

발전기 제어계통 안정화 장치용 하드웨어 개발

김춘경, 박민국, 김종문, 권순만
한국전기연구원

Development of Hardware for Power System Stabilizer(PSS)

C.K.Kim, M.K.Park, J.M.Kim, S.M.Kweon
K.E.R.I

Abstract- The basic function of a Power System Stabilizer(PSS) is to add damping to the generator rotor oscillations by controlling its excitation using auxiliary stabilizing signals. To provide damping, the stabilizer must produce a component of electrical torque in phase with the rotor speed deviations.

This paper introduces the hardware specifications and various functions of microprocessor(TMS320C32)-based digital PSS to provide the damping torque.

1. 서 론

전력수요의 증가로 전력계통이 대규모화되고 발전기의 속응여자시스템이 급속하게 확대, 적용됨에 따라, 계통의 안정도 마진이 감소되고 있다. 따라서 정태안정도의 향상과 계통의 제동능력 향상을 도모하기 위하여 대책기술의 하나인 고성능의 발전기 제어계통 안정화장치(Power System Stabilizer: PSS)를 개발하고 이를 최적으로 계통에 적용할 수 있는 기술개발이 요구되고 있다. PSS는 일반적으로 전력계통의 작은 변화로 나타나는 지속성 동요를 감쇄시키기 위하여 적용된다. PSS는 전력계통에서 나타나는 0.1~2.0Hz의 전력진동에 대하여 안정화 보조신호를 발생시켜 발전기 여자시스템의 자동전압조정장치(AVR)에 부가하여 이를 효과적으로 억제하도록 함으로써 전력계통의 정태안정도(Small Signal Stability)를 향상시키는 경제적인 수단이 되고 있다. 이미 미국을 포함한 여러 선진국에서는 80년대 중반 이후 마이크로프로세서를 이용한 디지털 PSS(REIVAX:PWX-600, Brazil)를 개발하여 실제계통에서 운용중이며 국내 발전소에도 외제 PSS(GE)를 수입하여 가동하고 있다.

PSS의 구현시 입력신호로 사용될 수 있는 신호들 중에는 속도, 가속력, 전력, 단자전압, 계자전류, 무효전력 등 다양한 변수들이 있다. 그러나, 이들 중 속도와 전력 변수만이 운전상황에 관계없이 기본 특성을 유지하므로 안정화에는 이들 신호를 많이 사용하고 있다.

본 논문에서도 이 두 변수를 사용하는 경우, 하드웨어 관점에서 현장 적용을 위해 고려해야 할 하드웨어 사양과 여러 가지 기능 및 시뮬레이터에서의 모의시험 결과들에 대하여 기술하고자 한다.

2. 본 론

2.1 PSS의 기능⁽¹⁾⁽³⁾

2.1.1 주기능

PSS는 AVR의 보조입력으로서 계자전류의 증감을 통하여 댐핑토크를 발생시켜 계통의 안정을 도모하는 제어장치이다. PSS는 보통 유효전력이나 속도를 입력으로 하는 제어기로서 그 출력은 AVR의 기준전압 혹은

출력에 더해진다. 전형적인 PSS 제어기의 블록선도는 아래의 그림 2.1과 같다.

현재 개발중인 PSS는 그림 2.2에서 보이는 것처럼 발전기 내부 PT/CT(3상 전압/전류)의 2차측 신호를 입력으로 사용하여 신호처리 및 연산을 거쳐 출력신호를 AVR로 보내도록 설계되어 있다.

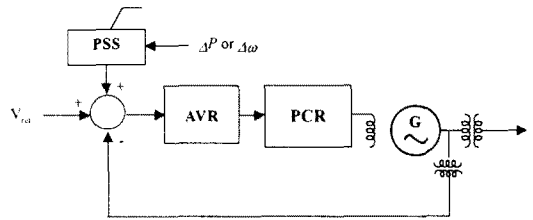


그림 2.1 전형적인 PSS의 구조

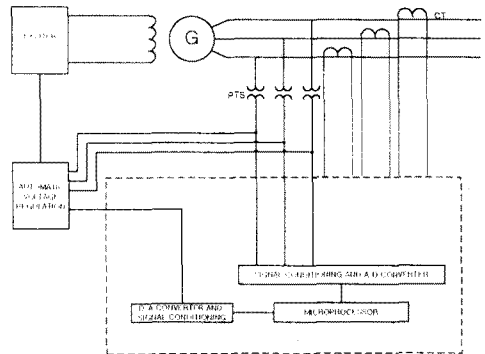


그림 2.2 PSS 시스템 인터페이스

PSS의 주요 기능은 아래와 같이 요약될 수 있다.

- 1) PT/CT를 통한 발전기의 단자 전압/전류의 검출
발전기에서 출력되는 고전압, 고전류를 측정하기 위한 PT, CT 인터페이스.
- 2) Signal Conditioning
Low Pass Filter, Anti-Aliasing Filter에 의한 입력 신호처리 및 스케일링, Nyquist Frequency를 초과 하는 고주파 성분은 샘플링시 Aliasing 효과를 가져와 실효치 연산시 저주파 맥동을 발생시킴으로 이를 제거.
- 3) 전압·전류의 Analog-to-Digital 변환
Signal conditioning 기능을 통하여 처리된 아날로그 신호를 마이크로 프로세서가 처리할 수 있는 디지털 값으로 변환해 주는 기능.

4) PSS 알고리즘 연산

각종 센서를 통해 들어온 신호들에서 PSS 알고리즘에 필요한 정보를 취득하여 계통 안정화를 위한 제어 알고리즘 연산을 한다.

5) PSS 제어 출력

알고리즘 연산부에서 계산된 PSS 출력을 AVR의 summing junction point에 전압으로 출력하기 위한 DAC(Digital-to-Analog Converter) 인터페이스.

6) zero-lock 기능

PSS의 초기화 과정이나 이상현상 발생시 PSS 출력이 AVR에 가해지지 않도록 PSS 내부에 장착된 출력 Relay는 Off상태로 된다. 이 때 AVR에는 zero 전압이 인가되도록 PSS 출력단자가 AVR GND단자와 common상태가 되도록 하는 기능.

2.1.2 부가기능

PSS의 부가 기능은 PSS 출력 Off(Deactivation) 조건 설정, 운전자 인터페이스 및 모니터링 시스템 구축 등에 관련된 내용이다. PSS 출력 Off 기능은 PSS의 동작에 의해 발전기의 Trip이 발생하지 않도록 하기 위하여 PSS의 운전조건을 설정하여 운전조건을 벗어나는 경우 PSS 출력을 자동으로 끊어 주게 하는 기능이며, 운전자 인터페이스 기능은 운전자가 PSS시스템을 편리하게 조작/운전 상황 현시 등을 할 수 있도록 환경을 제공한다. 또한, 모니터링 시스템은 PSS가 운전중일 때 실시간 계측 신호 현시와 event 발생시의 저장된 data를 off-line으로 볼 수 있도록 하는 기능을 한다.

2.2 기능 구현을 위한 하드웨어 설계/제작⁽²⁾

2.2.1 CPU board

제어보드에 사용된 CPU는 Texas Instrument사의 DSP TMS320C32이다. 메모리는 SRAM과 EPROM, EEPROM으로 구성된다. EPLD는 Processor와 device간의 selection을 위한 decoding 및 processor control 등을 수행한다.

2.2.2 A/D 및 D/A Converter part

A/D Converter는 Analog Multiplexer를 통하여 들어온 PSS 아날로그 입력신호들을 디지털로 변환 시켜 프로세서와 인터페이스 할 수 있도록 한다. 정밀한 신호 측정을 위해 16bit의 정밀도를 가지며 10 us 이하의 변환 시간을 가져야 한다.

D/A Converter는 프로세서의 PSS 출력 및 테스트 신호를 아날로그로 변환한다. 채널 수는 4개 이상, 변환 시간은 2 us 이하, 정밀도는 12bit로 정하였다.

2.2.3 DIO port

DIO의 기능은 운전실과의 인터페이스를 담당하는 것으로, 운전실에서의 PSS On/Off 절체와 동작여부를 알 수 있는 Lamp 점등을 위한 것이다.

2.2.4 Signal Conditioning part

Signal Conditioning 보드의 기능은 PT/CT로부터 입력된 신호들과 외부 analog 신호들을 A/D변환에 적합하도록 조절하는 것이다. 입력 신호의 노이즈 필터링을 위한 필터부와 입력 신호를 A/D 변환에 적합하도록 변환하는 신호레벨 변환부로 구성된다.

2.2.5 Protection

PSS의 오동작에 의한 시스템의 악화를 방지하기 위하여 보호기능과 신호절체 기능이 필요하다. Main Processor의 정상 동작여부와 RAM의 정상 동작여부, 각 보드들의 정상 삽입여부, 입출력 신호들의 입출력 레벨, 입출력 디바이스의 정상여부등을 판단하고 그에 상

응하는 조치를 취하며 필요시 PSS 시스템의 자동적인 절체가 가능하여야 한다.

2.2.6 운전자 인터페이스

로칼에 있는 운전자가 외부 장치의 도움 없이 PSS의 운전 상태를 감시하고 운전할 수 있도록 도와주는 장치이다.

운전자는 LCD를 통해 전압/전류등의 신호 및 PSS 출력과 PSS 계산된 내부 변수들을 문자를 통해 확인할 수 있으며 Keypad를 통해 각종 파라미터들을 변경할 수 있게 하였다.

2.2.7 모니터링 시스템

PSS Monitoring System은 Graphical User Interface(GUI)를 기반으로 Windows98 환경 하에서 LabWindows/CVI(National Instruments사)를 이용하여 구축되어진다. RS485 통신 방식으로 56kbps 이상의 속도로 운전하고 있다. 그림 2.3은 모니터링 시스템의 주화면을 나타낸 것이다.

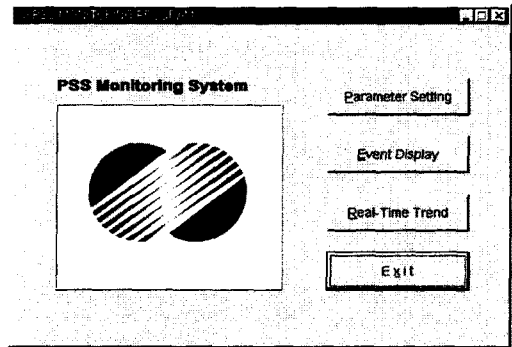


그림 2.3 모니터링 시스템의 Main 화면

2.3 응용 S/W 구성

2.3.1 Real Time OS(μ C/OSII)

PSS는 알고리즘 수행에 관련된 연산과 더불어 event logging과 사용자 인터페이스 등에 관련된 다양한 작업들을 수행한다. 이러한 작업들은 세부적으로 비동기 시리얼 통신, LCD 인터페이스, Key-pad 인터페이스, event 데이터 읽기/쓰기 등으로 구성된다. 이렇게 다양한 작업들의 수행에 있어, 우선 순위를 두지 않고 시스템을 운영하게 되면 중요한 데이터의 손실이나 PSS의 오동작 등 중대한 사고들이 발생할 수 있다. 예를 들면 PSS 제어기와 외부의 PC 사이의 통신이나 데이터의 읽기/쓰기 등의 시스템 운영에 중요한 작업을 수행하고 있는 중에 Key-pad 작업요청이나 비동기 통신 인터럽트가 발생하거나 Key-pad 인터페이스 중에 비동기 통신을 통한 사용자 요구가 발생하게 되면 여기 하지 못한 중요 데이터의 유실로 인한 시스템의 오동작을 발생시키고 이로 인해 시스템을 폭주시킬 수도 있다. 이러한 문제를 발생시키지 않도록 프로그래밍 한다는 것은 실제로 매우 어려운 일이다. 이러한 이유로 다중 작업에 대한 task간의 불필요한 상호간섭을 막고 안정된 PSS 시스템 소프트웨어를 개발하고자 PSS 시스템에 Real Time Kernel인 μ C/OSII를 이식한다.

μ C/OSII는 기본적인 Real Time OS의 환경을 제공한다. 시스템 개발자가 이를 사용하기 위해서는 개발 목적 시스템(target system)의 프로세서에 적합하도록 코드를 수정하여야 한다. 거의 대부분의 코드는 C언어로 작성되어 있기 때문에 개발자는 목적 시스템에 쉽게 코드를 이식시킬 수 있다. 다만 목적 시스템의 프로세서

의 CPU architecture와 관련된 부분은 대부분 어셈블리 코드로 작성되어 있으므로 이를 목적 시스템의 프로세서에 적합하게 수정하여야 한다.

2.3.2 PSS 응용 S/W 개념도

PSS 제어기에서 다루어야 할 task는 크게 PSS 알고리즘, 화면 Display, 메뉴 제어, Keypad 입력, Serial 통신 입출력, Data logging 등이 있다. 각각의 프로그램들은 서로 다른 priority와 서로 다른 수행 주기를 갖고 수행된다. Priority의 차별을 두는 이유는 각 task들은 제어기 내의 CPU를 점유함으로써 각각 task를 수행하는데, 동시에 여러 개의 task가 발생하였을 때 시스템의 폭주를 방지하고 보다 중요한 task에게 CPU 점유의 우선권을 주기 위해서 사용된다. Priority의 선정은 각 task의 중요도에 의해 판별되는데, 중요도의 척도는 서로 다른 task가 동시에 수행될 때의 수행의 우선 순위에 의해 결정된다.

다음으로 수행주기의 결정은 제한된 CPU 수행 용량을 적절하게 사용하여 보다 많은 일을 효과적으로 처리할 수 있도록 하는데 있다. 예를 들면, PSS 알고리즘은 미리 정의된 제어주기마다 수행되어야 하므로 그 수행 주기는 이미 결정되어 있다. 그 밖의 Keypad 입력이나 화면 Display 등의 운전자 인터페이스 관련 task도 물론 수 kHz나 수백 Hz로 수행되면 좋겠지만 인간이 반응하고 감지하는데 있어서 적절한 수행 주기는 수십 Hz면 충분하다. 그림 2.4는 여러 task들 사이의 interaction을 나타낸 것이다.

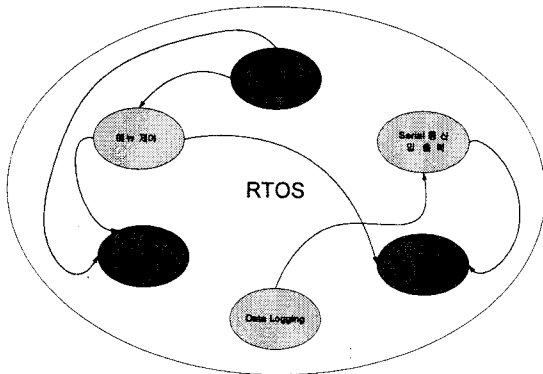


그림 2.4 PSS Task간의 상호작용

2.4 RTDS를 이용한 PSS 시험 결과

Reivax의 PWX-600과 개발품 PSS의 성능 테스트를 위한 몇 가지 비교 실험을 하였다. 모의 시험은 RTDS와 연결된 3상 Power Amp를 이용하여 약 0.1초간의 3상 지락사고를 발생시켜 개발품 PSS와 Reivax PSS의 제어성능을 비교하였다.

그림 2.5는 3상 지락사고시 Reivax PSS와 개발품 PSS가 투입되었을 때 PSS 출력 신호를 비교한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 두 PSS의 출력 신호가 거의 일치함을 볼 수 있다.

그림 2.6은 PSS의 투입시와 투입하지 않았을 때의 유효전력을 보여준다. 그림에서 PSS를 투입하지 않았을 때 Pe의 동요가 오랫동안 지속되는 것을 볼 수 있지만, PSS를 투입한 경우에는 사고 발생 시점인 2초에서부터 약 3초 후에는 Pe의 동요가 거의 사라지는 것을 볼 수 있다.

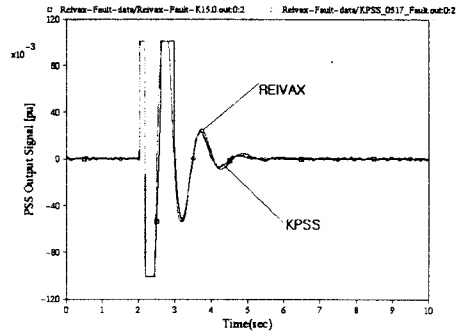


그림 2.5 PSS 출력 비교

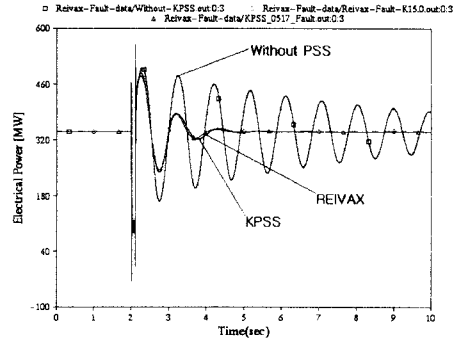


그림 2.6 발전기의 전기적 출력(Pe) 비교

3. 결 론

본 연구를 통해 PSS 시스템 개발에 있어서 하드웨어 측면에서 고려되어야 할 몇 가지 사항에 대하여 기본기능과 부가기능으로 나누어서 기술하였다. 기본기능은 계통안정화라는 PSS 기능 수행을 위해 필요한 기능이며 부가기능은 기본기능 외의 좀 더 안전하고, 운전자에게 편리한 기능을 제공하도록 하는 것을 말한다.

현장 설치를 목적으로 한 PSS 개발에 있어서 개발제품의 성능과 신뢰성 확보를 위하여 RTDS에서 사고 모의시험을 통한 성능확인 및 장시간 운전 시험 및 환경시험 등이 병행되었다. 또한, 향후 1여년의 현장운전을 통하여 신뢰성 및 안정성이 검증될 것이다.

(참 고 문 헌)

- [1] F.P.deMello, L.N. Hannett, D.W. Parkinson, J.S.Czuba, "A Power System Stabilizer Design Using Digital Control", IEEE Transaction, PAS, Vol. 101, No. 8, pp. 2860~2868.
- [2] S.J. Basler and H.K. Clark, "Long-Term Disturbance Monitoring for improved System Analysis", IEEE Computer Applications in Power, Vol. 2, No.2, 1989.
- [3] P.Kundur, "Power System Stability and control", McGraw-Hill, 1993