

# 저 전압 고성능 DSP 를 이용한 AC 서보 모터 제어

최치영\*, 홍선기

호서대학교 정보제어공학과

## 초 록

본 연구는 AC서보 모터의 벡터 제어를 구현하는데 있어 디지털 제어에 의한 시간 지연 및 AD 변환기, QEP(Quadrature Encoder Pulse Circuit)등 주변 소자의 시간 지연에 의한 노이즈를 최소화하기 위하여 고성능 저 전압형 DSP인 TMX320F2812를 사용하였다. TMX320F2812는 150MIPS의 빠른 연산 속도와 12비트의 AD 컨버터, QEP회로는 물론 공간 전압 벡터 PWM을 발생시킬 수 있는 기능을 가진 모터 제어용 원칩 DSP이다. 이와 같이 주변 회로들을 내장한 고성능 DSP의 사용은 모터 제어부의 하드웨어적인 구성을 간소화 시키고 이로 인한 비용 절감을 얻을 수 있다. 또한 전류 샘플을 위한 필터 부분을 디지털 필터화 하여 전류 샘플링 노이즈를 제거하였고, 육상 전압을 이용한 SVPWM을 구현하여 연산 시간을 대폭 단축 하였다. TMX320F2812의 단점인 고정 소수점 연산에 대해서는 각 변수에 대한 스케일링을 통해 유효 자리를 확보하였다.

## 1. 서론

일반적인 전동기 제어 시스템의 경우 제어의 주된 관점은 속도이고 토크는 기계적 관성에 의해 필터링 된 후 속도의 변화로 나타나므로 직접적인 제어의 대상이 아니었다. 그러나 정밀 제어 분야나 위치 제어가 필요한 경우 순시 토크를 제어하여야 한다. 최근 전력용 반도체 소자의 발달과 AD 변환기, PWM 발생기, QEP 회로 등 모터 제어를 위한 주변기기가 내장된 원칩 DSP의 발전은 단일 칩 하나로 AC 서보 모터의 벡터제어를 가능하게 만들었다. 이러한 고성능 DSP를 이용하여 순시 토크 제어와 SVPWM(Space voltage Vector Pulse Width Modulation)기법을 이용한 AC 서보 모터의 정밀 제어를 구현함으로써 개발 시간과 하드웨어를 간소화 시키고 신뢰도의 향상을 얻을 수 있다. 본 연구에서는 TI사의 TMX320F2812를 사용하여 AC 서보 모터의 고성능 제어를 구현하였고, 전류 필터링 등 하드웨어적으로 구현됐던 부분을 소프트웨어 적으로 대체하였다.

## 2. 실험 방법

3상 교류에 의해 동작되는 3상 영구 자석형 동기 전동기를 2상 좌표계, D-Q, 축으로 변환하면 영구 자석 계자에 의하여 유지되는 자속쇄교수는 동기 좌표계에서 D 축에 집중되고 이로 인해 발생하는 속도 기전력( $w_r \Phi_f$ )은 Q 축에 집중된다.<sup>[2]</sup> 또한 동기 좌표계의 전기자 전압  $V_{ds}^e, V_{qs}^e$ 을 제어하여 D-Q 축 전기자 전류인  $I_{ds}^e, I_{qs}^e$ 을 제어할 수 있다. 그림 1은 3상 영구 자석형 동기전동기의 등가회로와 이를 2상 D-Q 축으로 변환하였을 때의 등가회로를 나타낸다.<sup>[1]</sup>

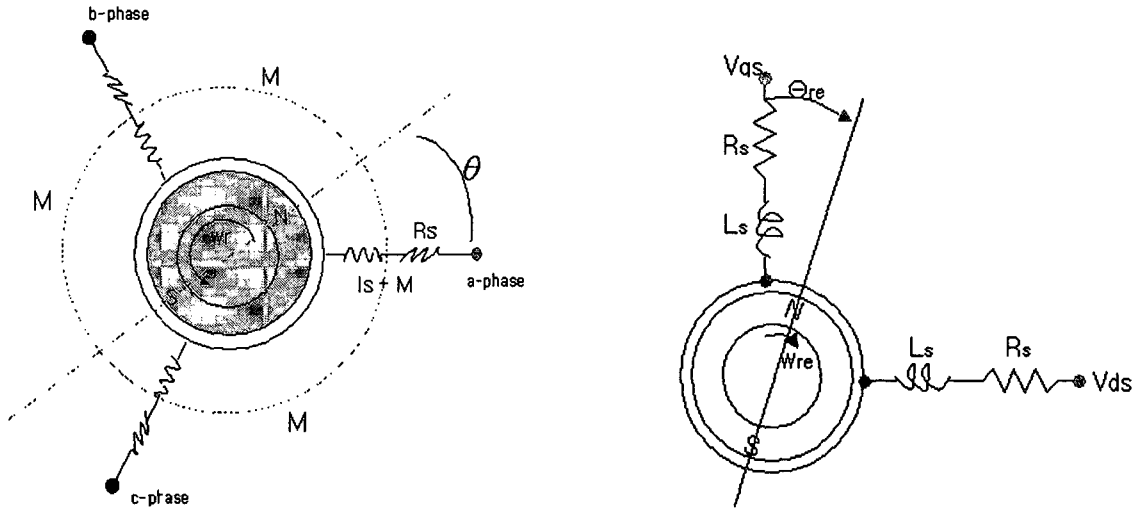


그림 1. 3상 영구자석 동기전동기의 등가회로와 D, Q축으로의 변환

여기서  $R_s$  : 전기자 권선저항,  $L_s$  : 전기자 권선의 누설 인덕턴스,  $M$ : 전기자 권선간의 상호 인덕턴스,  $p$ : 미분 연산자,  $L_s$ : 전기자 권선의 자기 인덕턴스,  $w_r$ : 회전자의 전기 각속도이다. 식 1은 동기 좌표계 D-Q축으로 모델링 된 전압 방정식을 나타낸다.

$$\begin{bmatrix} V_{ds}^e \\ V_{qs}^e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s + pL_s - w_r L_s & 0 \\ w_r L_s & R_s + pL_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ds}^e \\ I_{qs}^e \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ w_r \Phi_f \end{bmatrix} \quad (1)$$

그림 2는 D-Q축으로 모델링 된 전압 방정식을 가지고 구성된 속도 제어기의 블록도 이다.

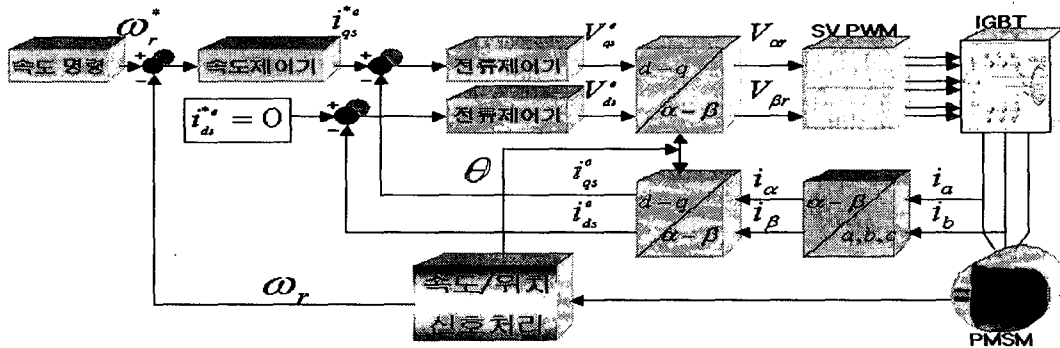


그림 2. 속도 제어 시스템 블록도

속도 제어기와 전류 제어기는 각각 PI(비례적분)제어기를 사용하였다. 그림 3은 이에 대한 블록도를 보여주고 있다.

속도제어기의  $K_{ps}$  (비례이득),  $K_{is}$  (적분이득) 과 전류 제어기의  $K_{pi}$  (비례이득),  $K_{ii}$  (적분이득)은 다음 식 2를 이용해서 구한다.<sup>[1]</sup>

$$K_{ps} = \frac{J_m \times w_{sc}}{K_T} \quad , \quad K_{is} \approx K_{ps} \times \frac{w_{sc}}{5} \quad , \quad K_{pi} = L_s \times w_c \quad , \quad K_{ii} = R_s \times w_c \quad (2)$$

$w_{sc}, w_c$  는 각각 속도 제어계의 각 주파수와 전류 제어계의 각 주파수를 나타낸다. 이 주파수 대역은 전류제어기의 제어주기나 PWM스위칭 주파수에 의하여 제한되는데, 일반적으로 전류제어기 제어주파수의 1/10정도가 전류제어기 주파수 대역의 최대이며, 1/20에서 안정하게 사용할 수 있다. 속도 제어계의 각 주파수는 보통 전류 제어계의 각 주파수의 1/10 이다.<sup>[2]</sup>

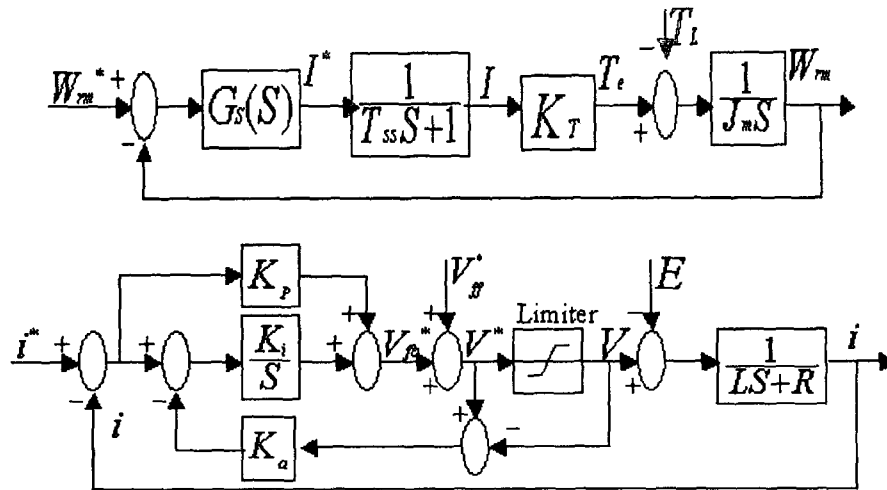


그림 3. 속도 제이기 블록도(상) 및 전류 제이기 블록도(하)

본 연구에서는 전류 제어주기는 100us, 속도 제어주기는 1ms 이고, PWM 주파수는 10KHz이다. 전류 제어기의 주파수 대역은 안정적인 동작을 위하여  $\omega_c = 1500 \text{ rad/s}$ 로, 속도 제어기의 주파수 대역  $\omega_{sc} = 150 \text{ rad/s}$  이다.

### 3. 실험결과 및 고찰

표 1은 실험에 사용된 영구 자석형 동기모터의 사양을 나타낸다.

상수 / 극 수	3상 4극
정격 출력	600 [W]
관성 모멘트	1.02 [g*cm*s <sup>2</sup> ]
토크 상수	4.8 [kgf*cm/A]
전기자 저항	0.46 [ohm].
전기자 인덕턴스	4.0 [mH]
역기전력 상수	0.049 [V/RPM]

표 1. PMSM의 주요 사양

그림 4는 샘플링 주파수의 약 1/5 정도의 대역폭을 가지는 필터를 거쳐 잡음을 제거한 전류 파형을 보이고 있다. 위쪽 그림은 전류 센서로부터 측정된 값이고 밑의 그림은 필터링된 후의 전류 파형이다. 전류의 샘플링 시점은 0 전압이 인가 될 때 샘플링 하는 것이 가장 좋다. [3] 그림 5에서는 필터링을 거친 A상, B상 전류를 보여주고 있다. 크기는 같고 120도의 위상차를 가진다.

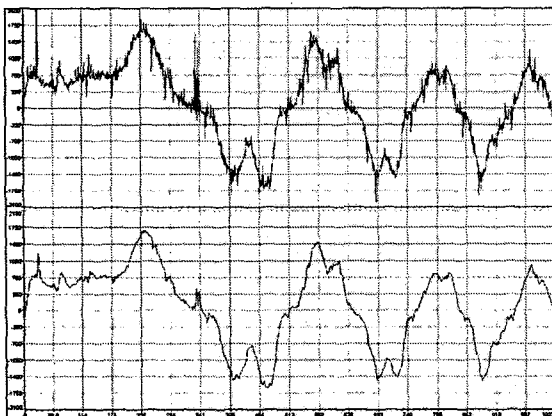


그림 4. 전류 필터링



그림 5. 필터링된 A상(위), B상(아래) 전류

그림 6 과 7 은 식 2 로부터 설계된 속도 제어계와 전류 제어계에서 1000 RPM 의 입력 속도에 대한 시스템의 반응을 나타낸 것이다. 그림 6 의 위 그림은 Q 축 전류( $I_{qs}^e$ )를 나타내고, 아래 그림은 Q 축 전압( $V_{qs}^e$ )을 나타낸다. 그림 7 의 위 그림은 D 축 전류( $I_{ds}^e$ )를 나타내고, 아래 그림은 1000 RPM 에 대한 응답이다. 그래프 샘플링 단위는 1ms 이고 약 1 초 동안의 응답 상태를 보여준다. 상승시간 약 40ms, 정상상태 도달 시간은 약 170~200ms 이다. Dead-Time 에 의한 전류의 왜곡과 디지털 제어기의 지연에 대한 보상과 전류 예측이 추가되면 시스템의 응답 속도를 더욱 높일 수 있다. [3]

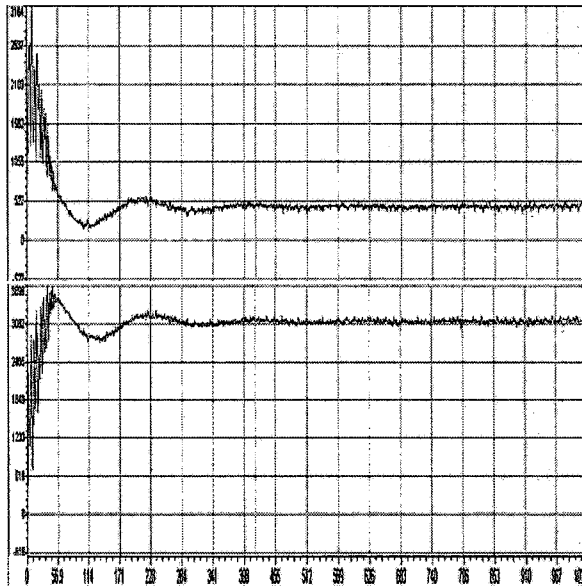


그림 6.  $I_{qs}^e$  (상) 와  $V_{qs}^e$  (하)

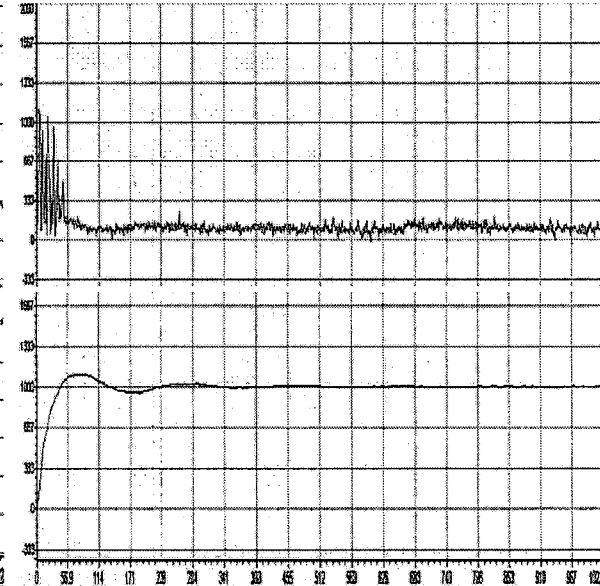


그림 7.  $I_{ds}^e$  (상) 와 RPM(하)

#### 4. 결론

본 연구에서는 저 전압 고성능 DSP 를 이용하여 AC 모터 제어 시스템을 구현 하였다. DSP 내부의 여러 Peripheral Device 를 사용하여 컨트롤러의 회로를 간소화 시키었고 전류 필터링을 소프트웨어 적으로 처리 함으로써 시스템의 유지 보수 및 신뢰성을 높일 수 있었다. 고정 소수점 연산의 단점을 극복하기 위하여 모든 변수를 유효 자리까지 스케일링 함으로써 이로 인한 오차를 최소화 하였다.

#### 참고문헌

- [1] 설 승기, "전기기기 제어론", 도서출판 브레인코리아, pp.65-117, pp.239-277, 2002.
- [2] 이 용중.유 우중.송 승호 공역, "산업용 서보 모터의 제어시스템 설계", 대영사, pp.73-99.
- [3] Chee-Mun Ong, "Dynamic Simulation of Electric Machinery", Prentice Hall PTR, PP.463-504, 1998
- [4] Vladimir Blasko, "Interaction Between Power Converter and Control-PWM and sampling Issues", 40<sup>th</sup> IEEE Conference on Decision and Control, December 2001.
- [5] W.Koczara, P.Bialoskorski, "Analysis of Three phase Controlled rectifier with Current active filter", IEEE, 1996.
- [6] 김 준식, 설 승기, "공간 전압 벡터 PWM의 새로운 기법", 전기학회, 44권 7호, pp.865-874, 1995.