

## DSP를 사용한 중소형 발전기 자동전압 조정기 개발

(The Development of Automatic Voltage Regulation Using DSP for the Small and Middle Generator)

임익현 · 류호선 · 이주현 · 이재도 · 송성일

(Ick Hun Lim · Ho Sun Ryu · Joo Hyun Lee · Jae Do Lee · Seong Il Song)

### Abstract

In recent large power plants, the excitation system has the static type, which is characterized by the fast response to increase the transient stability. The high capacity excitation systems developed in KEPRI is either a hot back-up, hybrid hot back-up (analog + digital) or triple modular redundant digital type, both well proven by actual tests and applied in commercial operation.

The large excitation systems have been developed taking into consideration the parameters of large scale power plants, resulting in high costs and subsequently are supplied at higher prices. When used at small sized power plants, the cost impact is relatively high. As a countermeasure to such a situation, KEPRI has recently developed a reliable, miniature digital excitation system, which is one-board type, convenient and adequate for low-price, small-sized (0.5MW~200MW) power plants.

### 1. 서 론

최근 대형 발전소용 발전기 여자시스템은 과도 안정도를 향상하기 위하여 속응성 있는 정지형 여자방식을 채용하고 있고, 국내에서 개발된 대형 여자시스템은 2중화 하이브리드형(아날로그+디지털)과 3중화 디지털 시스템이 실증 적용되어 상업 운전중에 있다. 이들 대형(수백MW 발전기) 여자시스템은 개발당시 대형 발전소를 대상으로 제작되어 상당히 고가로 판매되고 있으며, 소형 발전소에 적용시 많은 비용이 소요되고 있다. 이런 문제점을 해결하기 위하여 전력연구원에서는 이미 10년 이상 축적된 대형 여자시스템의 기술을 바탕으로 하여 신뢰성 있는, 저가형 소형 발전소(수십kW~수MW)에 적용하기 편리한 디지털 여자시스템을 100% 국내 순수 설계기술을 바탕으로 하여 개발하였다. 개발된 디지털 여자시스템은 크게 3개의 부분으로 나누어져 있다. 첫 번째 부분은 전면 판넬의 OIS(Operating Interface System)부분으로 LCD Keypad, Alarm등으로 구성되었다. 두 번째 부분은 주제어 부분으로 신호처리, 제어, 통신, 진단기능을 갖추고 있다. 세 번째 부분은 주 제어기 고장시 아날로그 백업 제어기가 동작하여 신뢰성 있는 운전이 가능하도록 설계하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1. 소형 디지털 여자시스템의 소프트웨어

전력연구원이 개발한 소형 디지털 여자시스템(이하 KDR-1000)은 실시간 운영체계를 기반으로 작성된 응용 소프트웨어를 사용하였다. 응용 소프트웨어는 모든 Unit에 대하여 표준화 되어 있으며 각 Unit의 특성에 따라 필요한 기능들에 대한 정수를 변경 가능 하도록 설계되었다. 정수들은 특정 Unit의 특성에 맞게 여자시스템을 현장 설치 전에 설정할 수 있을 뿐만 아니라 현장에서 최적 성능을 발휘할 수 있도록 튜닝 하는 과정에서 사용될 수 있다. 이런 정수들은 제어기 패널에 있는 Local Keypad, Remote OIS등으로 변경 설정이 가능하다.

#### 2.2. 소프트웨어 디자인

KDR-1000의 소프트웨어는 시스템 설계자들 사이에 보편적으로 사용되고 있는 C언어와 실시간 운영체계를 바탕으로 작성되어 있으며 제어기의 특성상 최상의 성능을 나타낼 수 있게 설계 되어 있다.

##### 2.2.1. 실시간 제어(RTOS) 프로그램인 $\mu$ C/OS (Micro-C Operating System)

RTOS는 주어진 작업들을 정의된 시간 내에 처리하며 다중작업의 수행을 지원해주는 운영 체제이다. 사용자는 작업들(Tasks)의 특성에 따라서 작업의 우선권을 주거나 작업간의 통신을 적절히 이용하여 정해진 시간 내에 모든 작업을 처리 할 수 있다. 개발된 디지털 여자시스템은 주제어 알고리즘 수행에 관련된 작업과 더

불어 Event Logging과 사용자 인터페이스 등에 관련된 다양한 작업들을 수행한다. 이러한 작업들은 세부적으로 비동기 시리얼 통신, LCD 인터페이스, Keypad 인터페이스, 이벤트 데이터 읽기/쓰기/저장 등으로 구성된다. 이렇게 다양한 작업들이 수행하기 위해서는 우선순위를 두지 않고 시스템을 운영하게 되면 중요한 데이터의 손실이나 기능의 오동작이 발생할 수 있다. 이러한 오동작을 발생하지 않도록 프로그래밍 하는 것은 실제로 어려운 일이다. 이러한 이유로 다중작업에 대한 task간의 불필요한 상호간섭을 막고 안정된 시스템을 운영하고자 Real Time Kernel인  $\mu$ C/OS를 사용하였다.

### 2.2.2. 디지털 신호처리

개발된 KDR-1000은 제어기의 부담을 덜어주기 위하여 마이크로프로세서 2개를 사용하여 1부분은 신호처리 프로세서로서 사용하였다. 별도로 사용한 신호처리용 프로세서에서는 Task가 신호처리 1개부분이기 때문에 RTOS를 사용하지 않고 Firmware가 작성되었다. 주요 기능은 아날로그 입력신호인 발전기 PT, CT, 계자전압, 전류신호를 받아서  $V_{trms}$ ,  $I_{trms}$ , Freq, P, Q 등을 주 제어 프로세서에 Per Unit로 보내는 역할을 하고 1,800Hz로 데이터를 샘플링 하여 연산하게 되어 있다.

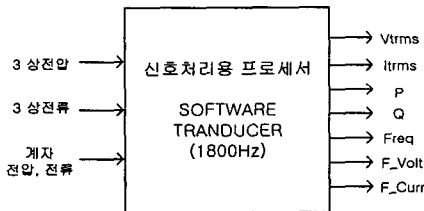


그림 1. 신호처리 프로세서

### 2.2.3. 주제어 프로그램

디지털 여자시스템의 응용 소프트웨어는 실시간 운영체계가 제공하는 Preemption Based Multitasking 기능을 이용 필요한 기능을 서로 연관이 있는 것끼리 묶어 몇 개의 독립 또는 서로 의존적인 Task를 분리하였으며, 각각은 주어진 중요도에 따라 CPU를 선점하여 역할을 수행하게 되어 있다. 즉, 어떤 Task는 주기적으로 수행되며 또 다른 Task는 환경이 변했을 때만 수행되게 된다. 분리된 각각의 Task는 고유한 역할을 분담하고 있으나 실시간 운영체계가 제공하는 Shared Memory, Intertask Communication 등의 기능을 이용하여 서로 정보를 수수함으로써 유기적인 관계를 형성하게 된다. 여자시스템을 수행하기 위한 기본적인 Task는 다음과 같다.

- (1) 초기화(Initialization) Task
- (2) 제어(Control) Task
- (3) 보호(Protection) Task
- (4) 통신(Communication) Task
- (5) 진단(Diagnosis) Task

이 5개의 Task는 각기 다른 주파수로 동작하고 있으며 각각의 기능을 독자적으로 수행하고 있다. [그림 2]는 디지털 여자시스템의 주제어 부분을 도시하였다. 제어부분은 크게 자동제어 부분과 수동제어 부분으로 나눌 수 있는데 자동제어부분의 AVR(Auto Voltage Regulator), UEL(Under Excitation Limit), PSS(Power System Stabilizer)등은 180Hz로 제어되고 있으며, 수동제어부분의 FCR(Field Current Regulator), OEL(Over Excitation Limit)등은 360Hz로 제어루프가 동작하고 있는데 이것은 제어신호가 위상제어 정류기(Phase Controlled Rectifier)의 6펄스 신호의 주기( $60\text{Hz} \times 6 = 360\text{Hz}$ )내에 동작 하도록 설계된 것이다. 또한 샘플링

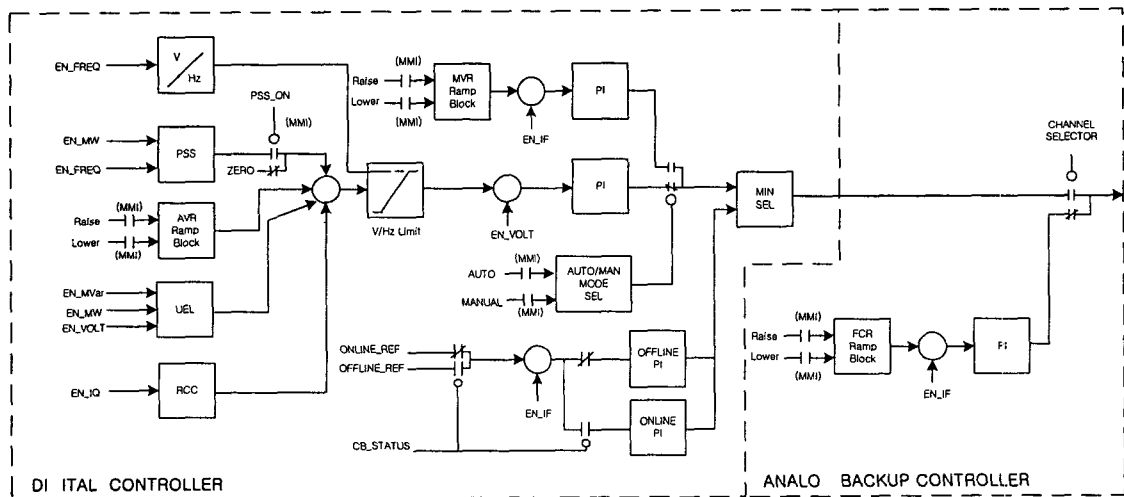


그림 2. Analog Backup Digital Excitation System

주파수는 측정하는 기본주파수의 10배 이상 되어야 하는 기본규칙을 충실히 이행하였다.

### 2.2.4. 아날로그 백업 제어기

아날로그 백업 제어기는 PWM 수/자동 추종 이중화 제어회로이다. 디지털 시스템은 정상운전시 수동절환이 가능하고, 고장이 발생했을 경우에도 자동절환이 된다. 또한 미세한 제어 신호의 변화에도 발전기 출력전압이 크게 변함으로 PWM 방식을 이용하여 아날로그 채널과 디지털 주제어기간의 출력신호 오차가 발생했을 경우 추종신호는 발전기에 영향을 미치지 않을 정도로 아날로그 제어기 신호를 일치시킴으로서 절체시에 신호의 흔들림이 없도록 하였다. 추종된 신호는 CPLD의 카운터에 의해서 발전기 제자전류 제어기 기준신호를 가감하게 된다. 아날로그 제어기는 PI 제어기를 사용하였고, 채널 절체 시간은 5msec 이하가 되도록 설계하였다.

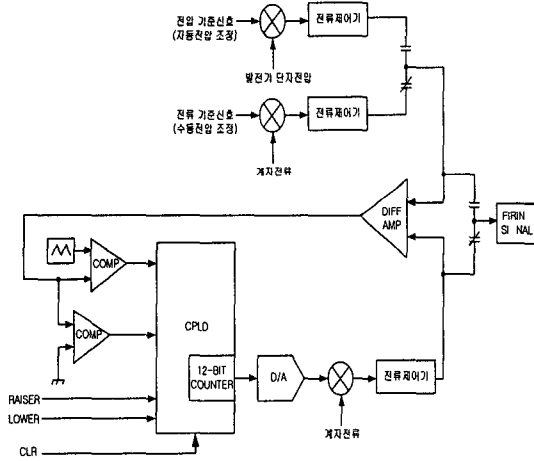


그림 3. 아날로그 백업 제어기

## 2.3. 소형 디지털 여자시스템의 하드웨어

KDR-1000은 설치 현장에서 자유스럽게 탁찰이 가능하도록 맞춤식 여자시스템으로 설계되어 있어 1부분은 SIM(Signal Interface Module), 2부분은 ETP(External Terminal Panel), 3부분은 MCB(Main Control Board), 4부분은 ABB(Analog Backup Board)로 구성되어 있다.

### 2.3.1 SIM(Signal Interface Module)

SIM는 현장에서 오는 발전기 PT (Potential Transformer), CT(Current Transformer), Field Volt, Field Current등의 신호를 디지털 회로의 입력신호에 맞게 Scaling 하는 부분이다. 한 예로 발전기 PT 2차측 전압은 100~120 [VAC] 신호이기 때문에 디지털 보드의 신호에 맞추기 위해 5[VAC]로 변환하는데 이 신호

값은 가변이 가능하도록 정밀급 신호변압기로 구성되었다. 특별히, Field Signal SIM 부분에서는 Power Supply Monitor 부분이 내장되어 있어 ETP의 Scan Power 전원감시가 가능하다.

표 1. SIM(Signal Interface Module) 사양

SIM(Signal Interface Module)	
Con PT, Mea PT	채널수 : 3상 입력전압 : 0~120VAC 절연전압 : 2000VAC
Main CT	채널수 : 3상 입력전류 : 0~5A
Field Signal	채널수 : 4 입력전압 : -10V~+10V 절연전압 : 2000VAC

### 2.3.2 ETP(External Terminal Panel)

ETP는 디지털 여자시스템의 모든 입출력 신호를 처리하는 부분으로 전기적인 Passive Circuit Board로서 현장의 배선을 쉽게 하기 위하여 설계 되었다. 즉, 이 Panel은 단지 현장에서 오는 입력신호를 MCB로 보내는 역할을 하거나, MCB에서 나오는 출력신호를 현장으로 연결하는 역할을 함으로서 현장과 연결된 배선단자를 그대로 둔 상태에서 MCB를 교체 가능하도록 하였다.

표 2. ETP(External Terminal Panel) 사양

ETP(External Terminal Panel)		
아날로그 입력	채널수	12
	입력전압	-10V~+10V
	절연전압	2000VAC
아날로그 출력	입력필터	2차 LPF
	채널수	8
	출력전류	0~20mA
디지털 입력	절연형식	Isolation Amp
	절연전압	2000VAC
	채널수	32
디지털 출력	입력전압	24VDC
	절연형식	Photo-Coupler
	절연전압	2000VAC
디지털 출력	채널수	16
	출력전압	24VDC
	절연형식	Photo-Coupler
	절연전압	2000VAC

### 2.3.3 MCB(Main Control Board)

#### (1) Input Power

보드의 입력과워는 125VDC 또는 110VAC의 공급이

가능하다. 이 파워는 이중화되어 보드의 5VDC, ±15VDC, 24VDC 전원으로 사용되며, Field Signal SIM 과 MCB 보드 내에 자체적으로 PS 감시 회로가 내장되어 있어 이상 발생시 여자시스템 정지신호가 발생되도록 되어있다.

**(2) Analog to Digital Converter Circuit**

모든 아날로그 입력신호는 12bit ADC로 6채널×2로 구성되어 있어 12개의 아날로그 입력신호를 동시 샘플링이 가능하도록 되어 있으며 샘플링 주기(1MHz까지 가능)는 디지털 시그널 프로세서에서 조정이 가능하다.

**(3) Digital Signal Conditioning Processor**

신호처리 CPU로는 TMS320C32가 사용되어 고속 연산이 가능하도록 되어 있고 이부분에서 ADC 부분의 제어를 담당하고 있다. 입력부에는 Passive Low Filter를 사용하여 고주파 부분이 필터링 된다.

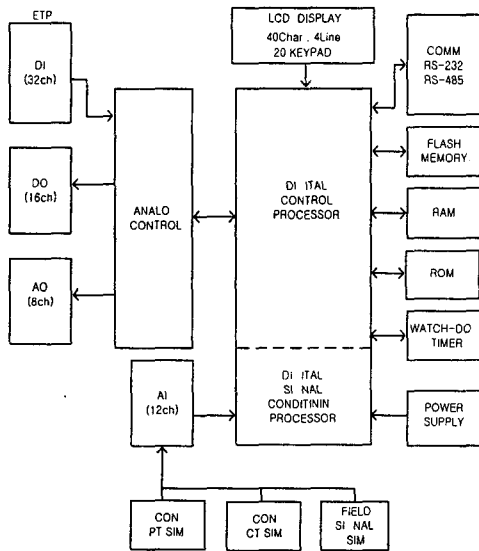


그림 4. KDR-1000 H/W 구성도

**(4) Digital Control Processor**

KDR-1000의 중요 제어부분으로서 RTOS가 Kernel로 사용되어 Task 별로 여자시스템의 제어, 진단, 데이터 로깅 그리고 통신등을 수행하고, 또한 Keypad에서 수정되는 튜닝 데이터 값의 처리도 담당하게 된다.

**(5) Operation Settings**

여자시스템의 정상동작에 영향을 주는 제어 튜닝 값은 비휘발성 메모리에 저장된다. 이 튜닝 값은 제어기 앞부분의 Keypad를 사용하여 변경이 가능한데 반드시 비밀번호를 입력 하여야 한다. 이 값들은 LCD 창을 보

면 알 수 있다.

**(6) Watch Dog Timer**

제어기의 심장부로서 펄스 신호가 주기적으로 설정시간 내에 감지되지 않을 경우에 여자시스템의 제어기 기능이 상실된 것으로 판단된다.

**(7) Digital to Analog Converter Circuit**

DSP로부터의 디지털 신호는 여자시스템을 제어하기 위하여 12bit DAC를 사용하여 아날로그 신호로 변환된다. 아날로그 신호는 노이즈 문제를 고려하여 4~20mA로 다시 변환되어 위상제어 정류기의 점호각 기준신호로 사용된다.

**2.3.4 ABB(Analog Backup Board)**

**(1) Follow Up Circuit**

아날로그 백업 제어기는 디지털 시그널 추종을 위하여 PWM 방식을 사용하였다. 추종된 신호는 CPLD의 카운터에 의해서 발전기 계자전류 제어기 기준신호를 가감하게 된다.

**(2) Channel Selection Circuit**

아날로그 백업 제어기에는 채널절환 회로가 있다. 이 회로는 디지털 제어기 이상동작이나 운용자가 임의로 절체 신호를 보냄으로서 아날로그로 제어기로 전환이 된다.

**(3) Analog PI Circuit**

OP AMP를 이용하여 PI제어기를 구성하였다. 운용자는 동기기의 제어특성에 맞게 PI 계인을 가변저항으로 조정할 수 있다.



그림 5. KDR-1000 전면

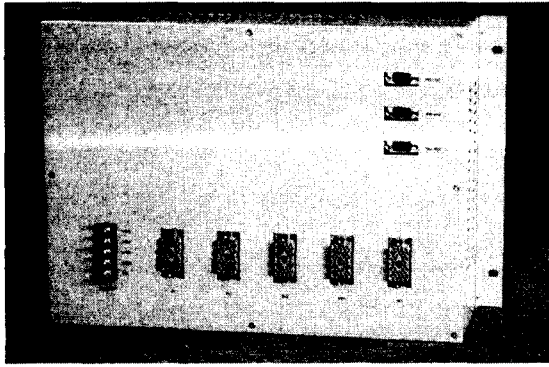


그림 6. KDR-1000 후면

형(정지형) 자동전압 조정 장치 연구 개발(최종보고서), 전력연구원, TR.95Y03.S1998.72,1998.10.

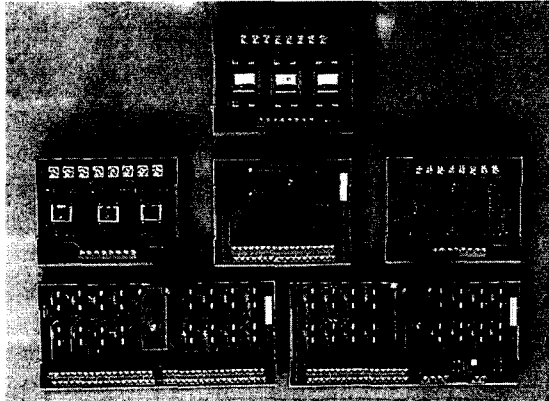


그림 7. SIM, ETP 부분

### 3. 결론

전력연구원에서는 10년에 걸쳐 축적된 대형 여자시스템 설계기술을 바탕으로 맞춤형 소용량 여자시스템을 개발하였다. 이 시스템은 저가판매를 위하여 개발되었으며 그 기능면에서는 디지털 주제어부의 후비보호를 위하여 전원이 분리된 아날로그 백업 제어기를 장착함으로써 신뢰성이 우수하여 대형 시스템에 필적할 만하다. 기능을 요약하면 다음과 같으며 앞으로 계속해서 기능을 향상하여 국산제품으로 실계통에 많이 적용되기 위하여 노력할 것이다.

#### 참 고 문 헌

- (1) P. Kunder, "Power System Stability and Control," McGraw-Hill Inc., pp318~374, 1994.
- (2) 한국전력공사 기술연구원 "발전소용 자동전압조정장치 국산개발(1)", 최종보고서, 1994.
- (3) P.M Anderson and A.A Fouad, "Power System Control and Stability," The Iowa State Univ. Press. U.S.A., 1997
- (4) 일본 전기학회 기술보고 제536호 "동기기 여자계의 사양 특성", 1995.2.
- (5) 류홍우, 임익현, 김찬기, 김수열, 류호선, "싸이리스터 직접 여자