

DSP기반의 소형 SRM 구동 시스템의 개발

송 현수, 이 동희, 안 진우
 경성대학, 거제대학, 경성대학

The Development of SRM Drive System based on DSP Controller

Hyun-Soo Song, Dong-Hee Lee, Jin-Woo Ahn
 Kyungseung Univ., Koje College, Kyungseung Univ.

Abstract - The switched reluctance motor(SRM) drive system provides a good adjustable speed and torque characteristics. However, because of the torque production mechanism, it also has some disadvantage such as higher torque ripple and fluctuation in speed. To reduce torque ripple and to control speed precisely, digital signal processor(DSP) is adopted.

The DSP TMS320F241 is used to be realized this drive system. Test results show that the suggested control system has the ability of dynamic and precise speed control.

1. 서 론

최근 Power Electronics 분야의 전력용 스위칭 소자의 개발 및 Micro Electronics 분야의 발전으로 인하여 고성능, 고기능의 제어방식이 실현됨에 따라 전동기 부분에서도 새로운 모터의 개발이 활발히 연구되고 있다. 특히 기존의 DC 모터에서 발생하는 큰 문제인 브러시의 사용으로 인한 유지 및 보수의 어려움에 대한 브러리스 방식의 전동기가 대안으로 연구되고 있다.

스위칭 릴럭턴스 전동기(Switched Reluctance Motor, 이하 SRM이라 함)는 전자기적 구조가 간단하고 견고하며, 고효율, 고토오크/관성비, 넓은 범위의 가변속운전 등의 장점을 가진 전동기로서 근래 여러 산업분야 및 가전 분야에 그 적용범위를 넓혀가고 있는 추세이다. SRM은 전자 에너지 변환기구에서 릴럭턴스 토크를 극대화시킨 전동기구로 전력용 스위칭 전원에 가장 적합한 형태의 전동기이다.

SRM은 스위칭 각에 따라서 출력특성 및 효율이 현저히 달라지므로 정밀한 각 제어가 필수적이다. 따라서 마이크로 프로세서를 기반으로 한 컨트롤러의 연구가 활발히 진행되어 왔으나, 일반적인 마이크로 프로세서는 낮은 연산능력으로 인해 정밀한 운전이 요구되는 응용에는 적합하지 않다.

본 개발에서는 200W급 12/8 SRM을 저가형 단일 센서를 이용하여 속도제어를 구현하였다. 정밀한 스위칭 각 제어에 유리한 DSP(Digital Signal Processor)를 기반으로 하여 인버터와 제어가 일체형인 드라이버를 개발하여 그 적용성 및 효율성을 입증하였다. 실험에 DSP TMS320F241을 적용하여 드라이버를 개발하였다.

2. 프로토타입 SRM의 해석

SRM용 드라이버의 개발에서 유의 사항은, SRM의

구동에 필수적인 엔코더 혹은 센서신호의 처리이다. 사용목적에 따라 절대치/증분형 엔코더 및 센서의 개수가 달라지며, 그러한 다양한 엔코더에 대응할 수 있는 범용 컨트롤러를 제작할 필요가 있다. 또한 본 드라이버는 500w급 이하의 소용량 SRM용이므로 단상교류 220v를 전원으로 사용하게 하였다. 사용자 편의성에 중점을 두어, 세팅 및 속도표시용의 FND (Multisegmented LED Displays), 정밀가변저항 속도조절기, on-off 스위치, 모드변환 스위치 등도 구성하였다.

2.1 12/8의 단일센서인 대상 SRM

본 개발에 적용된 SRM은 12/8 200W급의 팬 부하용 SRM으로 제원은 다음과 같다.

표 1. SRM 주요 규격

전동기의 종류: 스위치드 릴럭턴스 전동기	
출 력: 200W	전 압: 220 V
전 류: 1.2 A	회 전 수: 2000 RPM
정격시간: 연속	온도상승: 90℃
절연계급: Y 중	중 량: 345g

본 개발에서 대상 전동기로 사용된 SRM은 200w급의 소형 12/8 SRM이다. 고정자는 12극이고 회전자는 8극으로서 회전자의 아래쪽에 엔코더역할의 치(齒)가 부착되어 있다(그림1).

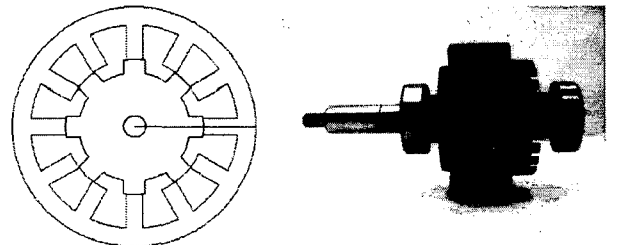


그림 1 전동기의 고정자와 엔코더 부착형 회전자
 Fig.1 Stator and rotor with encoder

외함의 재질은 알루미늄으로 위쪽·아래쪽의 2개로 분리되어 있으며, 코어를 아래위로 감싸는 형태로 되어있다. 케이블은 크게 2부분으로, 3상용의 전동기의 각 상에 전류를 공급해 주는 6선, 다른 하나는 엔코더 신호를 내보내는 3선으로 구성되어 있다.

SRM에 있어서 고정자에 대해 회전자의 위치를 아는 것은 대단히 중요하다. 본 전동기는 포토인터럽터 하나만을 사용하여 정·역 운전이 가능하도록 되어있다. 회전자에 장착되어 있는 엔코더의 한 치(齒)는 3상중 각각의 상에 적용되는 구조를 가지고 있다. 본 전동기의 엔코더 신호와 각 상의 인덕턴스

프로파일이 그림 2에 나타나 있다.

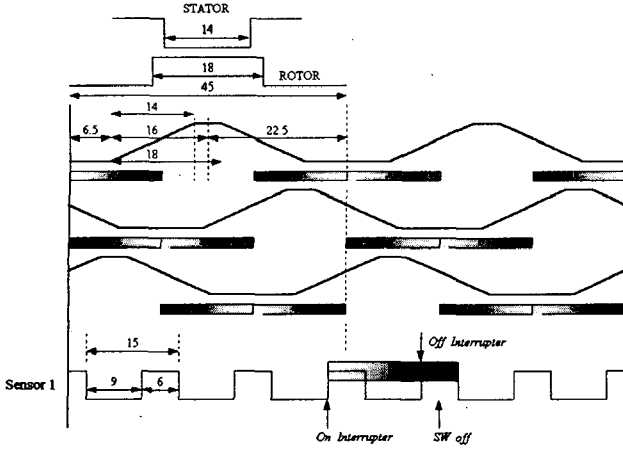


그림 2 엔코더신호와 각 상의 인덕턴스 프로파일
Fig.2 Encoder signals and Inductance profile of each phase

적용된SRM의 자기회로 해석을 위해 FEM 해석을 하였다. FEM 해석은 FLUX2D 및 PC-OPERA 프로그램을 이용하였다. 그림 3은 SRM의 해석을 위해 1/4 부분으로 mesh를 나눈 모양을 보여주고 있다.

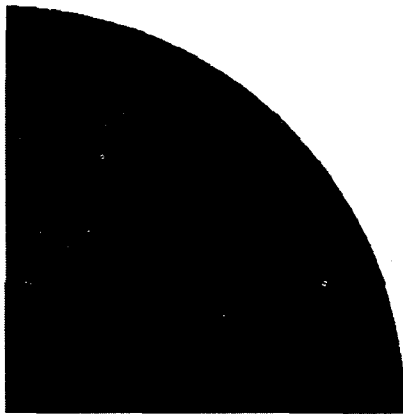


그림 3 FEM 해석을 위한 mesh
Fig.3 Mesh for analyzing FEM

그림 4는 FEM 해석을 통한 자속분포와 자력선 방향을 보여주고 있다. 고정자와 회전자 의 요크나 극부분의 포화는 정상적이지만 극이 만나는 곳에서의 국부적인 포화가 심하여 자속밀도를 제한하고 있다.

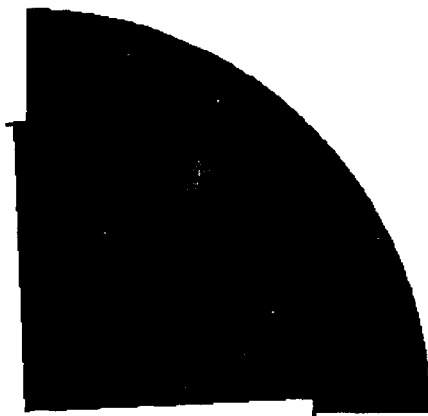


그림 4 자속분포와 자력선 방향
Fig.4 Flux distribution and direction of magnetic force line

이상의 적용된 전동기의 실제 인덕턴스 프로파일

은 그림 5에 나타나 있다.

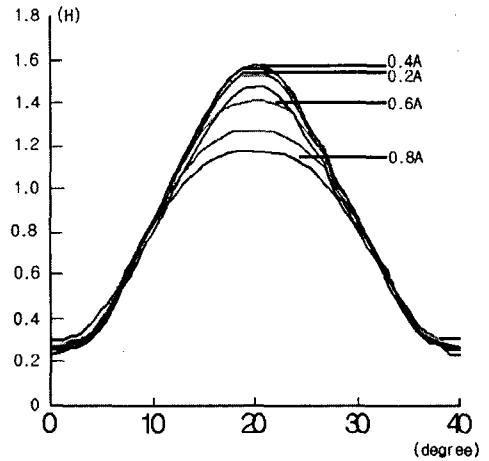


그림 5 적용된 전동기의 인덕턴스 프로파일
Fig.5 Inductance profile of 12/8 SRM

3. DSP기반 제어기 설계

현재 산업용 마이크로 프로세서는 인텔(Intel) 계열의 8031, 8051 및 80196과 마이크로칩(Microchip) 계열의 PIC16C711, PIC16C72, PIC16C74 그리고 모토롤러사의 6800계열 등이 널리 사용되어 지고 있다.

그중 PIC 계열의 마이크로 프로세서는 매우 저가형이면서 내부에 플래쉬 메모리를 가지고 있으므로 부가적인 외부 프로그램 메모리를 사용할 필요가 없고 신뢰성이 매우 높아 산업 현장에서 많이 사용되고 있다. 하지만 사용 가능한 PWM의 수가 제한적이고, 8비트 코어를 가짐으로 인해서 연산의 정확성이 다소 떨어진다. 또한 내부적으로 8비트의 정수 연산만을 지원하므로, 고성능 제어 시스템에 필수적인 알고리즘을 구현하기에는 연산시간이 매우 길어지는 문제를 안고 있다. 인텔계열의 80196은 연산 알고리즘에 적합한 16비트의 곱셈을 지원하지만, 하드웨어의 구성에 있어 내부 플래쉬 메모리를 지원하지 않아서, 프로그램 메모리와 데이터 메모리를 부가적으로 사용해야 하는 문제가 발생한다.

이러한 마이크로 프로세서는 범용의 용도로 개발되어져 다양한 용도로 사용가능하나, 전동기의 제어 목적용에 적합하지 않은 기능이 부수적으로 첨부되어져 있고, 전동기의 제어에 필수적인 요소가 빠져 있어서 실제 전동기 제어 시스템을 구현할 때, 부가적인 회로가 필요하다.

TMS320F241은 TI(Texas Instrument)사의 마이크로 프로세서 제품군 중에서 AC유도전동기, BLDC 및 SRM을 제어하기에 적합하게 설계된 마이크로 프로세서이다. 특히 가변속 제어 시스템을 구현하기 위한 프로세서로 저가형이면서 신뢰성이 매우 높아 현재 고성능 산업용 전동기구의 제어용 프로세서로 그 활용도가 점차 증가하고 있다.

게다가 TMS320F241은 16비트의 고정소수점 방식으로 20MIPS(Million Instruction Per Second)의 고속 처리능력을 보유하고 있고, 산업용 전동기 제어 전용으로 설계되어 있으며, 가격또한 매우 저렴하다. 내부적으로 8채널의 10비트 AD 컨버터를 내장하고 있어서, SRM의 제어에 효과적인 상전류의 검출 및 직류 링크단의 검출 그리고 직류 링크 전압의 검출이 고해상도로 가능해진다. 내부에 2개의 16비트 타

이때로부터 6개의 PWM의 구현이 가능하여 3상 전동기 및 3상의 SRM 전동기의 스위칭이 독립적으로 구현될 수 있다. 또한 엔코더의 신호를 실시간으로 측정가능한 QEP(Quadrature Encoder Pulse) 기능을 가지고 있어서, 범용의 증분형 엔코더로부터 직접 위치를 측정가능하고, SRM에 사용되고 있는 Optical Encoder로부터 직접 속도의 계산이 가능한 장점을 가지고 있다.

그림 6은 본 개발에서 사용한 TMS320F241의 전체적인 구조를 나타내고 있다.

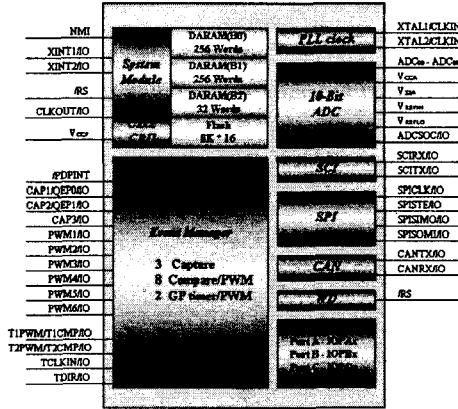


그림 6 TMS320F241의 내부 구조
Fig.6 The inner architecture of TMS320F241

본 개발에서는 64핀의 PLCC 타입의 TMS320F241을 프로세서로 사용하는 제어시스템을 직접 설계하여 12/8 SRM의 속도제어에 적용하였다. SRM의 상전류는 10비트의 AD 컨버터를 통하여 입력되며, 속도 지령치도 정밀 가변저항을 이용하여 0~3000rpm의 입력을 아날로그 값으로 입력되도록 설계하였다. 속도의 측정을 위해서 하나의 Optical Encoder가 사용되었으며, 센서의 신호는 CAP3 핀으로 입력되어 펄스와 펄스사이의 간격을 속도정보로 이용하였다. 속도제어는 PI 제어기로 구성되어 PWM 방식의 전압 제어 기법을 사용하였다(그림 7).

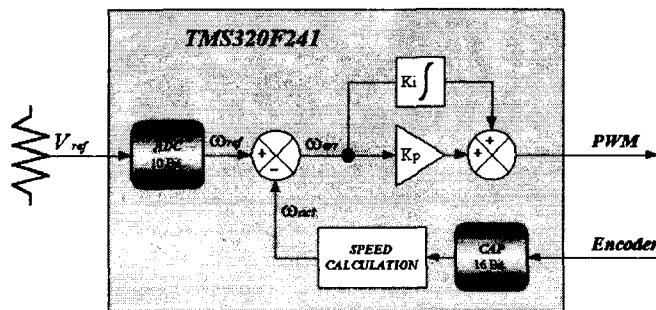


그림 7 속도제어기의 구성
Fig.7 The component of speed controller

그림 8은 본 개발에서 제작된 TMS320F241을 이용한 제어 시스템과 정격 500VA SRM 전용 인버터 시스템을 나타내고 있다. 엔코더 신호는 TLP181을 통하여 제어부와 센서부를 절연처리하였고, 제어 시스템의 전원은 플라이백 회로로, SMPS를 제어 시스템 내에 원보드 장착 하였다. 과전류 보호를 위해 과전류를 저항으로 검출하여 차동증폭기를 통하여 인버터 신호를 차단하는 알고리즘을 적용하였다. 인버터 시스템은 SSPN5N90 IGBT와 IXYS12A의 다이오드를 사용하여 스위치 회로를 구성하였고, 게이트 드라이브는 TLP250을 사용하였다.

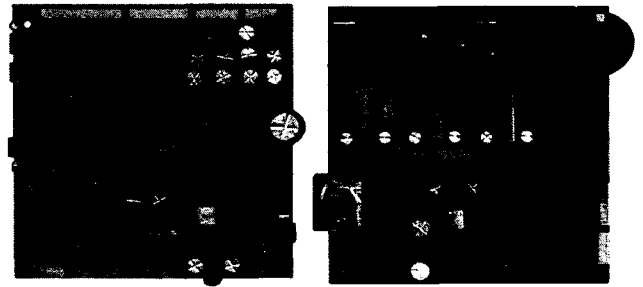


그림 8 제작된 제어기 및 인버터
Fig.8 Complete controller and inverter for SRM

4. 실험결과 및 검토

제작된 DSP 제어시스템의 검증을 위하여 표 1의 정격을 가진 프로토타입 SRM에 적용하여 실험하였다. 그림 9는 SRM의 제어를 위한 PWM 신호와 게이트 증폭 회로의 출력 신호를 나타내고 있다. 제어 속도는 2000rpm으로 설정하였으며, 전류는 최대 전류에서 제한하는 방식을 적용하였다.

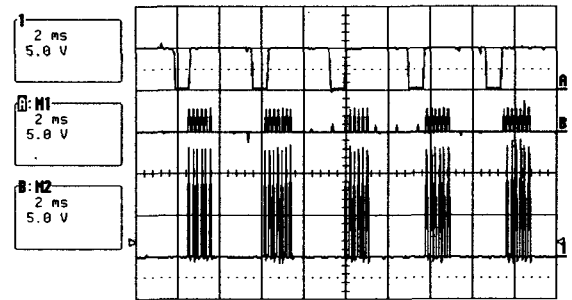


그림 9 제어신호와 게이트 증폭신호
Fig.9 Signals of control and amplification for gate

속도의 측정은 각 센서의 신호로부터 DSP내의 CAPTURE 기능을 사용하여 측정하였으며, 측정된 속도로부터 PWM 출력을 통하여 속도를 제어하고 있다. 중간부분의 상스위치 신호는 센서 입력에 의한 PIC 제어기의 PWM 출력을 나타내고 있다. 그림 10은 정격 속도 2000rpm에서 A상의 상전류 신호를 나타내고 있다.

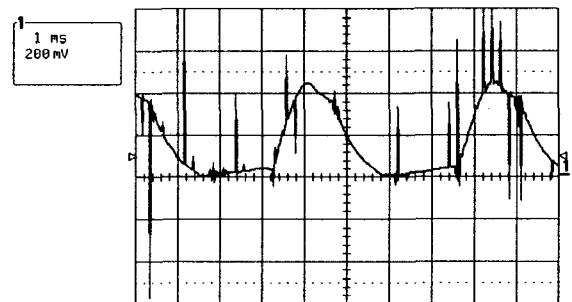


그림 10 A상의 전류파형(2000rpm)
Fig.10 The current waveform of phase A(2000rpm)

4. 결론

TMS320F241은 TI(Texas Instrument)사의 마이크로 프로세서 제품군 중에서 AC 유도 전동기, BLDC 및

SRM을 제어하기에 적합하게 설계된 마이크로 프로세서이다. 특히 가변속 제어 시스템을 구현하기 위한 프로세서로 저가형이면서 신뢰성이 매우 높아 현재 고성능 산업용 전동기구의 제어용 프로세서로 그 활용도가 점차 증가하고 있다. 본 개발에서는 SRM의 고성능 제어를 위하여 전동기 제어 전용으로 설계된 TI사의 TMS320F241을 사용한 제어시스템을 구성하였다. 설계된 제어시스템은 SRM의 제어를 위해서 상전류의 검출 및 센서신호의 검출을 프로세서 내에서 처리하도록 설계되어 있어 하드웨어의 구성이 매우 단순하다. 특히, 고정도 AD컨버터의 내장으로 인하여 상전류의 검출 정도가 8비트 PIC 및 여타 마이크로 프로세서에 비해서 높고, 변환 시간도 빠르다. 16비트 기본 연산을 지원하므로, 제어기의 연산시간이 매우 빨라지는 장점이 있다. 따라서 본 개발에서는 이러한 DSP의 장점을 이용하여 20kHz의 스위칭 속도를 가지도록 설계되었다.

설계된 제어시스템과 SRM 전용 인버터 드라이브는 프로토타입으로 설계된 SRM에 적용되어 그 성능을 검증하였다.

참고문헌

- [1] 안진우 외 1, 스위치드 릴럭턴스 전동기의 구동과 응용, 신지서원, pp287, 1998
- [2] J.W. Ahn et al, " A 3-Phase Switched Reluctance Motor with 2 Phase Excitation," Tr-IA, Vol.35 No.5, pp1067-1075, 1999
- [3] D.E. Cameron, J.H. Lang, S.D. Umans ; "The Origin and Reduction of Acoustic Noise in Doubly Salient Variable Reluctance Motors", IEEE Trans. on IA, Vol.28, No.6, pp.1250-1255, 1992.
- [4] C. Pollock, C.Y. Wu ; "Acoustic Noise Cancellation Techniques for Switched Reluctance Drives", IEEE IAS. Annual Meeting, Vol.1, pp.448-455, 1995.
- [5] C.Y. Wu and C. Pollock ; "Analysis and Reduction of Vibration and Acoustic Noise in the Switched Reluctance Drive," IEEE Trans. on IA, Vol.31, No.1, pp.91-98, 1995.
- [6] Texas Instruments "TMS320F243/F241/C242 DSP Controllers Reference Guide - System and Peripherals", January, 2000