반도체 제조장비용 고성능 DSP를 이용한 AC 서보 모터 벡터 제어 시뮬레이션

한 상 복*, 황 인 성*, 홍 선 기*

*호서대학교 전기정보통신공학부

초 록

본 연구에서는 AD 변환기, QEP(Quadrature Encoder Pulse Circuit)등 모터 제어에 필요한 주변 소자의 디지털 제어를 통해서 AC 서보 모터의 벡터 제어를[3] 구현 하고 시간 지연에 의한 노이즈를 최소화 하기 위해 저 전압형 DSP인 TMP320F2812를 이용하였다. TMP320F2812는 MOS 타입으로 8 depth pipeline을 가진 Harvard bus 를 채택 해서 최대 150MIPS의 고속 처리 능력을 갖고 있으며 12 비트의 AD 변환기, QEP회로와 공간 전압 벡터 PWM을 발생시킬 수 있는 기능을 가진 모터 제어용 원칩 DSP이다. 모터 제어에 필요한 주변 회로들을 내장한 DSP는 하드웨어적인 구성을 간소화 시키고 이로 인한 비용 절감을 얻을 수 있다. 간단한 구조로 고속 연산을 하기 위해 TMP320F2812는 고정 소수점 연산 처리 방식[6]을 사용 하게 되었다. 고정 소수점 연산 처리로 인한 오차는 각 변수에 대한 스케일링을 통해 유효 자리를 확보 하는 방법을 사용 하였다.

1. 서론

최근 전력용 반도체 소자의 발달과 모터 제어를 위한 주변기기가 내장된 DSP 의 발전은 AC 서보 모터의 구동 및 제어에 있어 하드웨어를 간소화시키었고 CISC(Complex Instructions Set Computer)와 RISC(Reduced Instruction Set Computer)의 장점들을 채택한 TMP320F2812 는 고속 연산 능력과 C 언어를 사용한 코딩에도 충분한 연산 속도를 가지는 단계까지 발전 하였다. 이러한 고성능 DSP 를 이용하여 AC 서보 전동기의 벡터제어의 구현이 용이하게 되고 SVPWM(Space voltage Vector Pulse Width Modulation)기법을 이용한 AC 서보 모터의 효율 향상 및 정밀 제어를 구현함에 있어 개발 시간의 단축 및 신뢰도의 향상을 얻을 수 있다.[4] 본 연구에서는 AC 서보 모터의 시뮬레이션을 구현하고 TMP320F2812 시스템에 적용하였다.

2. 제어기 구성

그림 1 은 d-q 축으로 모델링 된 전압 방정식을 가지고 구성된 전체 시스템 제어기의 블록도이다. 모터의 센서출력신호는 인터페이스 장치를 거쳐 해당 제어기의 피드백 신호로 사용되며, 속도제어루프와 전류제어루프의 선서로 점차 안쪽 루프를 형성한다. 이와 같이 직렬로 구성하는 이유는 제어계의 안정성을 향상시키기 위함이다. 즉, 하위루프 교차각 주파수를 상위 루프의 교차각 주파수보다 높임으로서 상위루프 제어기를 쉽게 설계할수 있고, 하위루프의 전류와 속도를 쉽게 제한할수 있다.[1][2]

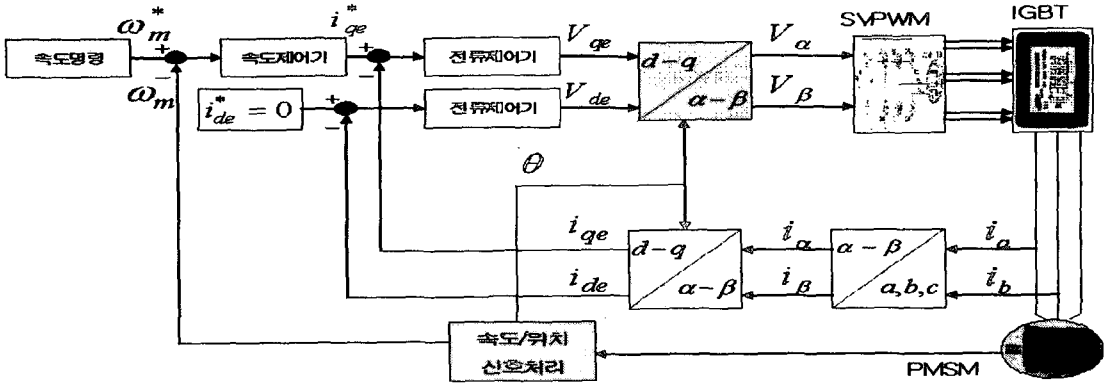

그림 1. 전체시스템 블록도

속도 제어기와 전류 제어기는 각각 PI(비례적분)제어기를 사용하였다. 그림 2 와 3 은 이에대한 블록도이다.

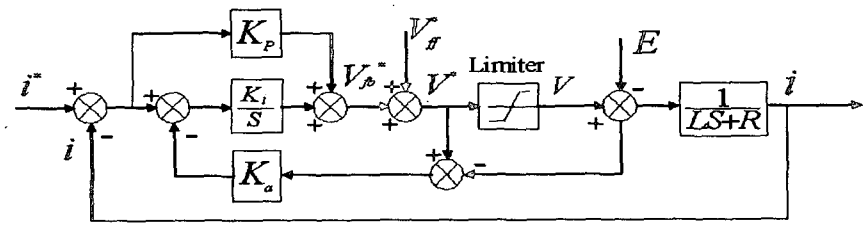

그림 2. 전류 제어기 블록도

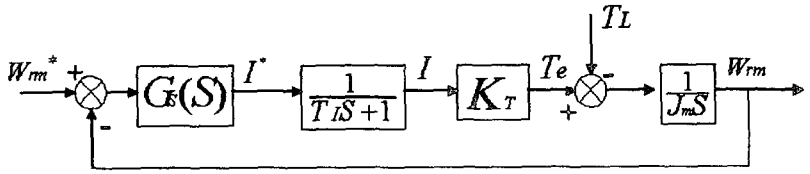

그림 3. 속도 제어기 블록도

다음 식(1)~(3)는 일반적인 각 제어기 정수 설정 방법이다. 여기서 W_{sc} ,W_{ic}는 속도제어기 교차각 주파수, 전류제어기 교차각 주파수이다. 일반적으로 $W_{sc} = W_{ic}$ /10 에서 안정적이며 전류제어계의 특성이 속도제어계 응답에 미치는 영향을 무시할수 있다.[5] W_{ic} 는 전류 샘플링 주기 및 PWM 의 스위칭 주파수에 의하여 제한되는데 본연구에서는 10KHz 의 스위칭 주파수를 사용하며, 영 전압이 인가되는 정 중앙에서, 즉 PWM 샘플링 하였으므로 전류제어기의 교차 각 주파수를 전류 제어기의 제어 주파수의 약 1/20 으로 설정하여 3000rad/s 로 두었다. 그리하여 속도 제어기의 교차각 주파수는 300 rad/s 로 설정하였다. 이와 같이 각 제어기의 교차각 주파수를 설정하였으면 각 제어기의 제어 정수를 구할 수 있으며 본 연구에서는 식 (1)~(3)을 이용하여 시뮬레이션을 구현하고 실제 시스템에 적용하고있다.

$$K_{sp} = \frac{J_m \bullet W_{sc}}{K_T} \qquad (1)$$

$$K_{si} \cong K_{sp} \otimes \frac{W_{sc}}{S} \qquad (2)$$

$$K_{ip} = L \bullet W_{ic} \qquad K_{ii} = R \otimes W_{ic} \qquad (3)$$

3. 시뮬레이션 및 고찰

표 1 는 실험에 사용된 영구 자석형 동기모터의 주요파라메터의 값을 나타내었다.

표 1. PMSM 의 사양 및 파라메터

주요 파라메터	파라메터 값
상수 / 극수	3 상 4 극
정격 출력	200 [W]
관성 모멘트	7.6 [g.cm.s^2]
정격 속도	3000 [rpm]
토크 상수	3.02 [kgf*cm/A]
상당 저항	2.3 [ohm]
상당 인덕턴스	7.8 [mH]
역기전력상수	0.021 [V/rpm]

이러한 주요 파라메터들은 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.

그림 4,5 는 무 부하에서 지령 속도 1000RPM 에 대한 응답 특성이다. 실제 전동기의 구동에서 얻어지는 응답 특성은 시뮬레이션의 결과와 차이가 생긴다. 그 이유는 전동기의 초기 구동 시 순간적으로 너무 큰 명령치를 주게 되면 전동기의 구동이 원활하지 않게 되고, 이러한 이유로 초기 구동시 적절한 가감속 기법이나 지령치의 제한을 두어 적용하는 것이 필요하다.

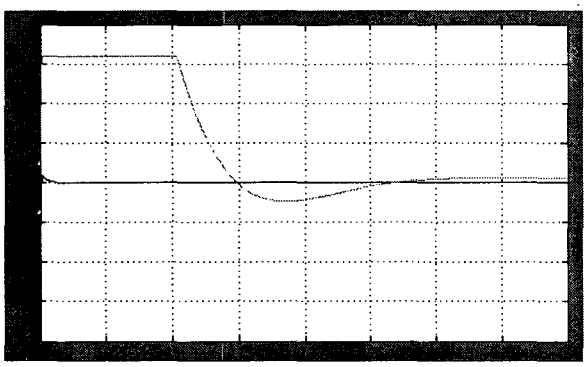

그림 4. 무 부하 일 때 1000RPM 에 대한 속도 응답

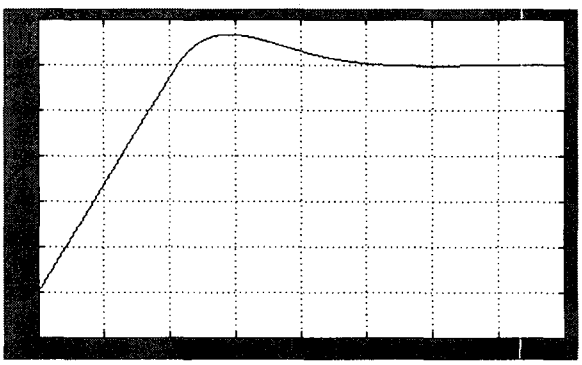

그림 5. 무 부하 일 때 1000RPM 에 대한 속도 응답

그림 4 는 3 상 전류에서 d-q 축으로의 좌표변환을 통하여 얻어진 d-q 축 전류 파형이며, q 축 전류 파형은 3 상 전류 파형의 피크 값에 일치하게 나타난다. 그림 5 는 속도 응답 특성이다. 오버슈트에 의해서 정상상태에 도달하는 시간을 약 0.25s 로 볼 수 있다. 다음의 그림 6,7 은 위의 실험에서 전동기 정격의 1/2 인 부하를 인가하여 시뮬레이션을 수행한 결과이다. 무 부하에서 시뮬레이션을 수행한 것과 같이 d-q 축 전류와 속도 응답 특성을 나타내었다.

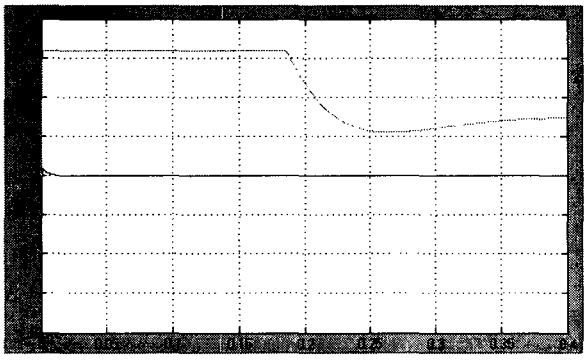

그림 6. 1/2 부하 일 때 1000RPM 에 대한 속도 응답

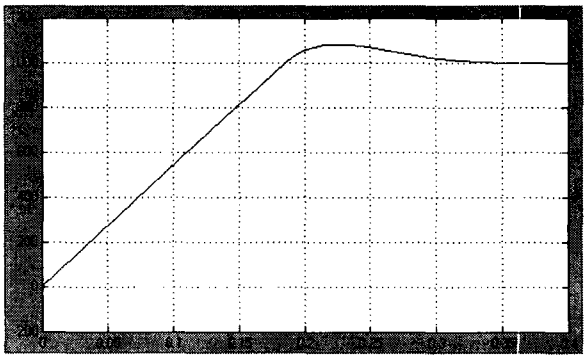

그림 7. 1/2 부하 일 때 1000RPM 에 대한 속도 응답

시뮬레이션에서 전류나 속도의 응답에는 상당량의 오버슈트가 발생하는데 실제 전동기의 초기 구동시 속도 제어기의 출력 값인 전류 값의 변화율을 제한하는 것만으로도 오버슈트가 거의 발생하지 않음을 시뮬레이션을 통하여 확인할 수 있었다. 이와 같은 시뮬레이션 결과를 토대로 실제 TMP320F2812 를 이용한 시스템에 적용하고 있다.

4. 결론

고속 연산성능을 지닌 모터 제어용 DSP인 TMP320F2812는 칩 내부에 제어에 필요한 주변 회로를 직접하고 있다. 이런 구조적인 특징으로 제어장치의 회로를 간소화 되었고, 이는 구현상의 용이함을 가져왔다. 빠른 연산 처리로 공전 시간에 대한 영향을 줄일 수 있고, 고정 소수점 연산 처리에 의한 오차는 각 변수에 대한 스케일링을 통해 유효 자리를 확보할수 있는데 TMP320F2812는 고속 연산에의해 시간적 한계도 극복할수 있다. 본 연구에서는 제어기 설계 단계에서 이를 고려하고 시뮬레이션을 통해 타당성을 확인하였다.이러한 경과를 바탕으로 하드웨어를 제작중에 있으며, 시뮬레이션과 비교를 통하여 반도체 이송용 제조장비에 적합한 고성능 DSP에 의한 AC서보 모터의 벡터제어를 구현하는 연구가 진행중이다.

[참고문헌]

[1] 설승기, "전기기기제어론," 도서출판 브레인코리아, pp. 239-277, 2002.

[2] Chee-Mun Ong, Dynamic Simulation of Electric Machinery, Prentice Hall PTR, pp.463-504, 1998.

[3] 김준식, 설승기, "공간 전압 벡터 PWM의 새로운기법", KIEE, 44권 7호, pp.865~874, 1995.

[4] 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.

[5] 한흥일, 함년근, 성낙규, 김길동, 김대균, 한경희, "3상 PWM 컨버터의 전류제어기 비교에 관5한 연구", KIEE, pp.1248~1250, 2000.7.

[6] 방승현, 저전압용 DSP칩을 이용한 서보기기기의 벡터제어에관한 연구, 호서대학교 대학원 석사 논문, pp.3-22, 2002.

[7] 이용중.유우종.송승호 공역, "산업용 서보모터의 제어시스템 설계", 대영사, pp.73~99.