제주화력 가스터빈 자동전압 조정기 설계 및 응용

류호선, 이주현
전력연구원

Design and Application of Gas Turbine Automatic Voltage Regulator for Jeju Gas Turbine Power Plant

Ho-Seon Ryu, Joo-Hyun Lee
Korea Electric Power Research Institute

ABSTRACT

가스터빈용 자동전압조정기는 발전기 출력 전압을 측정하여 발전기 단자 전압과 계자 전류를 제어하며, 발전기 여자시스템 보호/제한 기능을 수행한다. 본 논문에서는 전력연구원이 개발한 가스터빈 자동전압조정기의 시작품에 대한 소프트웨어와 하드웨어에 설계 및 제주화력 가스터빈에 현장 적용한 결과를 상세히 기술하였다.

1. 서 론

최근 대형 발전소용 발전기 자동전압 시스템은 과도 안정도를 향상하기 위하여 속응성 있는 정지형 여자방식을 채용하고 있고, 국내에서 개발된 대형 여자시스템은 2중화 하이브리드형(아날로그+디지탈)과 3중화 디지털 시스템이 실증 적용되어 상업 운전 중에 있다. 이들 대형(수백MW 발전기) 여자시스템은 개발 당시 대형 발전소를 대상으로 제작되어 상당히 고가로 판매되고 있으며, 소형 발전소 적용 시 많은 비용이 소요되고 있다. 이런 문제점을 해결하기 위하여 전력연구원에서는 이미 10년 이상 축적된 대형 여자시스템의 기술을 바탕으로 하여 신뢰성 있는, 저가형 소형 발전소(수십kW ~ 수백MW)에 적용하기 편리한 디지털 여자시스템을 100% 국내 순수 설계기술을 바탕으로 하여 개발하였다. 개발된 디지털 여자시스템은 크게 3개의 부분으로 나누었다. 첫 번째 부분은 전면 판넬의 OIS(Operating Interface System)부분으로 TOP(Touch Operating Panel)등으로 구성되었다. 두 번째 부분은 주제어 부분으로 신호처리, 제어, 통신, 진단기능을 갖추고 있다. 세 번째 부분은 주제어기 고장 시 아날로그 백업 제어기가 동작하여 신뢰성 있는 운전이 가능하도록 설계하였다. 본 논문에서는 저가로 개발된 우수한 성능을 지닌 자동전압 시스템 시작품의 S/W, H/W 설계 및 제주화력 3호기에 실증 적용한 성능시험 결과를 상세히 기술하였다.

2. 본 론

1.1 가스터빈 자동전압 시스템의 소프트웨어

전력연구원이 개발한 소형 디지털 여자시스템(이하 KDR-1200)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 설계 되었다. 정수들은 특정 Unit의 특성에 맞게 여자시스템을 현장 설치 전에 설정할 수 있을 뿐만 아니라 현장에서 최적 성능을 발휘할 수 있도록 튜닝 하는 과정에서도 사용될 수 있다. 이런 정수들은 TOP(Touch Operating Panel)에서 변경 설정이 가능하다. KDR-1200의 소프트웨어는 시스템 설계자들 사이에 보편적으로 사용되고 있는 C언어와 실시간 운영체계를 바탕으로 작성되어 있으며 제어기의 특성상 최상의 성능을 나타낼 수 있게 설계되어 있다.

1.1.1 디지털 신호처리

개발된 KDR-1200은 주제어 보드는 DSP320C33 마이크로 프로세서를 사용 하였다. 신호처리용 Task는 DFT 알고리즘으로 코딩 되었으며 상용주파수에 대하여 1800 Hz로 샘플링 하도록 설계 되었다. 제어기는 아날로그 입력신호인 발전기 PT, CT, 계자전압/전류신호를 받아서 Vtrms, Itrms, Freq, P, Q 등 주제어 블록에서 원활히 수행되기 위하여 Per Unit로 환산 된다.

1.1.2 주제어 프로그램

디지털 여자시스템의 응용 소프트웨어는 실시간 운영체계가 제공하는 Preemption Based Multitasking 기능을 이용하여 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 기능을 이용하여 서로 정보를 수수함으로서 유기적인 관계를 형성하게 된다. 주요 5개의 Task는 각기 다른 주파수로 동작하고 있으며 각각의 기능을 독자적으로 수행하고 있다. 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 있다. 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(60Hz × 6 = 360Hz)내에 동작 하도록 설계된 것이다.

1.1.3 TOP(Touch Operation Panel)

주제어기(KDR-1200)의 제어 정수 튜닝 및 각종 Alarm 신호 처리를 위하여 TOP(Touch Operation Panel)을 사용하였다. 그림 2의 사진에서 볼 수 있듯이 TOP는 다음과 같이 크게 5가지로 구성되어 있다.

1) 주제어 부분 : AVR, MAVR, AQR, APFR 제어 등
2) 위상제어 정류기 부분 : 1, 2 PCR 제어 신호 등
3) Alarm 처리부분 : Alarm, SOE, Real/Historical Trend 등
4) 제어 정수 튜닝 부분 : Password로 인식, 각종 제어정수 튜닝 및 실시간 제어신호 처리 확인 등

1.2 가스터빈 자동전압 시스템의 하드웨어

가스터빈 자동전압 시스템의 하드웨어는 주제어를 담당하는 KDR-1200과 TOP와 전력 변환부분을 담당하는 이중화 단상 반파 위상제어 정류기 및 차단기로 구성되어 있다.

1.2.1 아날로그 백업 이중화 제어기(KDR-1200)

개발된 제어기는 아날로그 백업 디지털 제어가 가능하도록 설계 되었다. 디지털 주제어기가 제어기능을 상실했을 경우 최종 신호를 추종하던 아날로그 백업 제어기가 발전기 계자전압을 조정할 수 있다. 또한 옵션 사항으로는 사용자의 선택에 따라서 디지털 이중화로 시스템을 구성할 수 있도록 범용으로 하드웨어를 구성하였다.

1.2.2 이중화 단상 반파 위상제어 정류기

아래 그림의 블록도와 같이 제어시스템의 신뢰성을 향상하기 위하여 N+1 방식의 위상제어 정류기를 사용하였다. 정상시에는 2개의 단상 반파 위상제어 정류기가 각각 절연된 입력전원을 받아서 병렬로 운전되다가 1개의 위상제어 정류기에서 Fault가 발생되면 DC 출력 및 싸이리스터 점호신호를 차단하여 나머지 1개로도 정상운전이 가능하도록 하였다. 각각의 위상제어 정류기는 자기 출력 전류를 주제어기로 피드백 하여 정류기간 전류 밸런스를 10% 이내로 맞추게 된다.

1.2.3 주차단 회로

제어의 편의성을 위하여 각각의 위상제어 정류기는 입력 주파수 420Hz 단상 반파 위상제어기를 사용하였는데 발전기 이상신호 발생시는 주계자를 차단하도록 되어 있다. 이때 최종 출력제어 신호는 0으로 감소되며 계자코일에 남아있는 에너지는 계자 방전저항으로 방전된다.

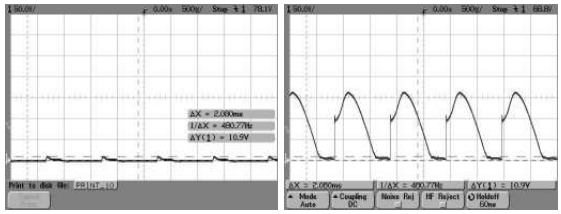

그림 1 0-100% 제어신호 인가시 PCR 1+2 출력 계자 전압
Fig. 1 PCR 1,2 Output Field Voltage
between 0 and 100% of Control Signal

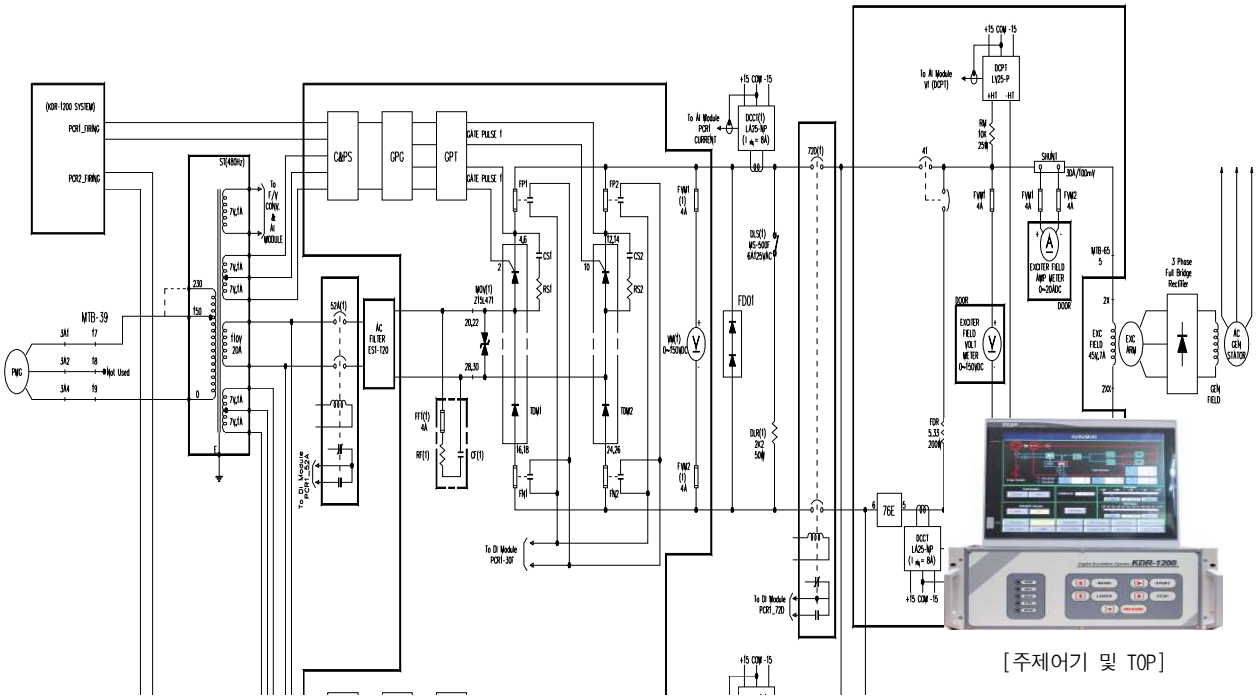

그림 2 가스터빈 자동전압 시스템 블록도(브러시레스 타입)
Fig. 2 Block Diagram of Gas Turbine Automatic Voltage Regulator system(Brushless Type)

1.3 가스터빈 자동전압 시스템 성능시험

개발된 연구 시작품은 제주화력 가스터빈 3호기에 실증 적용되었다. 실증 적용된 발전기 사양은 다음과 같다.

1) 제작사 : Brush 전기사(영국)
2) 형식 : 브러시레스 여자방식의 양단 축수지지 발전기
3) 출력 용량 및 단자전압 : 70MVA, 13,800V
4) 회전형 여자기 출력 : 300V, 500A
5) 회전형 여자기 정격 계자전압, 전류 : 45V, 7A

그림 3은 발전기 단자 전압 초기 Build-Up 파형이다. 개발된 제어기에 의하여 소프트 스타트 되므로 발전기 단자 전압은 Overshoot이 발생하지 않아 기계적인 스트레스가 적다. 그림 4는 여자시스템의 제어 기준 전압의 5% 변화에서의 Step Response 실험 파형이다. 여자시스템의 PI 값 튜닝을 통하여 1%정도의 Overshoot은 있었지만 수초내에 정상상태에 도달했다. 그림 5는 이중화된 PCR1, 2 중 1개가 고장이 발생하여 차단되었을 때의 파형을 나타내고 있다. 1개가 차단되어도 발전기 단자전압은 거의 변화가 없이 정사 제어되어 있음을 알 수 있다.

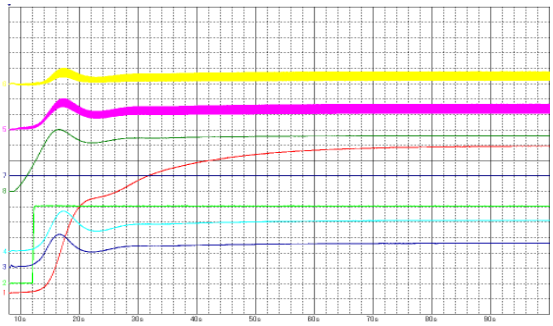

그림 3 발전기 단자 전압(13.8kV)
Fig. 3 Generator Terminal Voltage Build-up

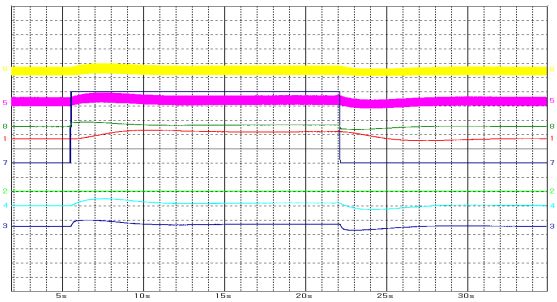

그림 4 발전기 전압 5% Step Response
Fig. 4 5% Step Response of Generator Voltage

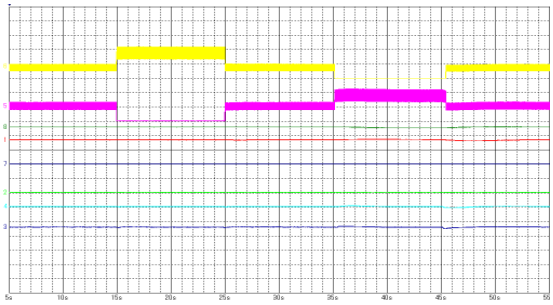

그림 5 이중화된 PCR1, PCR2 정류기 Trip 시험
Fig. 5 Dual PCR1, PCR2 Trip test

CH	명칭	CH	명칭
1	Vt(발전기전압)	5	PCR 1 If(컨버터 1 전류)
2	P(MW)	6	PCR 2 If(컨버터 2 전류)
3	Q(MVar)	7	Step (step reference)
4	PCR 1+2 If	8	Control Output

그림 6은 북제주 가스터빈 3호기에 실증 적용된 자동전압 시스템이다. 왼쪽이 전면으로 주제어기와 TOP가 판넬 앞에 장착되어 있어 운전원이 상태 감시 및 제어가 가능하도록 하였다. 오른쪽은 판넬 내부로 정류기, 차단기, 필터등으로 구성되어 있다.

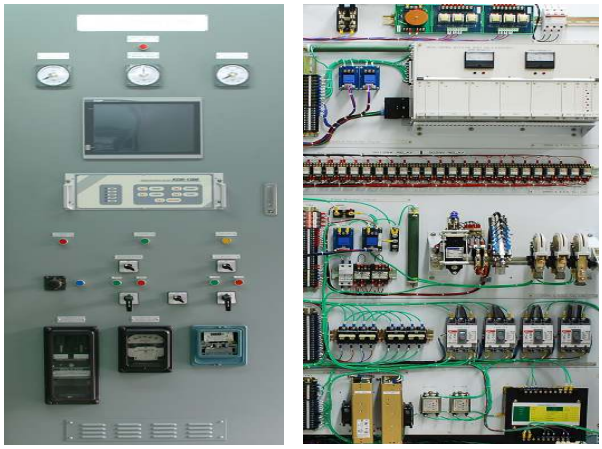

그림 6 제주화력 가스터빈 3호기 자동전압 시스템
Fig. 6 Automatic Voltage Regulator System of Jeju Gas Turbine Generator #3

3. 결 론

전력연구원에서는 10년에 걸쳐 축적된 대형 여자시스템 설계기술을 바탕으로 맞춤식 소용량 자동전압 시스템을 개발하였다. 개발된 시스템은 저가의 제품으로 신뢰성이 우수한 제품이다. 사용자의 옵션에 따라서 단일 또는 이중화로 적용 가능하도록 하였다. 현재 북제주 화력 3호기와 더불어 국내 12개 발전소에 확대 적용되어 상업 운전중에 있으며, 제어기의 성능을 계속 향상시켜 최고의 경쟁력을 갖춘 제품으로 개발할 예정이다.

이 논문은 중부발전(주)의 연구비 지원에 의하여 연구 되었음

참 고 문 헌

[1] P.M. Anderson and A.A. Fouad, "Power System Control and Stability", The Iowa State University Press, U.S.A.,1977.
[2] IEEE Guide for Identification, Testing and Evaluation of the Dynamic Performance of Excitation Control System. IEEE Standard 421.2-1990
[3] P. Kundur, "Power System Stability and Control", McGraw-Hill Inc., 1994.
[4] George K. Girgis, Hos D. Vu, "Verification of limiter Performance in Modern Excitation Control Systems", IEEE Trans on Energy Conversion, Vol. 10, No. 3, 1997