

TMX320F2812를 이용한 AC서보 모터의 벡터제어

최치영*, 홍선기, 한상복
호서대학교 정보제어공학과

Vector control of AC servo motor using TMX320F2812

Choi Chi Young*, Hong Sun-Ki, Han Sang Bok
Department of Information Control Engineering Hoseo University

Abstract - This paper presents the realization of the vector control for AC servo motor using a high performance DSP, TMX320F2812. This DSP has some special peripheral circuits to drive a AC Servo motor as AD converter, QEP and so on. It makes us reduce the time of developing a control system and also can be simple size controller. The vector control algorithm for instantaneous torque control and SVPWM algorithm by offset voltage methods is adopted and we got the satisfactory results.

1. 서론

모터 제어를 위한 주변기가 내장된 고성능 DSP의 발전은 AC서보 모터의 구동 및 제어에 있어 하드웨어를 간소화시키고 C언어를 사용함에도 불구하고 충분한 연산 속도를 가지는 단계까지 발전하였다. TMX320F2812는 이러한 모터 제어용 원칩 DSP로써 12비트의 고속 AD변환기와 SVPWM 및 PWM 발생기, QEP(엔코더 4채널 회로)회로, 파워 드라이버 보호 회로 등 단일칩 하나로 AC서보 모터의 벡터제어를 구현하였다. 위의 DSP는 고정 소수점 연산이라는 단점이 있지만 각 변수의 양자화를 고려한 유효자리까지 적절히 스케일링함으로써 충분히 극복할 수 있는 문제이다. 본 연구에서는 TMX320F2812가 내장한 여러 주변회로들을 이용하여 간소화된 하드웨어를 구성하고 순시 토크 제어와 위치제어를 구현하였다.

2. 본론

2.1 시스템 구성

본 연구에서는 게이팅 시간의 계산을 간략화할 수 있는 옵셋 전압을 이용한 SVPWM을 사용하며[1], d-q축 사이의 서로 간섭하는 속도 기전력은 비 간섭 제어기법을 사용하여 소거하였다. 전류제어 주기는 100us, 전압제어 주기는 1ms, 위치제어 주기는 10ms 이고, 속도 측정은 DSP에 내장된 32비트의 타이머를 사용하여 M/T 측정 방식을 이용하였다[9].

그림 1은 시스템의 전반적인 블록도이다. 본 연구에 사용된 전류 센서로는 10A에서 4V가 출력되는 HINODE사의 P10-10/4를 사용하였고 이를 3V 스케일로 바꾸어 TMX320F2812에 내장된 12비트의 AD변환기에 입력된다. 속도 및 위치 신호처리를 위해서 모터에 부착된 라인드라이버 출력 형식의 15핀 엔코더를 사용하여 초기 로터의 위치 판별 및 속도(RPM), 좌표 변환에 필요한 θ 값을 구하였다. 회전 방향 또한 QEP입력에 엔코더 A, B상을 연결하고 어느 신호가 리딩 신호인지에 따라 업-다운 카운팅 되기 때문에 사용되는 타이머가 업 카운팅인지 다운 카운팅 인지 판별하면 된다. CCW(반시계방향)에서는 업 카운팅, CW(시계방향)에서는 다운 카운팅 된다.

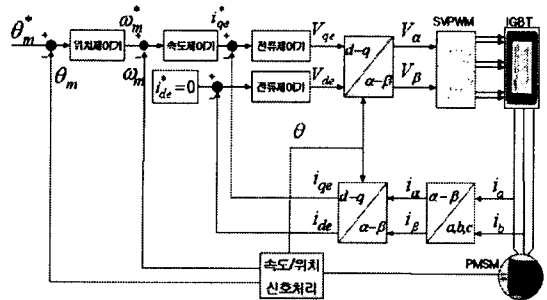
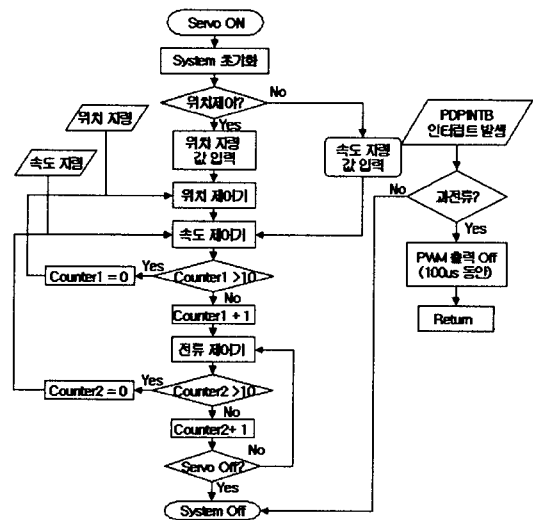


그림 1. 위치제어 블록도

θ_m^* : 위치지령 θ_m : PMSM 로터위치 w_m^* : 속도지령
 w_m : 측정속도 i_{qe}^*, i_{de}^* : d-q축 전류지령 i_{qe}, i_{de} : d-q축 전류 V_{qe}, V_{de} : d-q축 전압지령 i_a, i_b, i_c : a, b 상전류

다음 순서도 1은 프로그램의 전반적인 흐름을 나타낸다. TMX320F2812에는 PDPINT(Power Drive Protection Interrupt)라는 드라이버 보호 기능이 있다. 이는 드라이버 부의 과전류, 과전압 또는 치명적인 오류 발생 신호부와 연결하여 신호 발생 시 PWM 신호를 모두 하이 임피던스로 만든다.



순서도 1. 소프트웨어 흐름도

하나의 인터럽트 루틴에서 단순히 카운터 값을 비교하여 위치제어와 속도, 전류 제어를 수행한다. 인터럽트 주기(전류제어주기와 동일)는 100us이고, TMX320F2812를

75MHz로 사용하였을 경우 실제 프로그램 실행 시간을 측정할 결과 프로그램 수행의 최대 시간, 즉 위치, 속도, 전류 제어를 모두 수행하는 경우 약 25us가 된다. 이러한 빠른 연산 처리는 디지털 제어기의 단점인 공전시간에 따른 위상차의 감소를 줄일 수 있는 장점이 있다. 공전시간은 샘플링 주기(제어 주파수)의 1/2 이하로 함이 바람직하다. 다음은 각 제어기의 정수를 설정하였다. 다음 식 (1)~(4)는 일반적인 각 제어기 정수 설정 방법이다. 여기서 W_{SC} , W_{IC} , W_{PC} 는 속도제어기 교차 각 주파수, 전류 제어기 교차 각 주파수, 위치제어기 교차 각 주파수이다. 일반적으로 $W_{SC} = W_{IC}/10$ 에서 안정적이며 전류제어계의 특성이 속도제어계 응답에 미치는 영향을 무시할 수 있다. 위치제어기의 교차 각 주파수 또한 $W_{PC} = W_{SC}/10$ 으로 설정하여 속도제어계의 특성이 위치제어계의 응답에 미치는 영향을 줄이기 위함이다. W_{IC} 은 전류 샘플링 주기 및 PWM의 스위칭 주파수에 의하여 제한되는데 본 연구에서는 10KHz의 스위칭 주파수를 사용하며, 영 전압이 인가되는 정 중앙에서, 즉 PWM 스위칭 주기와 전류의 샘플링 시간을 같게 하여 전류를 샘플링 하였으므로 전류제어기의 교차 각 주파수를 전류 제어기의 제어 주파수의 약 1/20으로 설정하여 3000 rad/s로 두었다[1]. 그리하여 속도제어기의 교차 각 주파수는 300 rad/s로 두고, 위치제어기의 교차 각 주파수는 30으로 설정하였다. 이와 같이 각 제어기의 교차 각 주파수를 설정하였으면 각 제어기의 제어 정수를 구할 수 있다. 본 연구에서는 식 (1)~(4)를 이용하여 구한 제어 정수의 값을 실제 시스템에 적용하였다.

$$K_{PS} = \frac{J_m * W_{SC}}{K_T} \quad (1)$$

$$K_{IS} = K_{PS} * W_{PI} = K_{PS} * \frac{W_{SC}}{5} \quad (2)$$

$$K_{II} = L W_C, K_{II} = R W_{IC} \quad (3)$$

$$K_{PP} = W_{PC} \quad (4)$$

2.2 부동 소수점 처리

마이크로 컴퓨터는 아날로그 회로와 달리 유한한 길이의 데이터를 취급하므로 데이터의 양자화 폭을 어떻게 설정하는가가 중요하다. 양자화 폭이 너무 크면 연산중의 오차로 인하여 필요한 정보가 없어지고, 반대로 너무 작으면 연산 중 오버플로가 발생하는 위험이 있다. 이러한 양자화 폭의 선택은 아날로그 값을 측정할 수 있는 AD 변환기의 성능과 센서의 입력 범위, DSP의 출력 값과 아날로그 값과의 관계를 고려하여 설정하여야 함이 당연하다. 또한 부동 소수점 처리 DSP인 경우 양자화된 값이나 제어기 연산에서 발생하는 소수점 처리를 바로 수행할 수 있지만 고정 소수점 DSP인 TMX320F2812의 경우에는 양자화된 데이터의 유효자리를 적절한 스케일 방법으로 유효자리를 확보하여야만 한다. 다음은 본 연구에서 사용된 전압 및 전류 센서와 AD변환기 및 DSP의 출력 범위에 맞춘 스케일링 기법이다. 처리 해야 할 데이터로는 첫째로 모터에 흐르는 각 상의 전류가 있다. TMX320F2812에는 12비트의 AD변환기가 내장되어 있다고 앞서 설명하였다. 12비트라는 숫자의 범위는 0~4095이고 전류의 양의 값과 음의 값으로 구분한다면 각각의 범위는 11비트 즉 0~2047이 된다. 본 연구에서 사용된 600W의 모터의 최대 전류는 17.82A이므로 20.27A까지 측정하면 적당하다고 생각하고 전류 샘플링을 0.01A 단위로 측정하였다. 전류에 해당하는 AD변환기의 값을 직접 취한다면 (측정된 전류*100)의 스케일이 되는 것이다. 속도 측정에 대해서는 1 RPM 단위로 측정

하였다. 위치제어는 360/1000, 즉 0.36도 단위로 수행하였다. 속도 제어기의 정수 값은 ×10000 단위로 놓았는데 이는 적분이득의 유효 자리를 확보하기 위해서이다. 계산된 적분이득은 $K_{IS} * 1ms$ 으로 소수점 4자리까지를 유효 소수점으로 보았다. 전류제어기 정수는 ×1000 단위로 계산하였다. 왜냐하면 전류제어기 적분기 이득의 계산 값은 $K_{II} * 100us$ 으로 소수점 3자리까지를 유효하게 보았다. 다음은 음펄스 전압을 이용한 SVPWM의 출력에 대해 살펴보겠다. SVPWM 발생을 위해 사용된 카운터는 업-다운 대칭형 카운터로 사용되므로 제어되는 출력 값은 전체 주기의 반에 해당하는 카운터 값이 된다. DC 링크 단 전압을 출력 값의 범위로 나눈 값은 약 0.08V가 됨을 알 수 있었다. 정리하면 전류 측정 및 제어는 0.01A 단위로 하며, 전압 출력 및 제어는 0.08V 단위로 수행하는 것이다. 마지막으로 각 제어기에서의 연산 과정에서 나눗셈 과정에서의 나머지 처리이다. 여러 연산과정에서 나눗셈 수행이 실행되는데 본 연구에서는 나머지를 나눗셈 수행 전에 계산하여 적분해 나가는 방법으로 해결하였다. 적분한 나머지가 뒀에 해당하는지 검사하여 보상하여 준다. 이러한 나머지 처리가 없다면 작은 제어 입력(q-축 전류 오차) 값에 대해 상대적으로 큰 계산 오차를 가지게 될 것이다.

2.3 실험 결과

표 1은 실험에 사용된 AC서보 모터의 사양과 주요 파라미터의 값을 나타낸다.

상수 / 극수	3상 4극
정격 출력	600 [W]
관성 모멘트	1.02 [g.cm.s ²]
정격 속도	2000 [rpm]
토크 상수	4.8 [kgf.cm/A.kg.c]
상당 저항	0.46 [ohm]
상당 인덕턴스	2.666 [mH]
역기전력 상수	0.049 [V/rpm]

표 1. PMSM의 사양 및 파라미터

이러한 주요 파라미터들은 전류 및 속도 제어기의 적분기, 비례기의 이득을 결정할 때 사용하므로 중요하다. 제어 대상이 되는 모터의 정확한 사양을 알지 못한다면 모터가 가지는 최대 성능을 내지 못할 것이다. 이러한 PMSM 타입 AC모터를 가지고 속도 및 위치에 대한 추종 실험을 실행하였다. 각각의 제어 정수의 값은 식 (1)~(4)를 이용하여 설정하였다.

그림 2~4는 속도 지령으로 2000RPM을 주었을 때의 응답 특성을 나타낸다. 그림 2에는 A상전류 I_{as} 를 나타낸다. 각 파형은 1ms 단위로 각 변수의 측정치를 메모리 공간에 저장하고 CCS(Code Composer Studio)를 사용하여 나타낸 것이다. 전류는 ×100으로 표시되었다. 그림 3은 d-q축 전류 I_{de} 와 I_{qe} 를 보여주고 그림 4는 속도 응답 특성을 나타낸다.

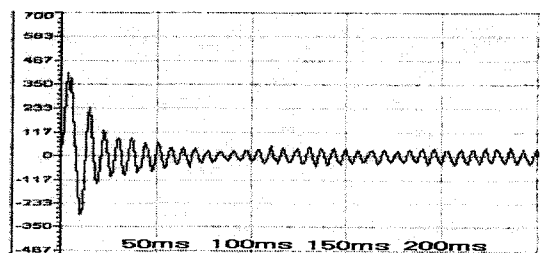


그림 2. A상전류 파형(Ias)

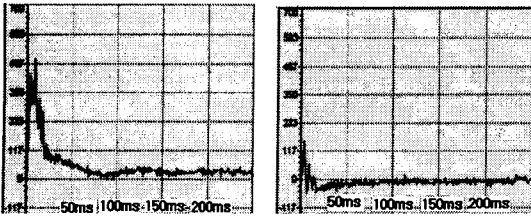


그림 3. Iq 와 Id 전류 파형

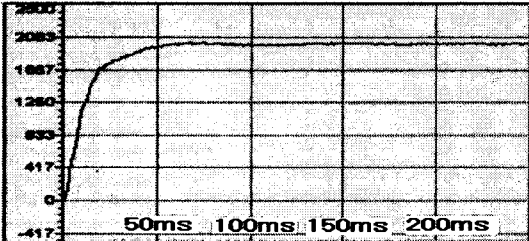


그림 4. 속도(RPM)

아래의 그림 5는 기계적으로 360도(위치지령 1000)를 위치 지령으로 주었을 때의 모터의 응답 특성이다. 오버슈트 없이 안정적으로 정상상태 값에 도달한다. 그림 6은 속도제어기의 출력 전류 명령 치와 그에 따른 응답을 보여 준다.

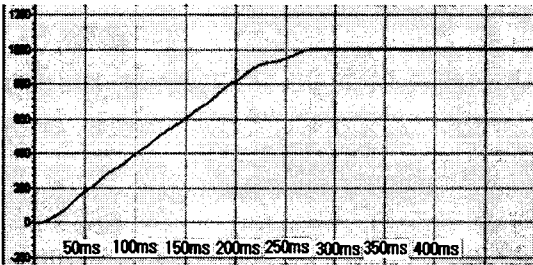


그림 5. 위치 응답(360도 = 1000)

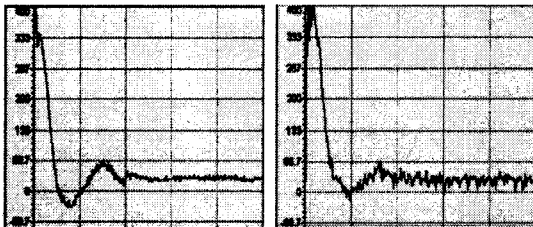


그림 6. 전류 명령 치와 그에 따른 응답

본 연구에서는 데드타임 보상이나 전류 예측과 같은 부분에 대한 연구를 진행 중에 있다. 데드타임에 의한 전류의 왜곡과 TMX320F2812(sample version)의 AD 변환기 부분의 기본 노이즈에 의하여 전류 측정에 노이즈를 포함하게 되었고[1][6], 이로 인하여 전류제어기의 교차 주파수를 3000이상으로 높이지를 못하였다. 향후 이미 출시된 AD변환기 부분이 향상된 TMX320F2812 C-version으로의 DSP 대체와 데드타임 보상문제, 전류 예측과 같은 부분을 첨가하여 전류제어기의 교차 주파수를 높일 수 있다면 더욱 성능이 뛰어난 제어를 수행할 수 있을 것이라 기대된다. 그림 7은 구성된 AC 서보 모터 구동 시스템의 전체적인 그림이다. 그림의 오른쪽은 TMX320F2812를 포함한 컨트롤러 부분이고 왼쪽

하단은 파워 드라이버, 왼쪽 상단은 본 실험에 사용된 AC서보 모터이다.

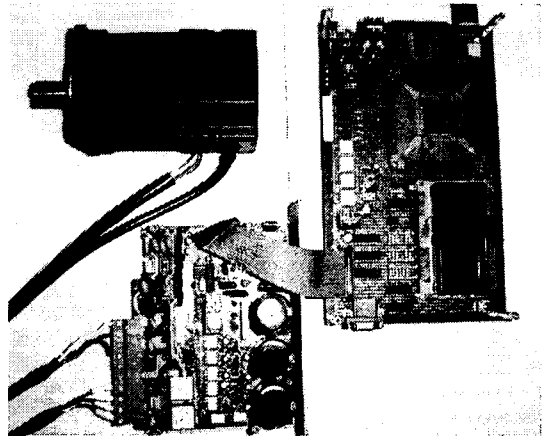


그림 7. 전체 시스템 그림

3. 결 론

본 연구에서는 모터 제어용 고성능 DSP인 TMX320F2812를 이용하여 AC서보 모터의 벡터 제어를 구현하였다. DSP 내부의 여러 특수 기능장치(Peripheral Device)를 사용하여 컨트롤러의 회로를 간소화 시켰고, 속도 및 위치제어를 구현하였다. 빠른 연산 처리로 공전 시간에 대한 영향을 줄일 수 있었고, 고정 소수점 연산에 대한 단점은 각 변수의 양자화를 고려한 유효자리까지의 스케일링을 이용하여 발생할 수 있는 오차를 최소화하였다. 하드웨어 적인 간소화와 구현상의 용이함은 앞서 설명되었고, 실험 결과 부분에서 설명된 문제들을 해결한다면 앞으로 상대적으로 낮은 가격에 고성능의 AC서보 모터 구동 시스템을 구현할 수 있을 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 설승기, 전기기기제어론, 도서출판 브레인코리아, pp.65-117, pp.239-277, 2002.
- [2] Chee-Mun Ong, Dynamic Simulation of Electric Machinery, Prentice Hall PTR, pp.463-504, 1998
- [3] Vladimir Blasko, "Interaction Between Power Converter and Control-PWM and sampling Issues", 40th IEEE Conference on Decision and Control, December 2001.
- [4] 김준식, 설승기, "공간 전압 벡터 PWM의 새로운 기법", KIEE, 44권 7호, pp.865-874, 1995.
- [5] Dong-Hee Lee, Young-Ahn Kwon, "Improved Performance of SVPWM Inverter Based on Novel Dead Time and Voltage Drop Compensation", KIEE, 49B-9-8, pp.618-625, 2000.
- [6] W.Koczara, P.Bialoskorski, "Analysis of Three phase Controlled rectifier with Current active filter", IEEE, 1996.
- [7] Marian P.Kazmierkowski, Luigi Malesani, "Current Control Techniques for Three-Phase Voltage-Source PWM Converter: A Survey", IEEE Trans. on ind electronics vol. 45, no. October pp.691-702, 1998.
- [8] 한홍일, 함년근, 성낙규, 김길동, 김대균, 한경희, "3상 PWM 컨버터의 전류제어기 비교에 관한 연구", KIEE, pp.1248-1250, 2000.7.
- [9] 방승현, 저전압용 DSP칩을 이용한 서보기기의 벡터제어에 관한 연구, pp.3-5, 2002.

본 연구는 한국과학재단 지정 지역협력 연구센터인 호서대학교 반도체 제조장비 국산화 연구센터의 연구비 지원에 의해 연구되었음.