

인터넷 웹 기반의 PMSM 원격 제어시스템

김대현*,최양광*,김영석*,이을재**
*인하대학교, **이경산전(주)

Internet Web-Based Remote Control System
for Permanent Magnet Synchronous Motor Drives

*Dai-Hyun Kim,*Yang-Kwang Choi,*Young-Seok Kim,**Eul-Jae Lee
*Research Center for Next-generation High voltage and Power Technology, Inha University,
**E-Kyung co., LTD.

Abstract - As the industry is developed, uses of various electric motor are increasing from general home to various fields of industry, and the kind becomes various daily. For these reasons, it is required to study the remote control and a package management about change of a speed drive system, the supervision of administration appliance by real time, and the collection and process data together using internet prevailed on industry whole. This paper deals with the development of a Web-Based remote control system for permanent magnet synchronous motor drives. The client/server system using TCP/IP protocols and DSP controller for remote control through internet and the Web interface that users can confirm data and state of PMSM(Permanent Magnet Synchronous Motor) is developed. This system is available for driving, braking, variable speed control and monitoring for PMSM in real time through administration program of Web-Based.

1. 서 론

산업이 고도화됨에 따라 일반 가정에서부터 산업현장에 이르기까지 각종 전동기의 사용이 증가하고 있으며 그 종류도 날로 다양해지고 있다. 이러한 전동기에 대해 시간과 거리의 제약을 받지 않고 정보의 수집 및 처리 분배 하는 기술의 발달을 요구하게 되었으며, 새로운 정보 처리를 위한 시스템의 구축에 대한 요구가 더욱 가속화 되어 가고 있다. 따라서 가변속 구동 시스템에 대한 정보들을 원격 계측하여 네트워크를 통해 전송할 수 있는 시스템이 구축된다면 시간과 공간의 측면에서 기업의 수익성을 상당히 향상시킬 수 있다[1].

본 논문에서는 이러한 측면을 고려하여 산업용 기기의 응용 분야에 서보용으로 폭 넓게 사용되고 있는 PMSM을 선택하여 사용 환경제한, 가격 상승, 크기 증대 등의 PMSM 구동 문제 해결을 위해 현재 널리 연구 중인 센서리스 알고리즘[2]을 적용하고 이 PMSM에 인터넷을 이용하여 웹 브라우저를 통해 간편하게 PMSM을 원격으로 ON, OFF 및 가변속 제어를 하고 실시간으로 시스템의 상태를 감시할 수 있는 원격제어시스템을 제안하고자 한다.

따라서 인터넷을 통한 데이터전송을 위해 TCP/IP Protocol을 사용하고, 인터넷상에서 웹을 통해 원격 제어 및 감시를 위해 웹 서버 시스템을 구축하였다. 또한 기존의 PMSM 시스템에 대해 분석한 후 이를 기반으로 PMSM과 웹 서버 시스템을 연결시킬 뿐만 아니라 웹 브라우저를 통해 PMSM을 제어하고 감시할 수 있는 통합 관리 프로그램을 구현하였다.

2. 본 론

2.1 원격 제어시스템 구성

2.1.1 PMSM의 센서리스 제어 알고리즘

그림 1은 PMSM의 센서리스 제어 알고리즘을 나타낸 것이다. 그림의 알고리즘은 상전류를 검출하여 이를 회전자 좌표계로 변환한 후, 속도 및 위치 추정 알고리즘에 적용하여 회전자의 속도를 추정하고 이를 적분하여 회전자의 위치를 추정한다[3]. 추정된 속도와 지령 속도의 오차 분을 비례 적분하여 토크 분 전류인 i_{sq}^* 의 지령치 i_{sq}^* 을 산출하며 i_{sd}^* 와 i_{sq}^* 를 비례적분한 후, 각각의 간섭을 제거하기 위해 비 간섭 전류제어기를 구성한다. 비 간섭 전류제어기의 출력은 지령전압 v_{sd}^* 와 v_{sq}^* 를 산출하고, 산출된 v_{sd}^* 와 v_{sq}^* 를 고정자 좌표계로 변환하여, SVM(Space Vector Modulation) 알고리즘[4]에 적용한다. SVM알고리즘에서는 V_{sd}^* , V_{sq}^* 와 DC-link 전압을 검출하여, 각 상의 Gate의 on 및 off신호를 산출하여 인버터를 구동한다.

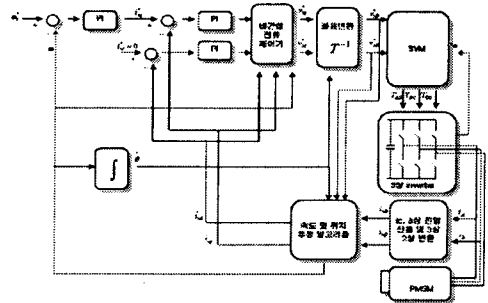


그림 1 PMSM의 센서리스 제어 알고리즘

2.1.2 클라이언트/서버 모델의 시스템 구성

대부분의 네트워 응용 어플리케이션은 클라이언트/서버 모델로 구현되는데 서비스를 제공하는 장비를 서버라고 하고 서비스를 받는 장비를 클라이언트라 한다. PMSM의 인터넷을 통한 원격 제어를 위해서는 TCP/IP를 이용한 서버/클라이언트 모델의 시스템을 구성하여야 한다[5].

본 연구에서는 서버에 DSP 보드를 사용한 제어 시스템이 RS-232 통신 라인으로 연결되어 있고, 클라이언트와 서버 사이는 TCP/IP를 사용한 인터넷을 통해 연결되어 있다. 따라서 서버에서는 프로토콜 변환기의 역할이 필요한데 여기서는 통신 프로토콜 변환 프로그램이 실행되어 클라이언트를 통해 입력된 Data를 RS-232방식으로

로 바꾸어 직렬 통신으로 DSP 보드를 사용한 제어 시스템에 전송한다.

그림 2는 클라이언트/서버 모델의 시스템 구성도를 나타내었다. PMSM의 원격 제어를 위해 클라이언트는 인터넷을 사용해 기동, 정지 및 가변속에 대한 지령 Data를 서버로 보내고, 서버는 받은 Data를 직렬 통신을 통해 DSP 보드를 사용한 제어시스템으로 보내 기동, 정지 및 가변속 제어를 한다. 또한 특정 샘플링 시간마다 그림 1의 센서리스 제어 알고리즘의 속도(ω)와 전류(i_a), DC-Link 전압(V_{dc})에 대한 Data를 위와 같은 방식으로 서버를 통해 클라이언트로 전달하여 실시간으로 특정 Data에 대한 모니터링이 가능하도록 구성하였다.

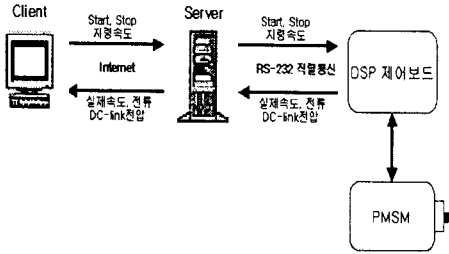


그림 2 클라이언트/서버 모델의 시스템 구성도

2.2 인터넷 웹 기반의 시스템 구현

2.2.1 관리 프로그램 구현

관리 프로그램은 시스템의 기동, 정지 및 가변속에 대한 제어변수 입력과 속도 및 전류, 전압에 대한 Data를 모니터링 및 저장할 수 있게 짜여진 프로그램이다. 이 프로그램은 인터넷을 위해 클라이언트/서버 모델을 사용하며 Data Interface를 위해 윈도우즈에서 TCP/IP 응용 프로그램을 만들때 사용하는 윈속(Windows Socket)과 직렬 포트를 통한 데이터 전송과 수신을 가능하게 하여 응용 프로그램에 직렬 통신 기능을 제공하는 MSComm API를 사용하였다. 그림 3은 윈속을 사용한 클라이언트/서버 프로그램의 작동 방식을 나타내었다.

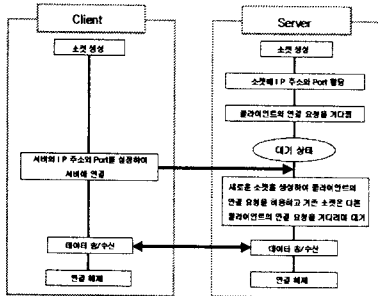


그림 3 클라이언트/서버 프로그램의 작동 방식

2.2.2 월드 와이드 웹 기반을 위한 웹 서버 구현

인터넷 웹 기반의 원격제어시스템을 위해서는 웹 서버 구현이 필요하다. 클라이언트/서버 모델의 일반적인 제어시스템에서 서버의 기능은 클라이언트와의 인터페이스를 통해 데이터를 전달하고 시스템을 관리하며 보통의 산업현장의 설비와 마찬가지로 제어시스템이 TCP/IP를 지원하지 않기 때문에 클라이언트와 서버 사이의 TCP/IP 통신과 서버와 제어기 사이의 RS-232 통신에서

상호 통신을 연결하는 프로토콜 변환기의 역할을 한다. 웹 서버는 여기에 추가로 사용자 인증과 별도의 프로그램 설치 없이 웹 브라우저를 통해 PMSM을 제어하는 관리 프로그램에 연결, 일반 홈페이지를 보듯이 PMSM을 제어할 수 있게 한다.

본 연구에서는 웹을 통한 시스템 제어를 위해 Active X 컨트롤을 사용하여 웹 서버를 구성하였으며 웹 서버 접속 시 사용자 인증을 거치도록 하여 사용자 제한이 가능하게 하였고 동시에 어떤 사용자가 접속해 있는지, 언제 시스템을 사용했는지에 대한 Data를 확인할 수 있도록 구성하여 관리자 측면에서 사용자 관리가 매우 용이하게 하였다. 그림 4는 여기에서 사용되는 알고리즘을 나타내었다. 이 그림의 알고리즘은 클라이언트가 접속 시 관리자가 생성한 User Database를 검사함으로써 PMSM의 제어권한 여부를 확인하고 사용자 인증이 완료되면 프로그램 상에서 자동으로 시스템 사용 시간과 사용자 정보가 기록된 후 PMSM 관리 프로그램이 실행된다.

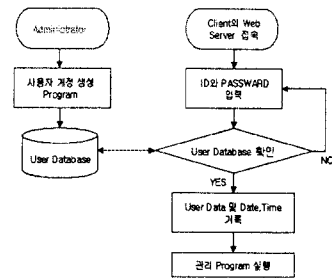


그림 4 사용자 인증 알고리즘

2.3 시스템 실험 및 고찰

2.3.1 관리 프로그램 실험

사용자는 인터넷이 연결된 컴퓨터를 통해 웹 서버에 접속한다. 접속한 후 웹 브라우저 상에서 ID 및 패스워드 입력을 통해 사용자 인증을 완료하면 클라이언트 모드로 관리 프로그램을 실행한다. 따라서 인터넷이 연결된 어디서든 사용자 인증 과정을 통해 기기에 접속, PMSM을 제어하고 상태를 점검하며 모니터링 할 수 있다. 프로그램 아래의 상태 창은 클라이언트와 서버의 IP 주소 및 소켓 연결에 대한 여러 정보를 보여주는데 "접속 완료"라는 메시지가 뜨면 클라이언트와 서버가 접속이 완료된 상태이므로 프로그램의 Control 메뉴를 이용하여 PMSM의 기동, 정지 및 가변속 제어를 할 수 있다. 또한 클라이언트와 서버가 접속된 상태에서 PMSM을 제어하고 모니터링 하기 위해서는 관리 프로그램의 Baud rate 설정 창을 통해 마이크로컨트롤러의 bps(bit per second)와 같은 속도로 동기시켜야 하는데 클라이언트로부터 설정된 Baud rate의 정보는 서버를 통해 마이크로컨트롤러로 전송되어 자동으로 동기를 시키도록 구성되었다. 아래 그림들은 웹 서버 접속 및 관리 프로그램 실행 화면을 나타내었다. 그림 5는 클라이언트에서 초기 Start 명령을 내릴 경우의 동작화면으로 클라이언트의 Operating Ramp를 통해 기기의 동작상태를 확인하며 시스템동작 중 Data 창을 통해 속도, 전류, 전압에 대한 Data를 실시간으로 모니터링 하고, Save 버튼을 통해 원하는 시간에 PMSM의 상태정보를 기록할 수 있다. PMSM의 Start, Stop, 가변속은 프로그램의 툴바(Tool Bar)나 Control 메뉴 창의 버튼을 누름으로써 쉽게 명령할 수 있다. 그림 6은 클라이언트의 Control 메뉴 창의 버튼을 이용하여 PMSM에 다양한 가변속 및 Start, Stop 명령을 내릴 경우의 동작 화면으로 아래의 텍스트 창은 제어명령에 대한 상태정보를 표시하고 Stop 명령

시는 각 변수(속도, 전류, 전압)의 최종 값을 반환한 뒤 시스템을 정지시킨다.

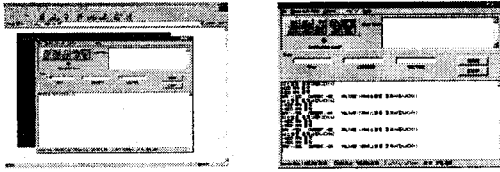


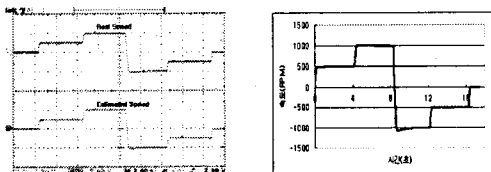
그림 5 동작 화면(초기 시작) 그림 6 동작 화면(기동,정지,가변속 제어)

2.3.2 인터넷 웹 기반의 PMSM 원격 제어 실험

구현한 시스템에 위의 관리 프로그램을 적용하여 PMSM 원격 제어 실험을 하였다. 실험에 사용한 PMSM의 사양은 표 1과 같으며 관리 프로그램의 Baud rate는 57,600 baud rate를 사용하였다. 실험은 구현한 시스템에서 관리 프로그램을 실행하고 클라이언트의 제어 명령에 따라 PMSM의 기동, 정지 및 가변속 제어가 되는지 PMSM의 동작상태를 D/A 컨버터의 출력 파형을 통해 확인하고 실제 D/A 컨버터의 출력 파형과 관리 프로그램의 Data 창을 통해 기록된 Data를 비교해 보았다. 그림 7은 클라이언트가 기동, 정지 및 다양한 가변속 제어 명령을 내릴 경우, 이에 따른 PMSM 동작 동안의 D/A 컨버터 출력 파형과 관리 프로그램을 통해 서버에 기록된 Data를 나타내었다. 그림 7의 (a)는 원격지에서 웹 서버에 접속한 클라이언트가 500, 1000, -1000, -500rpm 순서로 제어 명령을 내릴 경우의 센서리스 알고리즘에 따른 PMSM의 실제속도와 추정속도를 나타내었으며, 그림 7의 (b)는 관리 프로그램을 통해 서버에 기록된 속도(ω)의 Data를 나타내었다. 그림 8은 무 부하 상태에서 1000[rpm]으로 운전 중 정상상태에서 부하토크를 3.5[Nm]로 스텝으로 인가할 경우의 응답 파형을 나타내었다. 인터넷 웹 브라우저를 이용한 원격 제어로 PMSM의 기동, 정지 및 가변속 제어에 대해 실험한 결과에서 구현된 시스템을 통해 제어 명령을 보내고 Data를 받는데 통신 에러는 발생하지 않았고, 그림 7과 8에서 보는 바와 같이 클라이언트의 제어 명령에 따른 통신 지연이 거의 없이 명령을 수행하고, PMSM의 실제 출력 파형과 서버에 기록된 Data를 비교함으로써 실시간으로 PMSM의 기동, 정지 및 가변속 제어와 모니터링이 가능함을 확인할 수 있었다.

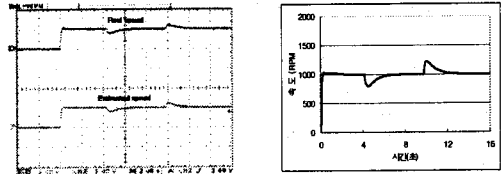
표 1. 영구자석 전동기의 규격

정격용량	1.8[kw]	고정자 저항	0.22[Ω]
정격토크	5.84[N·m]	고정자 인덕턴스	0.88[mH]
정격속도	3000[rpm]	역기전력상수	0.0522[V/r/min]
극수	8극	관성 계수	18.6×10 ⁻⁴ [Kg·m ²]



(a) 500, 1000, -1000, -500rpm 가변속 제어 시 실제속도와 추정속도 (D/A출력) (b) 500, 1000, -1000, -500rpm 가변속 제어 시 저장된 제어 시 저장된 속도 Data

그림 7 가변속 제어 시 D/A 컨버터 속도 출력과 저장된 속도 Data



(a) 1000rpm 운전 시 실제속도와 추정속도 (D/A출력) (b) 1000rpm 운전 시 저장된 제어 시 저장된 속도 Data

그림 8 스텝 부하변화에 대한 D/A 컨버터 속도 출력과 저장된 속도 Data

3. 결 론

본 연구에서는 가정용 기기와 산업현장에서 많이 쓰이고 있는 PMSM에 센서리스 알고리즘을 적용하여 원격지에서 웹을 통해 기동, 정지 및 가변속에 대한 원격 제어가 가능하도록 하며 이때, PMSM에 대한 Data를 모니터링하고 기록하게 함으로써 실시간으로 기기의 상태를 파악하고 거리에 상관없이 Data의 수집 및 처리가 가능한 시스템을 구현하고자 하였다. 따라서 위와 같은 PMSM의 원격제어를 위해 TCP/IP를 이용한 서버 및 클라이언트 프로그램을 만들고 PMSM의 Data와 상태를 사용자가 확인할 수 있는 웹 인터페이스를 구현하였다. 또한 인터넷을 이용 시 보안상의 문제 해결을 위해 사용자 인증 프로그램을 통해 관리자가 서버에서 ID 변경 및 사용자 관리를 할 수 있게 구성하였다.

여기에서 제안된 시스템이 인터넷을 통한 기기의 원격 관리 및 동작상태 확인, 사용자가 쉽게 사용할 수 있는 개발환경, 관리기기의 Data 저장 및 관리 활용 측면에서 적용된다면 기업의 관리비용절감 및 업무효율증대, 생산성 향상에 크게 기여 할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2001년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음.(KRF-2001-041-E00146)

[참 고 문 헌]

- [1] Takafumi Matsumaru, Syunichi Kawabata, Tetsuo otoku, Nobuto Matsuira, "Task-based Data Exchange for Remote Operation System through a communication Network", IEEE Proc. International Conf.Robot & Autom, Vol. 1, pp. 557-564, 1999
- [2] R. Wu and G. R. Slemon, "A Permanent Magnet Motor Drive without a Shaft Sensor," IEEE Tran. on Ind. Appl, Vol. 27, No. 5, pp.1005-1011, 1991.
- [3] Yoon-Seok Han, Jung-Soo Choi, Young-Seok Kim, "Sensorless PMSM drive with a sliding mode control based adaptive speed and stator resistance estimator", Magnetics, IEEE Transactions on, Vol.36, pp. 3588 -3591, Sept 2000
- [4] R. Zhang, D. Boroyevich, V.H. Prasad, H.- C. Mao, F.C. Lee, S. Dubovsky, "A three-phase inverter with a neutral leg with space vector modulation", APEC '97 Conference Proceedings 1997. Twelfth Annual, Vol. 2, pp. 857-863, 1997
- [5] Overstreet, J.W. Tzes, A, "Internet-based client/server virtual instrument designs for real-time remote-access control engineering laboratory", American Control Conference, Vol. 2, pp. 1472-1476.June 1999