

발전소 발전기용 삼중화 정지형 여자시스템에 관한 연구

Experimental Study of Triple Redundancy Static Excitation System for Power Plant

백 승 엽*, 남 정 한**, 김 소 형***, 강 성 수****

(SeungYeob Baeg, JungHan Nam, SoHyung Kim and SungSu Kang)

- * 두산중공업 연구)시스템기술연구팀(전화:(055)278-8215, 팩스:(055)278-8593,E-mail : baegsy66@doosanheavy.com)
- ** 두산중공업 연구)시스템기술연구팀(전화:(055)278-3758, 팩스:(055)278-8593,E-mail : jhnam85@doosanheavy.com)
- *** 두산중공업 터빈)발전기 설계팀(전화:(055)278-6663, 팩스:(055)278-8529, E-mail : sohkim@doosanheavy.com)
- **** (주)이투에스 연구소 (전화:(02)488-0586, 팩스:(02)487-6718, E-mail : sskang@e2s.co.kr)

Abstract : Digital controllers have developed rapidly in recent years. This paper describes the synchronized signal generation circuits for control of Multiple Controllers and test results. Also this paper describes configuration and functions of digital excitation system. The digital excitation system is made up of triple redundancy and has control and protection functions.

Keywords : Excitation System, Power Generation

1. 서론

여자 시스템(Excitation System) 이란 발전기 계자에 직류를 만들어 계자 권선에 자장을 형성시켜 줌으로서 발전기 고정자에 전압을 유지하는 장치이다. 정지형 여자 시스템은 대다수 화력 및 원자력 발전소에서 채용하는 여자 방식으로 여자 전력원은 여자용 변압기 (Power Potential Transformer) 를 사용한다. 여자 시스템의 제어기 방식은 아날로그 방식과 디지털방식이 있다. 아날로그 방식은 제어시스템을 수동형 소자와 간단한 기능을 구현하는 집적회로(IC)로만 구성된 것으로 회로가 복잡하고 구현하고자 하는 기능에 한계가 있을 수 있으며, 계통변화에 대해 응답속도가 느린 단점이 있다. 디지털 방식은 반도체 기술의 발달에 따라 마이크로 프로세서의 기능이 강화됨으로 이를 이용하여 하드웨어를 꾸민 것으로 회로가 간단하고, 기능 구현이 쉬우며 응답속도가 매우 빨라 속도형 여자시스템은 주로 이 방식을 사용한다. 본 논문에서는 제어기의 안정성을 위하여 동일한 제어기를 삼중으로 운영하는 삼중화 (Triple Redundancy) 제어기의 설계와 정지형 여자기의 하드웨어 구성과 소프트웨어의 구성을 보여주며, 삼중화 제어를 위한 제어기간의 동기 회로와 그 회로의 동기 실험 결과를 보여준다.

II. 정지형 여자시스템의 구성

직접 정지형 여자 시스템과 관련된 간단한 구성도는 그림 1과 같다.

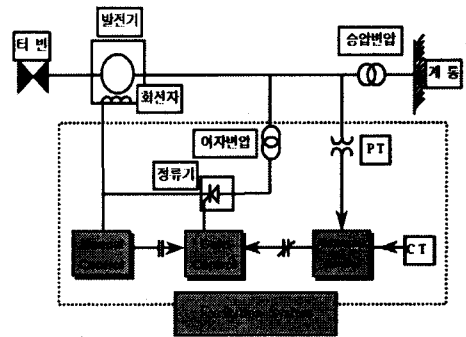


그림 1. 정지형 여자시스템의 구성도
Fig. 1. Configuration Diagram of Static Excitation System

정지형 여자시스템은 발전기의 회전자에 공급하는 직류 전원을 만들기 위한 여자용 변압기(PPT : Power Potential Transformer)와 변압기 2차측의 교류를 계자(Field)에 필요한 직류로 바꾸어 주는 정류기(Rectifier), 그리고 제어기의 신호를 받아 정류기의 게이트(Gate) 신호를 제어하여 전압의 위상제어(Phase Control)를 함으로써 계자전류 크기를 조절하는 게이트 제어 등으로 구성되어 있다. 여자 제어시스템의 제어 대상은 운전 모드에 따라서 수동 모드일 경우 계자 전류 혹은 전압이 제어 대상이 되며, 자동 운전일 경우 발전기 단자 전압이 제어 대상이 된다. 발전기 여자시스템의 역할은 첫째, 발전기가 정상 운전시 연속 운전

할 수 있는 범위 내에서 출력변화에 신속히 응동하여 단자전압을 유지하고,안정도(Stability)를 유지하도록 발전기 계자전류를 제어할 수 있어야 한다. 둘째로, 전력계통에 외란 발생시 순간적으로 발전기의 단시간 능력에 부합하는 계자전원을 공급하여 발전기의 과도안정도(Transient Stability)를 향상시켜야 한다.

III. 여자시스템의 하드웨어 구성

1. 여자시스템의 판넬 구성

개발된 여자 시스템 시제품은 그림 2. 와 같이 5면의 판넬 (Panel)로 구성되며, 왼쪽부터 PCR 판넬이 3면, 보조 (Auxiliary) 판넬 1면, 제어(Control) 판넬 1면으로 이루어진다.

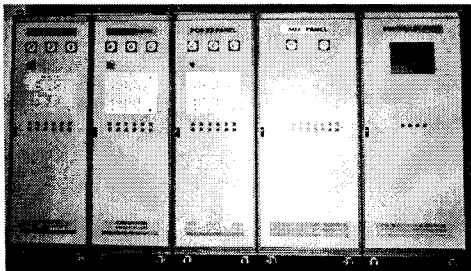


그림 2. 여자시스템의 판넬
Fig. 2. Panel of Excitation System

PCR 판넬은 3 세트 (Set)가 병렬로 결선되어 정상 동작 시에는 3 세트가 정격 전류를 분담하여 발전기의 계자로 공급하며, 보조 판넬은 시스템 전체의 전원을 외부로부터 각 판넬로 전달하고, 필드 플래싱(Field Flashing), 크로바(Crowbar) 동작의 기능을 가진다. 보조 판넬 내부의 각 구성별 기능은 다음과 같다. 필드 플래싱은 자여자 방식의 시스템에서 기동시 초기 전압의 확립을 위하여 여자 변압기 이외의 전압원으로 사용된다. 크로바 회로는 계자 양단에 과전압이 유길 될 시에 이를 크로바 검출회로가 감지하여 계자 양단에 병렬로 설치된 스위치를 온 시켜서 스위치에 직렬로 연결된 방전(Discharge) 저항을 통하여 전류를 흘려줌으로써, 과전압으로 인한 스위치 및 기기의 소손을 방지한다. 제어 판넬은 PCR 및 보조 판넬과 아날로그 또는 디지털 신호를 주고 받으며, 시스템 전체를 관장하는 역할을 한다.

2. 여자기 제어판넬의 구성

제어 판넬은 크게 삼중화 제어 보드와 보터 보드로 나눌 수 있다. 그림 3는 제어기 판넬 구조를 보여준다. 제안된 제어기는 VME(Versa Module Eurocard) 표준에 준하는 제어 보드, Back Plane, 제어기 내장전원 공급장치 및 I/O Interface 보드로 구성되며 시스템의 Back Bone은 삼중화(TMR : Triple Modular Redundancy) 제어기를 바탕으로 하되 필요에 따라 단일 제어기 시스템 또는 이중화 제어기 시스템으로 전환이 용이한 구조로 개발되어 있다.

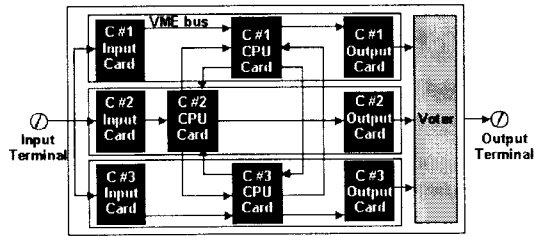


그림 3. DS-DEX의 삼중화 구조
Fig. 3. Triplicate Architecture of the DS-DEX Controller

3. 제어기 판넬의 보드 구성

그림 4는 제어기 판넬의 판넬 보드 구성도를 보여준다. 그림에서 ECCB(Exciter Core Control Board)는 VME 시스템 Controller이자 VME Master Board로서 동작되며, VME 시스템 Controller로서 동작하기 위해 필요한 회로는 ECCB에 탑재될 CPU의 동작 여부에 상관없이 전원이 인가되어 있는 이상 정상적으로 동작한다. ECCB는 제안된 삼중화 제어 시스템을 구성하는 각 제어기의 핵심 보드이다. ECCB는 제어기능 측면에서는 발전기 계자에 관련된 Data 처리 및 제어 동작을 수행하며, EACB(Exciter Application Control Board)에 대한 Back Up 제어기로 동작하여 EACB가 비정상적인 경우 ECCB만으로 시스템의 정상적인 기동, 수동운전, 및 정지가 가능하도록 설계된다.

EACB는 VME Master 보드로서, 아래의 제어 기능을 포함하여, Turbine 제어 시스템 또는 PCS (Plant Control System), DCS(Distributed Control System)등의 외부기와 Ethernet을 통한 통신을 담당 한다. EACB는 VME Master Board로서 설계되어야 하나 불가피할 경우 VME Slave기능만을 담당할 수도 있다. EACB는 제안된 제어기내의 다른 VME 보드에는 Access하지 않으며, 단지 자신과 관련된 I/O 및 ECCB에 전달하는 역할을 한다. EIOB(Exciter I/O Board)보드는 제안된 제어기의 입출력을 처리하며 VME Slave Board로 동작한다. VME Slave 보드인 EIOB 보드는 ECCB를 위한 입출력 보드로 사용된다. ECCB는 EIOB 보드를 주기적으로(360Hz 또는 300Hz) Access하므로 EIOB 내의 모든 입출력 Device는 이를 고려하여 충분한 Settling Time을 갖도록 설계되어 있다. EPDB(Exciter PCR Drive Board)는 VME Slave Board로서 위상 제어 정류기의 SCR Gate를 구동하는 신호 및 각 정류기의 상태를 감시하는 것을 주목적으로 한다. 제안된 제어기는 삼중화 제어기를 사용하고 있으나 각 제어기는 전기적으로 완전 분리된 1개의 Back Plane을 사용하고 있다. ASIB(Analog Signal Interface Board)는 Back Plane ECBP하부 전면에 취부되어 여자 제어기와 Customer 공급 기기 간의 모든

아날로그 형태의 입출력 신호에 대한 Interface를 위하여 사용된다. ESIB(Exciter Signal Interface Board)는 제안된 삼중화 디지털 제어기와 Exciter 내부 Device간의 아날로그 입력과 디지털 출력 Interface 및 Zero-Crossing Detection을 위하여 사용된다. CDIB(Customer Digital Interface Board)는 삼중화 디지털 제어기와 Customer Device간의 디지털 출력 Interface를 위하여 사용된다. CDIB는 삼중화 제어기의 디지털 출력에 대하여 Relay를 이용한 2 Out Of 3 Voting 기능을 담당 하고 있으며 ECBP의 하부 전면에 취부된다.

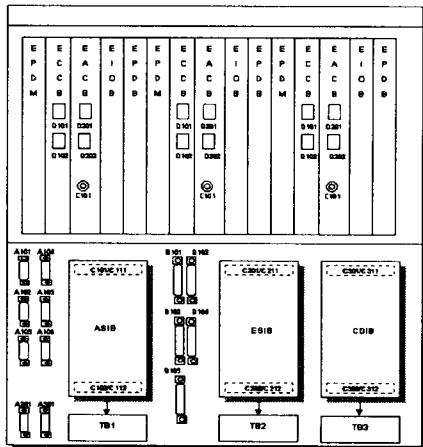


그림 4. 제어반의 구조

Fig. 4. Configuration of Controller Panel

각 제어 보드는 3개의 제어기로 삼중화되어 있다. 그림 5는 제어기 판넬의 완성된 전면 사진이다.

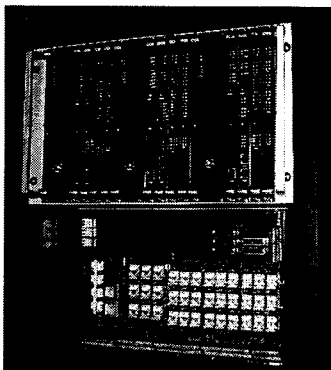


그림 5. 제어반의 정면사진

Fig. 5. Front View of Controller Rack

각 제어기는 OIS의 명령에 따라 통신을 수행케 되며, GUI 기능이 있는 컴퓨터와 필요 정보를 통신한

다. 그리고 제어기간에 데이터를 서로 공유하고 삼중화 알고리즘을 적용하여 제어기 변환 시 충격을 최대한 줄이게 하였다.

IV. 여자시스템의 소프트웨어 구성

본 논문에서 개발한 여자시스템 소프트웨어는 그림 6와 같이 Micro-C실시간 운영체제 (Operating System)를 기반으로 프로그래밍 되어있다.

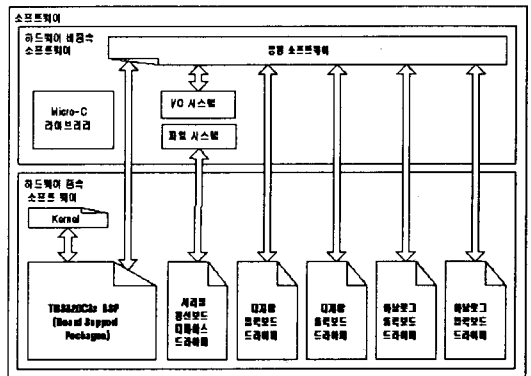


그림 6. 여자시스템의 SW 구조

Fig. 6. SW Configuration of Excitation System

소프트웨어 구성은 실시간 OS 커널(Kernel)과 라이브러리, TMS320VC33 CPU를 내장한 DSP보드를 사용하기 위한 BSP(Board Support Package), 각종 I/O 보드를 사용하기 위한 디바이스 드라이버, 그리고 여자 제어 응용프로그램으로 구성되어 있다. BSP는 하드웨어의 초기화 및 마이크로 씨가 운영될 수 있는 환경을 만들어 주는 역할을 한다. 디바이스 드라이버 (Device Driver)는 CPU 주변 장치를 동작 시키기 위한 구동용 소프트웨어로서, 여자 (Exciter) 제어기의 경우 아날로그 입출력 보드/ 디지털 입출력 보드/ 통신용 보드를 구동하기 위해 각각의 소프트웨어 드라이버를 만들어 주게 된다. 본 과제에서 개발한 여자시스템의 제어기는 3개의 제어기로 삼중화되어 있다. 통신 주기는 수동 발전기 출력 전압 제어 운전 모드에서는 360Hz로 자동 발전기 출력 전압 제어 운전모드에서는 180Hz로 주고받는다.

V. 여자시스템의 다중화제어기에서의 동기신호발생회로

본 논문에서 사용한 동기 회로는 제어기가 발전기에서 피드백 되는 전압값을 읽는 시점이 제어기마다 시간적이 오차가 있으며, 발전기 제어를 위한 적분기의 출력이 발산하고, 최종 제어 출력값이 정확하지 못한 문제가 발생하는 상태를 대비하여 구현되었다. 동기 회로를 이용하여 제어기간에 기준이 되는 동기신호가 있을 경우, 입력 값을 동일하게 계산하므로 동일한 출력 및 안정적인 제어가 가능해진다. 그리고 3개의 동일한 제어기로 이루어진 삼중화 여자시스템의 경우에

는, 제어기의 에러를 검출하기 위하여, 각각의 제어기가 항상 동일한 시점에 입력값을 받고, 연산을 하며, 출력을 하여야 하므로, 동기화 된 기준 신호가 필요하다. 또한 일반적인 다중화 제어기에 있어서도 제어기간에 동기가 이루어지지 않을 경우, 데이터의 교환에 문제가 있을뿐만 아니라, 제어기의 속도가 빠르지 않은 경우라면 웨이트 시간이 길어져서 제어기의 오동작을 발생할 수도 있다. 본 논문에서는 발전기용 여자제어시스템의 삼중화 제어기에서 각각의 제어기가 스타트 펄스, OR게이트 및 타이머 회로를 사용하여 동기신호를 발생하고, 상기 동기 신호를 나머지 두 제어기의 OR게이트 입력으로 사용함으로써 각각의 타이머에서 발생하는 신호를 동기신호로 사용하는 회로 장치를 제안하였다. 그림 7은 삼중화 제어기간의 동기를 위한 동기회로도이다.

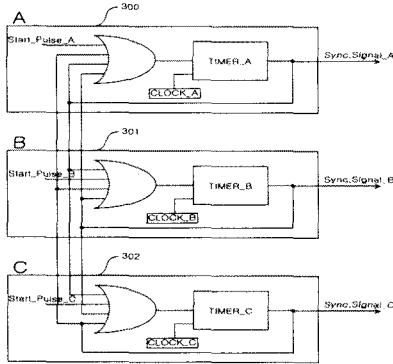


그림 7. 삼중화 제어기간의 동기를 위한 동기회로도
Fig. 7. Synchronized Signal Generation Circuits
Diagram for Triple Redundancy Controller
VI. 여자시스템의 동기회로실험결과

그림 8은 동기회로를 동작시켰을 때의 각 제어기 출력을 비교한 동작 파형도이다. 스타트 펄스에 의해 타이머의 출력이 동기가 되는 것을 알 수 있으며, 이 신호를 각각의 제어기에서 동기 신호로 사용한다. 그림 9는 그림 8에서의 타이머 출력 파형(CLOCK_A(B))을 기준 클럭(CLK_RDF_A(B))과 비교한 것으로, 기준 클럭간의 위상 차이만큼 오차가 있음을 나타낸다. 그러나 기준 클럭의 주기는 실제 제어기의 제어 로직을 위한 동기 신호의 주기에 비하면 아주 짧기 때문에 무시 가능하다.

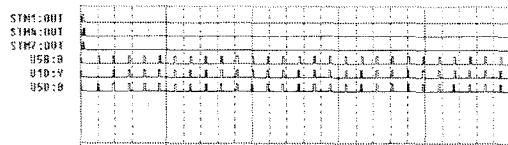


그림 8. 동기 회로 출력 파형
Fig. 8. Output Signal of Synchronized Signal Generation Circuits

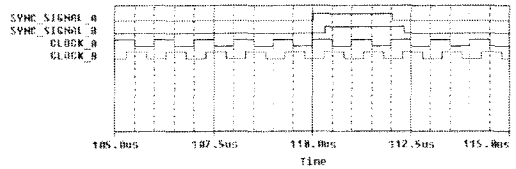


그림 9. 동기회로 출력 파형과 시스템 클럭과 비교
Fig. 9. Comparison Between Output Signal of Synchronized Signal Generation Circuits with System Clock

VII. 결론

본 논문은 삼중화 정지형 여자시스템의 구성과 제어기간의 동기 회로 구성 및 동기회로 실험 결과를 보여주었다. 삼중화 제어기의 구현을 위하여 VME 제어기 3개를 별도로 운영하며 통신을 통해 주 제어기의 사고 시 충격 없이 보조 제어기로 대체토록 하였다. 3개의 PCR을 사용하였으며, 각 제어기의 출력은 다시 보터 알고리즘에 의해서 출력을 결정짓게 하였다. 구현된 여자 제어기는 제어기간 동기 펄스 주기보다 훨씬 짧은 시간에 동기가 됨을 보였으며, 향후 발전소 실증 운전을 통하여 상품화하고자 한다.

참고문헌

- [1] J.R. Ribeiro, " Minimum Excitation Limiter Effects on generator Response to System Disturbances", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 6, No. 1. March 1991
- [2] Murty V.V.S. Yalla, "A Digital Multifunction Protective Relay", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 7 No. 1. January 1992
- [3] Gabriel Benmouyal, Serge Barceloux, Rolland Pelletier, "Field Experience with a Digital Relay for Synchronous Generators", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 7, No. 4. October, 1992
- [4] P. Kunder, M. Klein, G.J. Rogers, M.S. Zywno, " Application of Power System Stabilizers for Enhancement of Overall System Stability", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 4, No. 2. May, 1989
- [5] A.H.M.S. Ula, Abul R. Hasan, "Design and Implementation of a personal Computer based Automatic Voltage Regulator for a Synchronous Generator", IEEE transactions on Energy Conversion, Vol. 7, No. 1. March 1992,
- [6] Gabriel Benmouyal, " Some Aspects of the Digital Implementation of Protection Time Functions", IEEE transactions on Power Delivery, Vol. 5, No. 4. November 1990