

전원 공급기를 분리한 소형 PMSM 서보 드라이버 개발

이영석, 김원배, 이승호, 김수호

고등기술연구원, 대우조선해양

Development of Tiny PMSM Servo Driver detached Power Supply

Young-Seok Lee, Won-Bae Kim, Seung-Ho Lee, Soo-Ho Kim
Institute for Advanced Engineering, Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering

Abstract - 최근에 소자와 제어기술의 발달로 이 영구 자석 동기 전동기는 정밀 제어 모터로는 표준이 되었고, 많은 기기에서 사용되고 있다. 최근에는 정밀 제어는 기본이고 유지 보수와 설치공간의 문제로 제어기가 점점 더 소형화 되고 있다. 그러나 상용으로 출시되는 많은 PMSM 서보 드라이버가 복잡으로 제작되어 부피가 크고 모터와 1:1 연결을 기본으로 만들어져 협소한 공간에 설치가 어려웠다. 본 논문에서는 PMSM 서보 드라이버의 전원 부분을 분리하여 여러 서보 드라이버가 공통으로 전원을 사용하도록 하는 등 구조적으로 개선 및 변경하여 다축 서보 드라이버를 소형으로 구현하였다.

1. 서 론

최근 전 세계적으로 많은 자동화 시스템이 소형화 및 임베디드화 되고 있다. PMSM(Permanent Magnetic Synchronous Motor)은 산업용 고정밀 소형모터의 산업용으로 많이 사용되고 있다. 이 PMSM의 제어기인 서보 드라이브는 고출력, 정밀도, 다양한 기능으로 인해 소형화가 어려웠다. 본 연구에서는 PMSM 서보 드라이버를 소형 임베디드 제어기에 탑재가 가능하도록 전원 공급 장치를 분리, 여러 서보 드라이버가 공통으로 사용하도록 하고, 기존 서보 드라이버의 여러 기능을 제거 및 통신화하여 소형으로 제작하였다.

2. 본 론

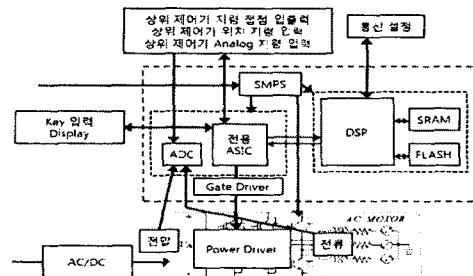
2.1 기존 상용 드라이버 구성

기존 PMSM 서보 드라이버는 크게 제어기 부분과 파워 드라이버 부분, 전원 공급기로 나눌 수 있다.

제어기 부분에는 서보 제어를 위한 DSP(Digital Signal Processor)와 전용 ASIC(Application specific integrated circuit)과 DSP와 전용 ASIC에 ADC(Analog to Digital Converter)를 내장하고 있지 않을 경우 ADC부를 가지고 있다. DSP는 최근 위치 결정기가 17bits급의 정밀화로 정밀 위치, 속도 제어와 그 밖에 오토 투닝, 진동 저감화 등의 고급 제어로 인해 32bits급의 고성능 DSP가 주로 사용되고 있다. 전용 ASIC은 최근에 배선의 간략화와 소형 프로세서의 발달로 위치 결정용 센서에 프로세서를 내장하여 RS485 통신형태로 서보 드라이버에 위치 값을 알려주는데, DSP가 직접 처리하기에는 하드웨어적인 부하가 많이 걸려 전용 ASIC으로 처리한다. 또한 DSP는 전적으로 알고리즘 계산만 주로 사용하므로 Display 장치나 키입력, PWM 출력등의 기능도 ASIC에 한다.

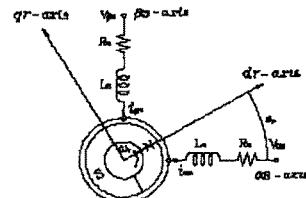
파워 드라이버는 최근에 3상 제어를 위한 IPM(Intelligent Power Module)이 대중화 되어 이 IPM과 절연 Photo Isolator로 절연한 간단한 gate driver로 파워 드라이버를 구성할 수 있다.

모든 전자 장치에는 전원 공급기가 내장된다. PMSM 서보 드라이버는 정밀 제어를 위해 다양한 센서와 소자, 제어부와 파워 드라이버의 전원 분리로 인해 다양한 전위를 가진 복잡한 전원공급기가 필요로 한다.



<그림 1> 상용 PMSM 서보 드라이버 구성

2.2 제어 이론



<그림 2> 2상 고정자 기준 좌표축, 회전자 기준 좌표축

3상 PMSM은 등가저항 R_s 과 등가 인터던스 L_s 로 모델링 되어지고, 전동기의 정상상태 해석 및 동특성 모델을 얻기 위해 2상 좌표계, 고정좌표계 $\alpha\text{-}\beta\text{-}s$ 축과 동기 속도로 회전하는 동기 좌표계 $d\text{-}q\text{-}s$ 축 변환이론을 사용하였다. 3상 서보 전동기의 순시 전압 방정식을 2상 고정자 기준좌표계 전압방정식(1), 토크 방정식(2) 다음과 같다.[2]

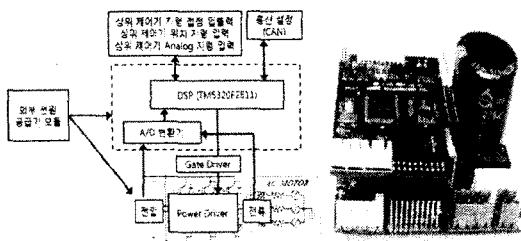
$$v_{as} = R_s i_{as} + L_s \frac{di_{as}}{dt} - K_e \omega_s \sin \theta_s, \quad (1)$$

$$v_{bs} = R_s i_{bs} + L_s \frac{di_{bs}}{dt} + K_e \omega_s \cos \theta_s, \quad (2)$$

$$v_{qs} = R_s i_{qs} + L_s \frac{di_{qs}}{dt} - K_e \omega_s \sin \theta_s, \quad (3)$$

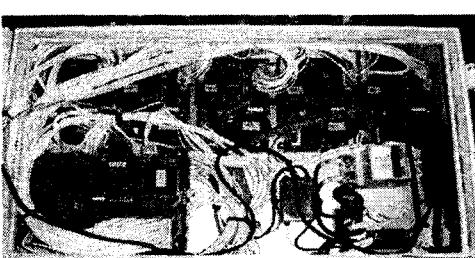
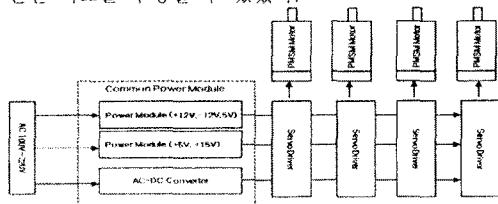
$$v_{ds} = R_s i_{ds} + L_s \frac{di_{ds}}{dt} + K_e \omega_s \cos \theta_s, \quad (4)$$

2.3 개발한 드라이버



<그림 3> 개발한 서보드라이버 구성 및 외형

<그림 3>은 개발한 PMSM 서보 드라이버로, 전원 공급기가 제거된 형태로 크기가 $100 \times 70 \times 43\text{mm}$ 로 상용에 비해 소형이다. 특히 전원 공급기가 외부로 빠져있고 전용 ASIC이 없으며 Display나 버튼 장치 같이 직접 서보 드라이버를 설정하는 기능이 없다. 그러나 이는 전원 공급 장치는 외부에서 공급되므로 다축 구성 시스템일 경우 전원 공급기가 하나만 있어도 되므로 공간적, 경제적으로 유리하다. 또한 외부 설정은 CAN 통신으로 모니터링 및 설정이 가능하다. 또한 CAN 통신 특성상 상위 제어기와 서보 드라이버를 각각 연결할 필요 없이 레일레이 형태로 연결하면 되므로 다축 설정 시 서보 드라이버마다 바꿔 가며 연결할 필요 없이 한번 연결해 놓고 소프트웨어적으로 서보 드라이버 ID만 바꿔서 모니터링 및 설정 및 제어가 가능하다. 또한 제어함에 있어 실시간 응답이 필요한 부분은 접점으로 제어하고, 실시간 응답이 필요 없는 부분은 CAN으로 제어하여 배선량도 줄여 소형화하였다. 사용한 DSP는 TI사의 TMS320F2811로 150MIPS 속도에 PMSM 서보 드라이버 구동을 위한 PWM, QEP, SCI, GPIO, ADC, SPI 등의 다양한 장치[3]를 내장하고 있다. PWM 장치를 이용하여 위치 정보, 전류, 전압 값을 기본으로 하여 제어 이론의 최종값을 PWM으로 출력한다. 사용한 DSP가 ADC를 내장하고 있지만 신뢰성과 센서 출력과 ADC 입력 전압 재밸이 맞지 않아 신호 조정기를 설계하는 것보다 센서 출력과 맞고 신뢰성이 있는 ADC를 사용하는 것이 신뢰성과 간단한 회로를 구성할 수 있었다.



<그림 4> 다축 서보 드라이버 구성한 예

또한 모터가 기존의 표준 15선식을 사용하지 않고 통신 방식 위치 결정 센서를 사용하여, DSP의 SCI를 이용하여 data를 획득하였다. 이는 차후 다양한 최신 모터의

구동을 위해서이다. 또한 전용 ASIC을 이용하여 위치 값을 획득하지 않으므로 간단히 Firmware 변경으로통신 방식 위치 결정용 센서를 사용하는 다양한 벤더의 모터를 구동할 수 있다.

1축을 제어하기 위한 시스템을 구성할 때는 공간적으로 큰 장점이 없지만 <그림 4>와 같이 4축 이상 구성 시 공간적으로 장점이 있다. <그림 4>의 아래는 실제로 5축을 구현한 예로서 $400 \times 250 \times 120\text{ mm}$ 제어기 상자안에 5축 PMSM 서보 시스템, 전원 공급기, 모션 제어기, 상위 제어기를 다 설치하고도 공간적 여유가 있었다. 공통 전원 모듈은 교류 전원을 입력 받아 제어기가 필요로 하는 $5\text{V}, +24\text{V}, +12\text{V}, +12\text{V}$ 와 전원 분리된 $+5\text{V}, +15\text{V}$ 를 만들어 각 모듈에 공급한다.

표1. 시험된 PMSM 규격[4]

Phase/ Pole	3 / 8 pole	출력	400 W
정격 토크	1.27 Nm	Inductance/ Phase	8mH
Rotor Inertia	0.34[$\text{g}^*\text{cm}^*\text{s}^2$]	Resistor/ Phase	0.8 ohm
정격 속도	3000 rpm	Model	TS4609

표2. 기능, 환경, 전자기 시험

기능	구분	시험 조건		결과
		Torque 시험	정격 Torque, 2시간	
환경	속도 변동률	정격 부하, 무부하	0.3% 이하	이상 무
	위치성능	각도 측정	0.01° 이하	
	효율	출력(W)/입력(VA)	95.5%	
	방자 시험	-40°C, 70°C 각각 12시간	이상 무	
전자기	온도 순환	-10°C~50°C 8시간	이상 무	합격
	정전기 방전	KN61000-4-2		
	임펄스 노이즈	KN61000-4-4		
	시지 내성	KN61000-4-5		합격

<표1>은 서보 드라이버 시험에 사용된 모터의 규격이고, <표2>는 현장 투입을 목표로 하여 개발하여, 기능, 환경, 전자기 시험을 수행한 대략적 항목, 시험 결과이다.

3. 결 론

본 서보 드라이버는 현장 사용을 위해 개발하였다. 각 서보 드라이버만 보았을 때 충분히 소형으로 제작이 되었다고 판단되며, 크기 뿐만 아니라 모바일 로봇에 사용하기에 위치, 속도, 토크 등의 특징을 만족했다. 그러나 정밀 작업용으로 사용되기 위해서는 진동 특성, 저속 특성 등 많은 시험이 남아 있고 그에 따라 제어기도 보완해 나가야 할 것으로 판단된다. 또한 서보 드라이브로 자체는 소형이나 상위제어기와 연결하기 위해서는 많은 케이블 작업이 필요로 한다. 그리하여 4축 또는 8축으로 모션 보드와 같이 통합형, 다축으로 제작하여 부품을 공동으로 사용한다면 크기와 유지보수 측면에서 획기적으로 개선시킬 수 있을 것이다.

[참 고 문 헌]

- P. Pillay and R. Krishan, "Application Characteristics of Permanent Magnet Synchronous and Brushless DC Motor for Servo Driver", IEEE IAS Annual Meeting, pp. 380~390, 1987
- 이동희, "서보 시스템의 이해와 설계" pp 247~258, 2005
- Texas Instruments, "TMS320F2812 Digital Signal Processor" data manual, pp.13, April 2001
- Tamakawa Seiki, "TBL-i II series", data manual, pp 15, February 2002