

DSP를 이용한 전동기 드라이브 시스템

이상훈

삼성전자 생산기술센터 자동화연구소

최근의 자동화 추세에 따라 전세계 전력 수요의 50% 이상이 각종 전동기와 관련되어 있다는 추정이 있을 정도로 전동기의 사용은 일반화되어 있다. 특히, 유지 보수 측면에서 경제적인 장점을 지니는 BLDCM, 유도전동기 등의 교류 전동기는 기존에 많이 사용되던 직류전동기를 점차 대체해 가며 그 적용범위를 크게 넓혀가고 있는 상황이다.

광범위하게 이용되는 전동기를 더욱 효율적으로 또한 더욱 고성능으로 제어하고자 하는 요구도 그 사용의 확대와 더불어 증가되어 최근에는 고성능의 디지털 제어 방식을 채용한 드라이버를 이용하여 전동기를 제어하는 것이 일반화되었으며 특히, 1 사이클에 곱셈이 가능하다는 우수한 계산상의 장점을 지닌 DSP를 채용한 전동기 드라이브 시스템은 전에는 구현이 불가능했던 계산량이 많은 고성능의 제어 알고리즘들을 구현 가능하도록 한다는 점에서 큰 관심의 대상이 되고 있다. 이제 전동기 제어 및 드라이브 시스템과 관련된 최근의 주요 이슈들을 알아보고 DSP를 이용한 전동기 드라이브 시스템의 구현 사례, 최근의 전동기 드라이브 시스템용 DSP의 추세 그리고 DSP를 이용한 전동기 드라이브 시스템이 이런 상황에서 어떤 장점을 지닐 수 있는가에 관해 생각해 보고자 한다.

1. 최근 전동기 제어, 드라이브 시스템과 관련된 주요 이슈

최근의 전동기 드라이브 시스템들이 지니는 특징을 간략히 정리해 보면 다음과 같다.

- 고성능화를 위한 각종 알고리즘의 채용
- 디지털 전류 제어 및 공간 벡터 전압 변조 방식 채용의 일반화.
- PWM inverter의 비선형성, 비이상성을 보완하는 알고리즘(데드타임 보상, 전압오차보상)의 채용을 통한 토오크 리플의 저감 및 보다 응답이 빠른 제어기의 구현.
- 전동기의 광범위한 영역에서의 제어성능 향상과 부하 특성의 향상을 위한 현대 제어 이론을 이용한 고성능 알고리즘의 채용. (Load torque observer, Adaptive controller, Speed estimator 등)
- 성능의 유지 그리고 사용자의 편리성을 향상시키고 드

라이브 시스템의 범용성 증대를 위한 각종 알고리즘의 채용. (Gain auto-tuning, Motor parameter estimation/auto-tuning, Motor parameter on-line tuning 등)

- 경제성
- 유지, 보수에 비용이 많이 들어가는 기계적 부분을 대체할 수 있는 알고리즘의 채용을 통한 경제성 재고 (각종 전동기의 속도 센서를 없앨 수 있는 센서리스 제어 등)
- 다채널 A/D converter, PWM 발생기, encoder interface 등을 모두 포함하고 있는 원칩형 마이크로 프로세서의 채용을 통한 드라이브 시스템의 Cost Down 및 신뢰성 확보.
- 고객지원, 제품 upgrade 상의 유연성 확보를 위한 Fresh memory의 채용.
- 환경친화성
- 전세계적으로 EMI 관련 규제의 등장에 따라 드라이브 시스템이 발생시키는 harmonics를 IEEE-519 기준 등 국제적 기준에 만족하는 수준으로 저감시키기 위한 방법의 채용.
- 역률향상과 관련된 문제.

앞에서 언급한 지금의 드라이브 시스템의 대략적인 특징을 보면 많은 부분이 가격이 더 들어가는 H/W적인 변화를 주기보다는 알고리즘을 추가하여 드라이브 시스템의 성능향상을 도모하는 방식을 선호하며 이미 기계적으로 해결하는 것도 가능한 이를 알고리즘으로 대체하여 경제적 이익을 얻고자 하는 경향을 지니고 있음을 알 수 있다. 그러나 기존에 전동기 구동을 위한 드라이브 시스템에 채용된 마이크로 프로세서들은 그 성능이 앞에서 언급한 알고리즘들을 구현하는 데 부족한 경우가 대부분이므로 이를 해결하기 위해 막강한 계산량을 자랑하는 DSP가 그 대안으로 큰 관심을 끌고 있는 것이라 할 수 있다. 물론 기존의 마이크로 프로세서에 비해 DSP가 가격이 비싼 것이 사실이며 고속 메모리와 A/D converter, PWM 발생기, Encoder Interface 등을 고려하면 가격적으로 더욱 큰 약점을 지니게 되지만 현재 원칩형으로 구현된 DSP(TI사의 TMS320F240)가 등장하고 DSP의 적용이 광범위해지면서 그 가격이 크게 낮아지고 있음을 고려하면(TI사의 TMS320C32의 경우 한 개에 \$9.95) 조만간 큰 가격적 부담없이 DSP를 채용할 수 있는 시대가 오게 될 것으로 생각된다.

2. 전동기 드라이브 시스템에의 DSP 적용 사례

표 1. 유도전동기 제어방식의 비교

제어방식	V/F	Sensor less Vector	Vector
속도제어	Open-loop type	Closed-loop type	Closed-loop type
성능(제어 범위)	1:40, 부하변동에 취약	1:100, 부하변동에 강인	1:1000, 부하변동에 매우 강인
특징	범용전동기용 유지, 보수 비용이 적다. 잡음에 강인	범용전동기용 유지, 보수 비용이 적다. 잡음에 강인	전동전동기용 유지, 보수 비용이 크다. 잡음, 환경에 취약
가격	저가	비교적 저가(고성능 V/F와 비슷함)	고가

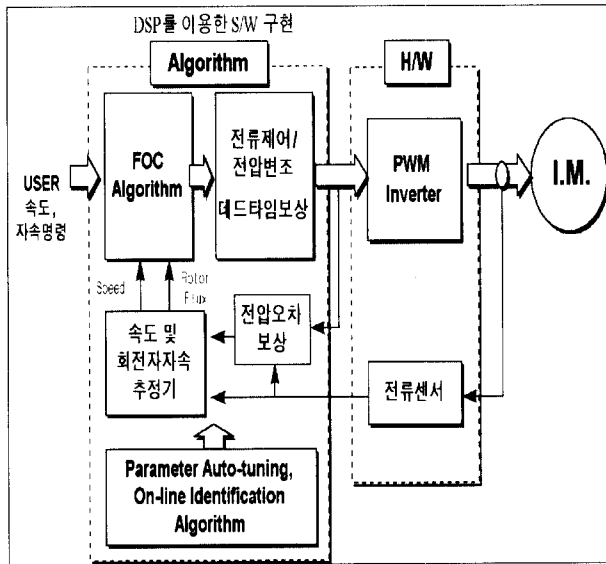


그림 7. 구현된 센서리스 제어 방식의 블록도

필자는 TI사의 Floating-point DSP인 TMS320C32를 이용하여 유도전동기의 센서리스 드라이브 시스템을 개발에 참여한 경험을 가지고 있다. 이제 그 경험을 소개하고 이를 통해 DSP 적용사례를 설명하고자 한다.

유도전동기의 센서리스 제어방식은 고가의 속도센서를 사용하는 대신 유도전동기에 인가되는 상전류와 상전압 정보를 이용하여 유도전동기의 고성능 제어 방식(FOC 혹은 Vector Control)에 꼭 필요한 회전자속과 회전자속을 추정하고 이를 이용하여 유도전동기의 속도와 자속을 고성능으로 제어하는 방식이다. 이 방식은 조만간 기존 유도전동의 제어에 널리 사용되는 open-loop type 제어방식인 V/F 제어방식을 급속히 대체하게 되리라 기대되며 단지 유도전동기 구동을 위한 인버터

표 2. 사용된 알고리즘의 기능과 특징.

Algorithm	기능	특징
FOC	유도전동기의 속도와 자속을 비간섭화시켜 제어하므로써 마치 직류전동기처럼 제어가 용이하게 만들어 준다.	-실행주기:0.304msec
속도 및 회전자속 추정	유도전동기의 전류와 전압 정보로부터 속도와 회전자속을 추정하여 FOC제어가 가능하도록 한다. 센서리스 제어 방식의 핵심.	-실행주기:0.304msec -넓은 영역에서 빠르고 안정하도록 비선형 제어 이론을 사용한 추정기를 개발.
전류제어/전압변조	유도전동기의 토크분, 자속분 전류의 제어. 공간벡터 전압변조를 통한 PWM inverter의 구동.	-실행주기:0.068msec -15 kHz 이상의 스위칭을 통한 저소음화 구현
전압오차보상	전압센서를 사용하지 않고도 정확한 전압 정보의 취득을 가능하게 한다. (Cost Down 효과)	-실행주기:0.068msec -PWM inverter의 비선형성을 저감시키는 효과를 통해 토크 리플 저감이 가능.
Parameter Auto-tuning/ On-line tuning	유도전동기의 파라메타를 초기와 운전 중에 추정하여 성능저하를 막는다. 드라이브 시스템의 범용성을 향상시켜 전동기에 관계없이 구동이 가능하도록 하는 역할을 한다.	-실행주기:1.216msec

를 교체하는 것만으로 성능향상을 얻을 수 있다는 경제성 측면, 현재의 전반적인 고성능화 추세에서의 장점으로 인해 큰 관심의 대상이 되는 제어방식이다. 표 1에는 유도전동기의 제어에 사용되는 각 방식들을 비교해 두었다.

그림 1에는 구현된 센서리스 제어방식의 블록도를 제시하였다. 블록도에서 볼 수 있듯이 모든 알고리즘들은 DSP에 S/W를 통해 구현되었으며 각 알고리즘의 기능과 특징은 표2와 같다. 표2에서 볼 수 있듯이 개발된 센서리스 제어 시스템은 계산량이 많고 복잡하지만 큰 성능 향상과 효과를 얻을 수 있는 다양한 알고리즘들을 매우 빠른 시간에 수행하고 있다. 이와 같은 구현이 가능한 것은 전적으로 계산 능력이 뛰어난 DSP를 메인

프로세서로 채택하였기 때문에 가능하다고 할 수 있을 것이다.

개발된 드라이브 시스템에서 DSP를 사용하여 얻을 수 있었던 장점을 정리하면 다음과 같다.

1. 비선형 제어 이론과 parameter on-line tuning 같이 과거에 실시간 구현이 힘들었던 고성능 제어 및 추정 알고리즘의 구현이 가능하였다.
2. 복잡한 추정 알고리즘을 빠른 주기로 수행할 수 있고, 전류제어/전압변조를 빠른 주기로 수행하므로써 추정 성능향상, 소음제거를 포함한 전체적인 드라이브 시스템의 성능 향상을 꾀할 수 있었다.
3. 모든 알고리즘들이 S/W로 구현 가능하여 부가 H/W를 최소화할 수 있어 드라이브 시스템의 전체 H/W 시스템을 간단하게 할 수 있었다.

3. 전동기 드라이브 시스템용 DSP의 추세 및 결론

전동기 드라이브 시스템을 개발하기 위하여 사용되는 마이크로 프로세서를 결정할 때는 다음과 같이 선택된 제어 알고리즘의 계산량, 마이크로 프로세서의 가격, 그리고 채택된 마이크로프로세서를 사용하였을 경우의 H/W의 크기등 세가지 면을 신중히 검토하여야 한다.

지금까지의 DSP는 계산량에 있어서는 월등한 강점을 지녔으나 다른 마이크로 프로세서에 비하여 가격이 비싸고 전류등 analog 정보의 feedback을 위한 A/D converter, PWM 출력을 위한 발생기, encoder interface, 고속 memory들을 외부에 추가하여야 하므로 원칩형 마이크로 프로세서에 비해 완성된 H/W의 크기가 매우 커지는 단점을 지녔었다.

그러나 최근 TI사의 F240과 같이 한 chip에 16bit DSPcore와 여러 채널의 A/D converter, PWM 발생기,

quadrature encoder interface, fresh memory등을 포함시킨 원칩형 DSP가 발표되고 TMS320C32의 경우 수십만개 구입할 경우 \$10이던 가격이 단 한 개를 구입할때에도 \$9.95에 구입할 수 있을 정도로 그 가격이 점차 크게 낮아지고 있는 상황이다.

따라서 앞으로의 전동기 드라이브 시스템용의 DSP는 지금까지 지니고 있던 막강한 계산성능상의 장점을 유지하면서도 가격이 저렴하고 전동기 구동을 위한 각종 peripheral들을 chip내부에 포함하여 전체 H/W의 크기를 획기적으로 줄일 수 있도록 하는 쪽으로 발전할 것이며 지속적인 디지털 기술의 발전과 DSP의 사용확대에 힘입어 가격이 더욱 저렴해질 것으로 생각된다.

현재의 전동기 제어를 위한 각종 기술들은 우수한 현대 제어 이론들의 적용을 통해 과거와는 차별화된 성능을 얻고, 과거 기계적으로 처리하던 부분을 S/W 알고리즘으로 대체하고자 하는 경향을 지니고 있으며, 성능 향상을 위한 다양한 알고리즘들을 드라이브 시스템에 포함하여 사용자의 다양한 고성능화 요구에 대처하려고 하고 있다.

이와 같은 전동기 제어 기술의 흐름은 지금까지 사용되던 것보다 더욱 강력한 계산 성능을 지니는 마이크로 프로세서를 필요로 하고 있으므로 DSP는 더욱 더 그 사용 영역을 넓혀 갈 것으로 예상되며 지속적인 디지털 기술 발전에 따른 DSP 가격의 하락은 이와 같은 변화를 가속화시키리라 판단된다.

참고로 좀 더 자세한 정보를 원하는 독자를 위하여 현재 DSP를 제조하는 세 회사의 Web site를 소개한다.

Texas Instruments : www.ti.com/sc/docs/dsps/dsphome.htm

Motorola : motorola.com/SPS/DSP/products/

Analog Device : www.analog.com/publications/documentation/documentation.html