 표시하면 그림 2와 같이 정육각형을 형성하고, 이 6각형의 꼭지점을 형성하는 전압벡터 V(1)~V(6)은 인버터의 최대 출력전압이 된다. PWM을 수행하면 출력전압의 벡터는 평균적인 의미에서 크기가 감소되어 정육각

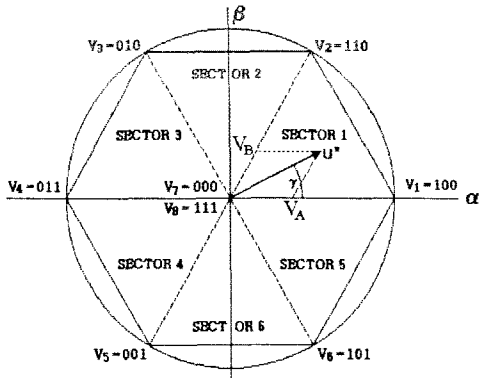


그림 3. 인버터의 출력전압 벡터도

형의 내부의 어느 한점에 놓이며, 6각형 내부의 임의의 출력전압 벡터는 이것이 위치한 삼각형의 두변에 해당되는 전압벡터를 이용하여 시간적으로 벡터 합성을 하여 만들어 낼 수 있고, 이 두 전압벡터의 인가시간의 합이 전류 샘플링 주기 T_s 보다 작으면 나머지 시간동안에는 영벡터를 인가시킨다.

그림 2와 같이 지령전압 u^* 가 sector 1에 존재한다면 이 u^* 에 인접한 V(1)과 V(2)벡터에 투영된 V_A, V_B 로 u^* 를 시간적으로 합성할 수 있으며, 이 원리를 식으로 표현하면

$$u^* T_s = V(1)T_1 + V(2)T_2 \quad (1)$$

$$u^* = V(1) \frac{T_1}{T_s} + V(2) \frac{T_2}{T_s} = V_A + V_B \quad (2)$$

로 나타낼 수 있다. 따라서 스위칭 시간은

$$T_1 = T_s \frac{|u^*|}{\frac{2}{3} V_{dc}} \frac{\sin(\frac{\pi}{3} - \gamma)}{\sin \frac{\pi}{3}} \quad (3)$$

$$T_2 = T_s \frac{|u^*|}{\frac{2}{3} V_{dc}} \frac{\sin \gamma}{\sin \frac{\pi}{3}} \quad (4)$$

$$t_0 = T_s - (T_1 + T_2) \quad (5)$$

로 표현할 수 있고, 여기서 γ 는 출력벡터로부터 전압벡터 u^* 까지의 반시계 방향으로 회전한 각을 나타낸다.

2.2 Motion Coprocessor (ADMC201)

Analog Device사의 ADCM201은 DSP 컨트롤러와 인버터간의 인터페이스를 담당하고 있으며, 벡터제어를 하기 위하여 필요한 Vector Transformation 기능을 포함하고 있는 Motion Coprocessor 디바이스이다. ADCM201은 DSP의 Data와 Address Bus에 직접 연결될 수 있고 레지스터들은 DSP의 메모리와 같이 읽고 쓸 수 있다. ADCM201의 동작을 살펴보면 다음과 같다. 모터에 공급되는 3상에 대한 전류중 2상에 대한 전류값을 ADCM201의 내부에 있는 11비트 A/D 컨버터 블록을 이용하여 읽어낸다. 그리고 모터에 흐르는 전류를 평행3상이라 가정하여 나머지 한 상에 대한 전류값을 $I_A = -(I_B + I_C)$ 식을 이용하여 계산할 수 있다. 그리고 엔코더로부터 들어오는 A, B상 신호 및 U, V, W 상 신호로부터 실제 모터의 속도 ω_r 를 계산하고, 모터의 기준속도 ω_r^* 를 비교하여 실제모터의 속도가 기준치를 추종하도록 PI제어기를 적용하여 기준전류 I_q^* 를 계

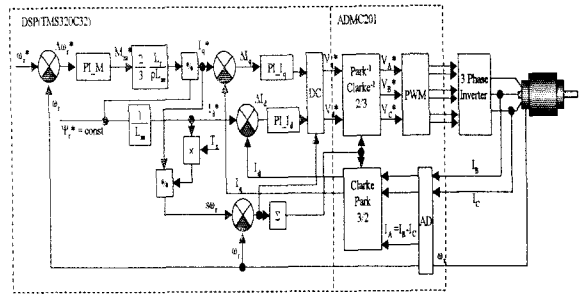


그림 2. ADCM201을 이용한 벡터제어 알고리즘 구현

산할 수 있다. 그리고 기존의 방법에서는 엔코더 펄스 신호를 이용하여 현재 회전자의 자속각 θ_r 를 측정하고, 이 값을 이용하여 $\sin \theta_r$ 및 $\cos \theta_r$ 을 DSP에서 계산하게 된다. $\sin \theta_r$ 및 $\cos \theta_r$ 의 값이 계산되어지면 이를 이용하여 3상 고정좌표계의 상전류 I_A, I_B, I_C 를 동기 회전좌표계로 변환하여 I_d, I_q 를 계산하는 것이 지금까지 사용하던 방법이다. 그러나 ADCM201을 사용할 경우에는 디바이스의 내부에 있는 Clarke & Park Transformation 기능을 이용하여, $\sin \theta_r, \cos \theta_r$ 값을 계산할 필요 없이 바로 3상 고정좌표계의 상전류를 동기 회전좌표계의 I_d, I_q 값으로 변환가능하다. ADCM201에서 변환이 완료되면 인터럽트 신호가 발생한다. 그러므로 DSP에서는 변환이 완료되면 ADCM201의 내부 레지스터 값을 읽어들이는 것으로 간단하게 좌표변환을 할 수 있다. 좌표변환의 결과로 V_d, V_q 값이 출력되면 PWM duty 비로 변환하여 ADCM201의 PWM 레지스터로 보내게 되며 Dead Time과 Pulse Delation Time을 설정한다.

이 방법을 이용하게 되면 기존의 DSP를 이용하여 계산하던 방법에 비하여 프로그램이 간단하여 지고, 계산 부하도 줄일 수 있는 장점이 있다. 위와 같은 ADCM201을 이용한 벡터제어 알고리즘의 구현을 그림으로 나타낸 것이 그림 3이다.

2.3 전체시스템 구성

본 논문에서 사용한 전체 시스템의 구성은 아래의 그림 4와 같다. Processor로는 Texas Instrument 사의 TMS320C32 DSP를 사용하였으며, Motion Coprocessor를 사용하여 3상 인버터와 연결하였다. DSP와 Motion Coprocessor는 IRQ 신호에 의하여 동기화 되며, 이 IRQ 신호는 A/D 변환이 완료되었을 때와 Clarke & Park 변환이 완료되면 발생하게 된다. 그러므로 DSP에서는 이 IRQ 신호를 외부 인터럽트 단자에 연결하여 인터럽트 루틴을 이용하여 프로그램밍을 하면 쉽게 프로그램 할 수 있다. 또한, ADCM201은 레지스터의 값을 변경하여 Deadtime을 조절할 수 있는 기능을 포함하고 있어 3상 인버터를 구동하기 위한 PWM 신호를 아주 쉽게 만들어 낼 수 있다.

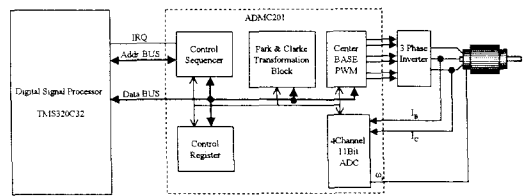


그림 4. 전체 하드웨어 구성

3. 모의 실험 및 실험

논문에서 사용한 전력변환부는 정격출력 3hp(2.2kW), 4극 유도전동기를 기준으로 제작하였다. 스위칭소자로는 3상 브리지 다이오드와 다이내믹 브레이킹용 IGBT와 3상 브리지 인버터를 내장하고 있는 IRPT2056(IR사)를 선택하였고 게이트 구동소자로 절연된 필요로 하지 않고 단일전원으로 구동이 가능한 IR2233(IR사)을 사용하여 설계를 간소화 하였다.

시뮬레이션 방법으로는 간접벡터제어방법을 사용하였으며 사용한 파라미터는 표2에 나타내었다.

정격출력	2.2[KW]	Rr	0.3[Ω]
정격전압	220[V]	Lr	83[mH]
극수	4극	Lm	80[mH]
Rs	0.82[Ω]	J	0.03[kg.m ²]
Ls	83[mH]		

표 2. 전동기 파라미터

그림 5는 전동기의 고정자 3상 전류파형이며 그림 6은 전동기의 자속성분과 토크성분 전류 파형이다.

3. 결 론

본 연구에서는 유도전동기의 벡터제어를 위하여 DSP와 Motion Coprocessor(ADMC201)를 이용함으로써 인하여 기존의 소프트웨어를 통하여 해결하던 벡터제어 알고리즘을 구현하기 위해 필요한 좌표변환 과정을 Motion Coprocessor를 이용함으로써 인하여 Software의 부담을 줄이고, DSP의 계산 부하도 줄일 수 있었다. 그리고 보편적으로 사용해오던 CPLD를 이용한 Deadtime 회로, A/D 컨버터 등이 모두 Motion Coprocessor 내부에 포함되어 있기 때문에 복잡한 주변 Hardware 회로의 Compact화도 실현할 수 있게 되었다.

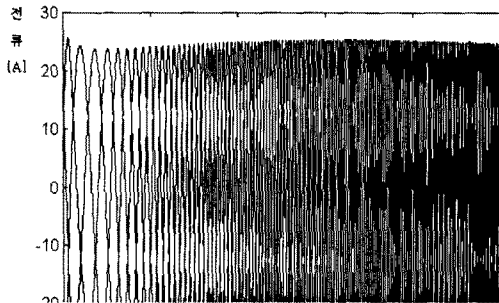


그림 5. 전기자측 3상 전류 파형

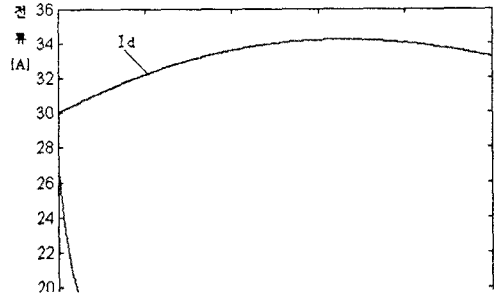


그림 6. 전동기 자속성분과 토크성분 전류

(참 고 문 헌)

- (1) A. Murray, P.Kettle, "AC Motor Experiment Using the ADCM200-EVAL Bard", Application note AN-407, 1995
- (2) A. Murray, P.Kettle, "AC Motor Experiment Using the ADCM200 Motion Coprocessor", Application note AN-408, 1995
- (3) "Field Orientated Control of 3-Phase AC-Motor", Application Report, Literature number BPRA073, Texas Instrument Inc., 1998
- (4) R. Valentine, "Motion Control Electronics Hnadbook", McGraw-Hill, 1998
- (5) 김준석, 설승기, "A Novel Voltage Modulation Technique of the Space Vector PWM", 전기학회, 43권 7호, 1112-1120, 1994
- (6) 윤덕용, 홍순찬, "공간전압벡터 PWM 기법을 이용한 영구자석형 동기전동기의 속도제어", 전기학회, 43권 7호, 1112-1120, 1994