

발전소 시뮬레이터를위한 지능형계기의 시뮬레이션

김 동 욱

한전전력연구원 원자력연구실 (Tel: 865-5663; Fax: 865-5748; E-mail: dongwook@kepri.re.kr)

Simulation of Intelligent Type Instrument For Power Plant Simulator

Dong Wook Kim

KEPRI(Korea Electric Power Research Institute)

Abstract - 발전소 운전원 훈련용 시뮬레이터는 중앙제어실(MCR:Main Control Room) 운전원의 운전결과가 실시간 운영체제하에 발전소 프로세스 모델 및 컴퓨터 시스템과 통합되어 실제 발전소와 같은 반응을 운전원에게 제공하여야 한다. 따라서 시뮬레이터에는 프로세스의 동특성 이외에도 제어시스템의 모델링 및 운전원과 인터페이스되는 제어기들이 실제적으로 구성되어야 하며, 이들 제어기와 컴퓨터시스템간 다양한 입력간의 통신 및 동기(Synchronization)가 중요하다. 본 논문에서는 원자력 발전소 시뮬레이터에서 쓰이는 지능형 계기(Intelligent Type Instrument)로 분류된 기기를 살펴보고 시뮬레이션을 위해 개발 구현된 방법들을 기술하고자한다.

발전소 시뮬레이터에서 쓰이는 지능형 계기로 분류된 기기를 살펴보고 시뮬레이션을 위해 개발 구현된 방법과 시뮬레이션 환경들을 기술하고자한다.

1. 서 론

발전소 운전원 훈련용 시뮬레이터는 중앙제어실(MCR, Main Control Room) 패널(Panel)에서 행한 운전원의 운전결과를 수학적 모델을 통하여 구현된 발전소 계통 모델의 입력으로 받아들여 이로부터 계산된 실제 발전소와 동일한 반응을 다시 중앙조정실 패널(Panel)을 통하여 운전원에게 피드백 시킨다. 이 과정에서 운전원에게 실제 상황과 동일한 현장감을 제공하기 위해서는 시뮬레이터는 실시간 제어 시스템으로 구성되어야 한다. 원자력 발전소 제어를 위한 중앙제어실의 제어판넬은 발전소를 보호, 감시, 제어하기위한 3가지 목적을 위해 운전원과 인터페이스되는 지시계(Indicator), 기록계(Recorder), 스위치(Switch), 그리고 지능형 계기(Intelligent Type Instrument)로 분류된 기기들 약2100개의 계기가 있으며 이들중 보호 및 감시를 위한 계기들인 Indicator, Recorder, Switch등은 단순히 전압 또는 접점 입력, 출력으로 동작되나 제어용 계기들은 마이크로프로세서가 장착되어 자체 연산 수행능력이 있어 이른바 지능형 계기(Intelligent Type Instrument)로 분류되어 이를 스티뮬레이션(Stimulation)하게 되면 모의제어판에서 필요한 다양한 기능중 Backtrack, Replay, IC Reset 등의 일부 기능에 제약을 받게 된다. 따라서 시뮬레이터에서 필요한 기능을 구현하기 위하여 별도의 펌웨어를 개발하여, 되도록 단순 기능에 충실하도록 변형시켜야 했다. 본 논문에서는 원자력

2. 발전소 시뮬레이터의 지능형 계기 개념

원자력발전소 중앙제어실 패널에 설치된 기기는 아날로그 기기가 대부분이나 디지털 계통 설계 기술의 발달로 디지털 제어기의 적용이 급격히 증대되고있는 추세이다. 국산화 개발된 시뮬레이터의 기준 발전소인 영광원전3,4호기는 국내 경수로형원전에 디지털 시스템이 도입된 선구자적인 발전소이며 고리원전 2호기는 최근 발전소 Upgrade로 새로운 디지털 제어기로 교체하였다 시뮬레이터에서 지능형 계기(Intelligent Type Instrument)로 분류되는 것은 계기 자체에 마이크로프로세서가 장착되어있어 시뮬레이터의 HOST 컴퓨터에서 직접제어가 불가능한 계기들로서 시뮬레이터용으로 개조한 계기들을 말하며 표1은 국산화 개발된 원자력발전소 운전원 훈련용 시뮬레이터에 설치된 지능형 계기를 보여준다.

표 1 발전소 시뮬레이터의 지능형계기 종류

종 류	기능
SYNCHROSCOPE DRIVER	기준전원과 발전소 전원의 주파수와 위상비교
PROCESS CONTROLLER (FOXBORO SPEC-200 Micro)	발전소 프로세스제어
GOVERNOR SYSTEM PANEL DRIVER	터빈속도 감시 및 제어
AUDIO COUNT RATE CONTROLLER	핵반응시 중성자중감 감시
DIGITAL ROD POSITION INDICATION SYSTEM	제어봉위치 감시
SAFETY RELATED DISPLAY	방사선준위 감시 및 제어

3. 발전소 시뮬레이터의 시뮬레이션 환경

현재 국내에서 개발 운영중인 시뮬레이터에서 사용된 컴퓨터 시스템은 유닉스(UNIX) 시스템이며 원칙적으로는 유닉스 시스템의 성격상 실시간 제어

가 불가능하나 시스템 성능 향상과 더불어 모의제어반을 위하여 특별히 고안된 환경(US3, UNIX-based Simulation Support System)하에 다량의 수학적 연산과 입출력을 병행하여 처리되면서도 실시간 제어(Quasi-Realtime)가 가능하였다.

3. Foxboro SPEC-200 Micro 제어시스템

3.1 개요

영광 원전 3.4호기 및 고리 원전 2호기 시뮬레이터에 사용된 FOXBORO 제어시스템은 분산제어가 가능한 시스템으로써 원자로 제어(RRS, Reactor Regulating System), 주증기 제어(SBCS, Steam Bypass Control System), 주급수 제어(Feedwater Control System), BOP (Balance of Plant) 제어 등을 각기 분산 수행함과 동시에 각 제어 시스템간에 신호 및 정보를 교환함으로써 전체적으로 통합되어 대부분의 출력운전 조건에서 발전소 자동운전이 가능하도록 설계되어 있다.

3.2 시뮬레이터용 FOXBORO SPEC-200 Micro 제어 시스템 구현

SPEC-200 유니트는 마이크로 프로세스가 탑재된 제어 시스템으로서 프로세스 또는 제어 변수를 표시할 수 있고, 조작키를 사용하여 각 변수값을 판독 또는 설정할 수 있고, 제어 프로세서(Control Processor)와 고속 RS485/422 방식으로 통신할 수 있는 디지털 제어 시스템이다. SPEC-200M 유니트의 동작은 펄드 버스라고 부르는 네트워크를 사용하는 엔코딩된 비트 스트림 형태로 시뮬레이터 컴퓨터와 정보를 통신함으로써 이루어진다.

3.2.1 입출력 인터페이스

SPEC-200 유니트는 8개의 디지털 입력과 출력, 3개의 아날로그 입력과 출력을 가진 장치이다. 아날로그 입력과 출력은 각각 12 BIT의 정밀도를 갖는 ADC(Analog To Digital)와 DAC(Digital To Analog)를 사용하므로 4096개의 분해능을 가지며, 디지털 입력과 출력은 광소자를 이용하여 전기적으로 분리되어 있고, TTL레벨의 고속 스위칭 동작이 가능하다.

3.2.2 CDS(Continous Display Station)

CDS는 SPEC-200 유니트 내부 정보를 조작자에게 표시하는 기능을 갖는다. 아날로그 정보를 표시하는 바(BAR) 그래프는 50개의 BARS를 가지며, 디지털 정보는 0.1%까지의 정보를 표시할 수 있다. 아날로그 값을 설정하는 UP KEY와 DOWN KEY를 누르는 시간에 따라 증감의 폭이 다르다. 즉, 1초 이하에서는 2%, 2.4초 이하에서는 4.8%, 4.4초 이하에서는 20.8%, 7.4초 이하

에서는 80.8%, 8초이면 100%까지 도달한다. 화정보의 갱신 시간은 디지털과 아날로그 표시를 600mS, 모드 표시 및 알람은 200ms이다.

3.2.2 기능코드

SPEC-200 유니트는 호스트 컴퓨터로부터 전송되는 기능코드 명령으로 동작한다. 이 명령은 SPEC-200 유니트의 디지털 입력 포트를 통하여 입력되며, 디스플레이를 드라이버하고 SPEC-200 유니트의 설정 정보를 제어한다. 시뮬레이터 컴퓨터와 디지털 출력 포트를 이용하여 명령이 전송되면, SPEC-200 유니트는 그 명령을 수신하고, 수신된 명령에 따라 디스플레이(VFD)의 화면이 설정된다. 시뮬레이터 컴퓨터와 SPEC-200 유니트의 통신은 정보의 손실을 방지하기 위하여 핸드셰이킹 방식으로 이루어진다. 이와같은 동작은 조작자가 키를 누르거나 또는 시뮬레이터 컴퓨터에 의해서 표시화면(SCENE)이 바뀔때는 항상 이루어진다. 기능코드는 시뮬레이션이 용이하도록 하기 위하여 3가지로 분류한다.

1. 기본적인 화면 정의(BASIC FACE PLATE DEFINITION)로 조작자가 정의 가능한 코드이며, SPEC-200 유니트의 화면구성 요소들의 속성을 정의할 수 있다.

2. 화면 수정코드로 조작자가 수정하는것이 불가능한 코드이며, 조작자가 정의 가능한 화면의 속성을 수정하는데 사용하는 코드이다.

3. 독립적인 화면 각 부분의 제어코드로 조작자가 수정하는 것은 불가능한 코드이며 M/A램프, R/L램프 등과 같이 독립적인 화면구성 요소로서 원격으로 제어하기위하여 사용하는 코드이다.

3.2.3 SPEC-200M의 제어

SPEC-200 유니트의 제어는 몇가지 모드로 제어할 수 있다.

1. 시뮬레이터 컴퓨터가 어떤 조작자의 간섭없이 SPEC-200 유니트를 제어할 수 있도록 하는 제어 모드

2. 제어룸의 조작자가 SPEC-200 유니트의 키를 조작하여 호스트 컴퓨터에 새로운 정보를 요청하는 제어모드

3. 호스트 컴퓨터로부터 새로운 설정값 또는 아날로그 값을 요청하는 제어모드

4. 조작자가 하드웨어 에러상태 등의 정보를 요청하는 제어모드

4. Synchroscope Driver

4.1 개요

SYNCHROSCOPE는 기준 전원과 발전소 전원의 주파수와 위상을 비교하고, 그 차를 표시한다. 두가지 전원이 동기되면 METER의 지시기는 정지하고, 그렇지 않으면 시계방향 또는 시계반대방향으로 회전하는 장치이다. SYNCHROSCOPE DRIVER는 시뮬레이션 컴퓨터로부터 지시하는 제어값으로 싱크로스코프 메타(SYNCHROSCOPE

METER)를 구동할 수 있도록 한다. 이 장치는 주파수를 가변할 수 있는 구형파 발생기, 위상 비교기, 전력 증폭기, 승압 변압기로 구성된다.

대한 위상차를 나타낸 것이다.

4.2 시뮬레이터용 Synchroscope Driver

4.2.1 Programmable Frequency Divider

SYNCHROSCOPE DRIVER의 기준 발진 주파수는 4MHz이고, 이 클럭을 시뮬레이션 컴퓨터 제어 명령(14BIT)에 의해서 원하는 주파수를 발생시킨다. 그러나, 전력 증폭기단의 승압변압기 특성 때문에 하한주파수 값을 42.7Hz로 제한한다. 발생되는 주파수를 제어비트에 따라 정리하면 표 2와 같다.

표 2 제어비트에 대한 출력주파수

Bit	Bit-weight	Frequency(Hz)
0	2^{-1}	34.13551801
1	2^{-2}	17.06775901
2	2^{-3}	8.53387950
3	2^{-4}	4.26693975
4	2^{-5}	2.13344988
5	2^{-6}	1.06673494
6	2^{-7}	0.53336747
7	2^{-8}	0.26668374
8	2^{-9}	0.13334187
9	2^{-10}	0.06667094
10	2^{-11}	0.03333547
11	2^{-12}	0.01666774
12	2^{-13}	0.008333872
13	2^{-14}	0.00416694

4.2.2 위상 검출기

위상 검출기는 인입 전원의 위상과 기준 전원의 위상차를 검출하여 6 BIT 분해능으로 DI 포트를 이용하여 시뮬레이션 컴퓨터에 출력하는 기능이다. 기준전원 주파수의 58,590배의 클럭을 기준 클럭으로 사용하여 0.498° 분해능을 갖기 때문에 최대 위상차 출력은 63°이다. 표3는 출력비트에

표 3 출력비트에 대한 위상차

BIT	위 상 차
0	SIGN
1	1°
2	2°
3	4°
4	8°
5	16°
6	32°

5. Governor System Panel Driver

발전소 터빈의 속도를 제어하는 GOVERNOR SYSTEM의 LOCAL 전용 제품으로 원격으로 GOVERNOR SYSTEM의 상태를 표시하고, 제어 키를 입력하는 장치이다. 이러한 기능을 구현하기 위하여 20×2 CHARACTER TYPE LCD를 이용하여 시뮬레이터 컴퓨터의 정보를 표시하고, 각종 입력 KEY값을 KEY-PAD를 이용하여 정보를 입력할 수 있도록 구현하였다.

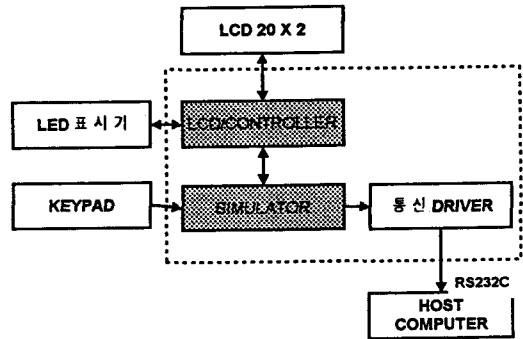


그림 1 Governor System Panel Driver 구성도

6. Audio Count Rate Controller

Audio Count Rate (ACR) 장치는 원자력발전소에서 핵반응시 중성자의 증가여부를 감시하는 장치로서, 실 플랜트에서 중성자 개수의 증감에 따라 출력음의 단속 주파수가 변한다. 출력 주파수 선택 스위치에 따라 출력음의 단속 주파수가 단계적으로 가변이 가능하며, 0~10(V)의 아날로그 제어전압으로 단속 주파수의 연속적인 가변이 가능하게 구현한 제어기이다..

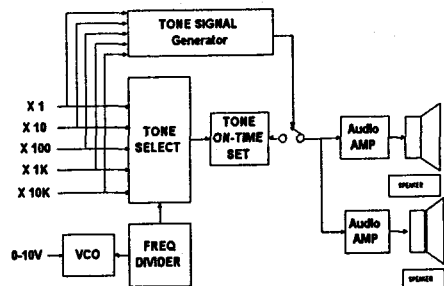


그림 2 Audio Count Rate Controller 구성도

7. Digital Rod Position Indication System

결론

Digital Rod Position Indication(DRPI) System은 원자력 발전소에서 각 ROD POSITION에 대해서 개별적인 출력 포트를 이용하여 표시기를 구동하여 ROD 상태를 표시하는 장치이다. 개별적인 ROD 상태를 표시하기 위해서는 포트의 개수가 많이 필요하기 때문에 고가인 점을 고려하여 시뮬레이터 장치에서는 사용 포트수를 줄이기 위하여 CONTROL PART에서도 6×39 디코더를, SHUTDOWN PART에서는 4×8 디코더를 사용하여 구현하였다.

발전소 시뮬레이터의 성능은 프로세스 및 제어시스템의 모델링과 운전원과 인터페이스되어있는 계기들의 구현이 매우 중요하다. 계기들은 단순 전압 입출력으로 Host에서 제어가 가능한 아날로그 계기와 자체에 마이크로프로세서가 장착되어있어 Host에서 제어가 불가능한 지능형 계기들로 구성되어 있으며 이들 지능형 계기들은 시뮬레이터에 맞게 개조 제작해야한다. 이렇게 구현 제작된 지능형계기의 성능은 발전소의 다양한 사고 상황을 동적 또는 MF(Malfunction)으로 Test하는 과정에서 전체적으로 검증되었으며 시뮬레이터에서 요구하는 성능 조건을 모두 만족시킬 수 있었다.

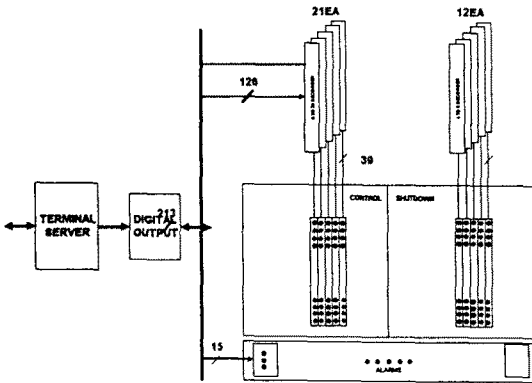


그림 3 DRPI 구성도

참고문헌

- [1] Jiunn-Guo Lin & George Huang, "Simulation of SPEC-200 Micro Controllers on the Connecticut Yankee Simulator", Simulator Technical Support Branch, Waterford, CT06385
- [2] Tony El-Chakieh, Yvon Rousseau, Claude Vincent, "Stimulation of FICHER & PORTER Digital Process Control Stations for WOLSONG Plant Simulator", CAE Electronics, '97 SCS Conference
- [3] 김동욱, "영광3,4호기 Foxboro 제어시스템 모델링 및 시뮬레이션", '97 한국자동제어학술회의

8 Safety Related Display

Safety Related Display Unit는 원격 데이터 수집 시스템으로 제어실 캐비넷 내부에 부착되며, LCU(Local Control Unit)로부터 수집된 데이터를 저장하거나, 데이터를 전송할 수 있도록 프로그래밍이 가능한 Unit 이다. TERMINAL SERVER와 RS-232 통신라인으로 접속되어 디스플레이 장치의 제어, 아날로그 출력신호, 디지털 출력신호, 프로세서 제어와 경보기능을 위한 릴레이 구동 등이 프로그래밍된다.

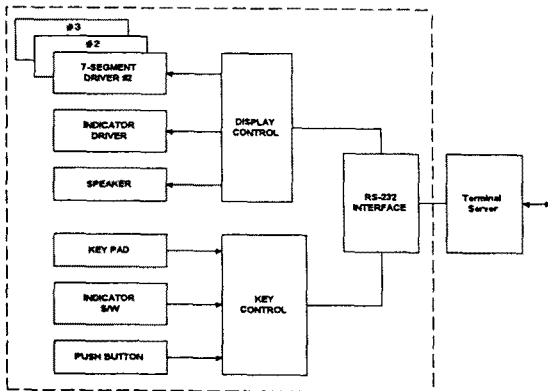


그림 4 SRD 구성도