

IGBT를 이용한 디지털 다중화 발전기 제어시스템 개발

이주현, 류호선, 신만수, 임익현
전력연구원, 전력연구원, 전력연구원, 전력연구원

The development of multi-loop generator control system with IGBT converter

J.H.Lee, H.S.Ryu, M.S.Sin, I.H.Lim
KEPRI, KEPRI, KEPRI, KEPRI

Abstract - 전력수요의 증대로 발전기 전압제어를 통해 전력계통의 안정과 양질의 전력공급의 중요한 역할을 하는 여자시스템의 중요성이 한층 더 증대되었다. 본 논문은 선진 외국 제작사 기술에 전적으로 의존하고 있는 발전기 제어시스템을 순수 국내기술로 개발하여 교체하기 위해 제어시스템의 개발내용과 모의시험 및 현장 적용을 통한 시험 및 성능을 평가한 내용을 기술하였다.

가지고 펄스(Pulse) 폭으로 IGBT를 통해 출력전압을 조정하며, 출력 전압은 다음 식에 의해 결정된다.

$$V_{output} = V_{input} \times [Time\ on / (Time\ on + Time\ off)]$$

여기서 V_{input} 은 DC Link 전압이고, Time은 IGBT의 도통시간이며, IGBT Chopping 주파수는 대략 1000Hz이다. 이 출력은 조절된 전압과 전류로서 회전 여자기 계자로 공급되고 이를 통해 발전기 출력전압을 제어하게 된다.

1. 서 론

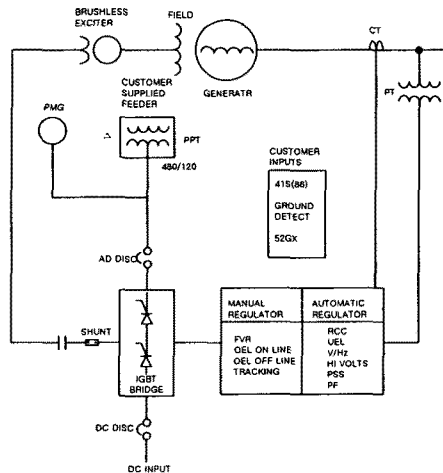
최근 전력수요의 증대로 국내 화력 및 원자력발전소는 대형화되고 복잡화됨으로써 발전소 운전의 핵심적인 역할을 담당하는 제어시스템의 중요성이 한층 더 강조되고 있다. 발전소의 제어시스템 중에서 발전기 전압제어를 통해 전력계통의 안정과 양질의 전력공급의 중요한 부분의 역할을 담당하는 여자시스템(Excitation System)은 동기발전기의 계자권선에 직류 전류를 공급하여 계자전압을 조정하고 계자전류를 제어하는 기능을 담당하는 것으로 전력계통의 만족스러운 성능 구현에 필수적인 보호기능과 제어기능을 수행하는 것이다.

전력전자 및 제어기술의 발전과 더불어 발전제어 설비 분야에서의 국산화 개발이 활발히 진행되고 있으며, 첨단 디지털 기술의 발전으로 발전소 핵심제어 설비는 다중화하여 내 고장 설비로 구축하고 있는 것이 최근 기술의 추세이나, 대상발전소인 제주화력 여자시스템은 최근에 설치된 디지털 제어시스템임에도 불구하고 후비 보호 시스템이 취약하게 되어 있다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 전력연구원에서 개발한 디지털 다중화 방식의 제어시스템 개발내용과 현장에 적용하기에 앞서 모의시험 및 현장 적용 시험들을 통한 시스템의 성능을 평가한 내용들을 기술하였다.

2. 본 론

2.1 대상발전소 발전기 제어시스템

대상발전소인 제주화력 발전소의 발전기 제어시스템은 Brushless 방식의 간접 여자시스템으로 제어기와 IGBT 전력변환부 모두 단일 채널 시스템으로 구성되어 있다. [그림 1]은 제주화력 발전기 제어시스템의 구성도이다. 전력 변환부는 입력 전원부, DC link 그리고 변환 출력부로 이루어져 있는데, 변환 출력부는 DC Link 전압을



[그림 1] 대상발전소 여자시스템의 구성도

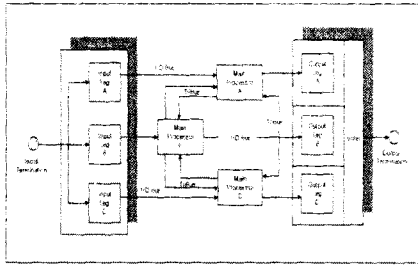
2.2 개발 시스템의 구성 및 기능

개발시스템의 구성은 여자시스템의 제어 및 제한, 보호 기능을 수행하는 3중화 디지털 제어기와 발전기 전압 및 전류 신호를 입력받아 유효, 무효전력 연산과 신호처리를 위한 신호처리 보드(Signal Conditioning Board), IGBT Converter 정류기 그리고 운전원용 MMI(Man Machine Interface) 시스템으로 구성되어 있다.

2.2.1 3중화 디지털 제어기

제어부는 TMR(Triple Modular Redundant)의 3중화 디지털 제어기로서 제어 연산은 완전 3중화로 처리되어 2개의 채널이 동시에 고장이 나는 최악의 상황에서도 안정적으로 운전되며, 여자시스템의 제어, 제한 및 보호기능과 각종 자기진단 기능을 수행하는 CPU 모듈, 현장의 각종 입력력 신호들을 위한 아날로그 및 디지털 입출력 모듈 그리고 MMI 시스템과의 통신을 위한 통신모듈로

구성되어 있으며, 디지털 제어기의 3중화 구성도는 아래의 [그림 2]와 같다.

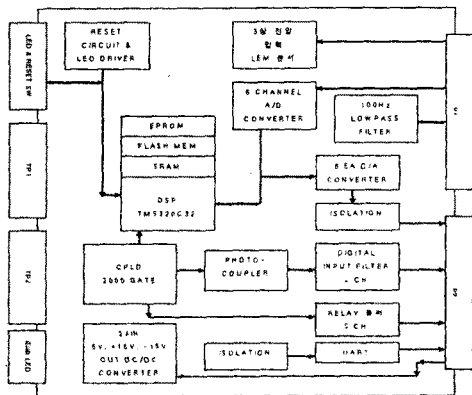


[그림 2] 제어기의 3중화 구성도

2.2.2 신호처리 시스템 및 PWM 보드

신호처리 시스템은 이중화된 전원공급 카드와 모니터링 카드, 신호처리를 위해 DSP(Digital Signal Processing)로 개발된 3중화 SCB(Signal Conditioning Board) 모듈로 구성되어 있으며, 발전기 전압과 전류 등의 신호를 입력받아 제어기에 필요한 표준 신호(0~10V)로 변환되며, 유효 및 무효전력의 연산과 전력계통 안정화 장치인 PSS (Power System Stabilizer)의 제어 프로그램이 내장되어 있다. 모니터링 카드는 전원공급 출력을 감시하며 발전기 전압입력(PT) 신호 상실시 릴레이로 출력하는 기능을 함께 내장하고 있다.

PWM 보드는 TMR 주제어기로부터 최종 제어 신호를 공급받아 A, B 채널의 컨버터에 PWM 펄스를 발생시키며, 계자회로에 과전압이 발생하는 검출하는 역할을 한다.



[그림 3] 신호처리 보드(SCB)의 구성도

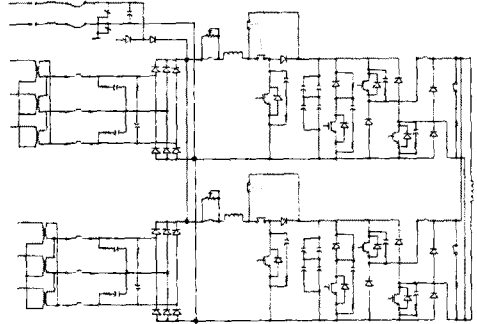
2.2.3 IGBT Converter

IGBT Converter는 크게 전원부와 정류부 및 차단부로 이루어져 있으며, 전원부는 여자용 변압기(PPT)로부터 강압되어 입력되는 240V 교류(AC) 전압, 비상용 Battery에서 입력되는 직류(DC) 125V 전압과 UPS전원을 조합하여 시스템 전원, 각종 계전기 공급전원 그리고 IGBT Gate Driver 전원 등으로 사용하고 있으며, 완벽한 이중화된 전원으로 공급하게 된다.

정류부는 여자용 변압기(PPT)로부터 강압된 전압을 이중화된 IGBT Converter에서 다이오드 전과 정류하여 계사전원으로

사용된다. 정류된 직류전원은 IGBT Converter부에서 두개의 IGBT 조너에 의해 강압되어 발전기 전압조정에 필요한 여자기의 계사전류를 형성한다.

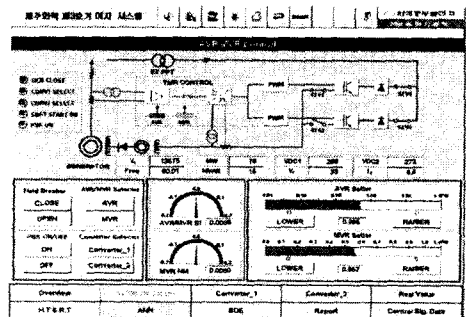
차단부는 입력 교류(AC) 전원 측에 NFB와 직류 출력 측에 계사차단기가 설치되어 있으며, IGBT Converter의 주요 구성품으로는 여자변압기, AC Filter와 정류용 다이오드, DC Link 단의 커패시터, 강압용 IGBT Module, 출력전류 감지용 Shunt 와 Hall CT 그리고 디지털 신호 입출력을 위한 릴레이들로 구성되어 있다.



[그림 4] 이중화된 IGBT Converter 구성도

2.2.4 MMI(Man Machine Interface) 시스템

제어시스템과 운전자(Operator)사이의 Interface 역할을 수행하는 MMI 시스템은 운전원들이 여자시스템의 운전 상태 감시와 조작을 GUI(Graphic User Interface)에 의해 가능토록 해준다. Windows 2000을 운영체제로 하며 GUI를 위한 프로그램은 Intellution사의 iFIX Dynamics 소프트웨어 프로그램을 사용하였으며, 아래의 [그림 3]은 운전 데이터들의 효율적인 감시와 조작을 위한 MMI 화면의 한 예를 보여준다.



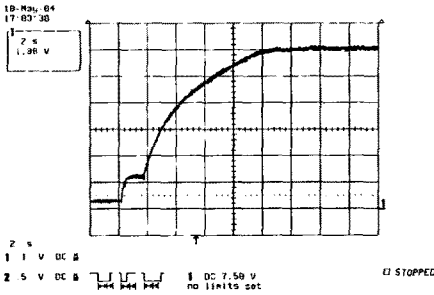
[그림 5] 운전원용 MMI 화면

2.3 개발시스템의 모의시험 및 현장적용 결과

전력연구원에서 발전기 제어시스템을 개발한 후에 발전 전동기(M-G Set)를 이용한 모의시험을 통해 시스템의 제어, 제한 및 보호기능들과 시스템의 견전성을 확인한 후 기존 발전기 제어시스템을 전력연구원에서 개발한 TMR 발전기 제어시스템으로 교체한 후 운전 가능한 제, 최적 제어 및 보호 제한 기능의 정확한 수행을 위한 각종 제어 및 보호 파라미터 설정하고 확인하였다.

2.3.1 발전기 전압확립

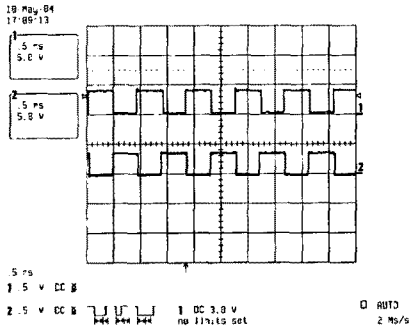
발전기 정격속도의 무부하 상태에서 발전기 계자에 초기 여자전류를 공급하고 발전기 전압이 정상적으로 생성되는지 또한 미리 설정해 놓은 전압 설정값까지 발전기 전압이 과도한 Overshoot 없이 안정적으로 확립되는지 시험하여 자동(Auto) 및 수동(Manual) 운전모드에서 정상적으로 발전기 전압이 확립됨을 확인하였으며, 아래 [그림 4]는 발전기 전압확립 결과를 그래프로 보여주고 있다.



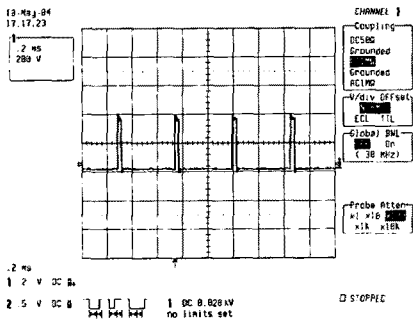
[그림 6] 발전기 전압확립 결과

2.3.2 IGBT Converter 동작 특성

IGBT Converter에서 다이오드 전파 경류된 직류 계자 전원은 두개의 IGBT 초퍼에 의해 강압되어 발전기 전압 조절에 필요한 여자의 계자전류를 형성하게 되는데, 아래의 [그림 7]은 두개의 IGBT 초퍼의 Gate Pulse 파형과 [그림 8]은 최종 점호신호(Firing Signal)의 펄스파형이다.



[그림 7] IGBT Q3/Q4의 Gate Pulse 파형

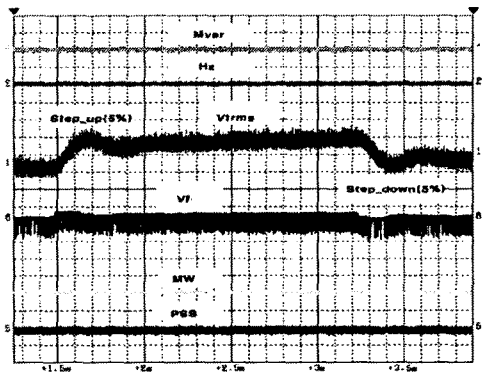


[그림 8] 점호신호(Firing Signal) Pulse 파형

2.3.3 계단응답 시험을 통한 특성시험

발전기 정격전압의 5%에 해당하는 계단응답 시험(Step Up/Down)을 실시하여 응답 특성 확인하였으며, 그 결과를 가지고 AVR 제어기의 PI 파라미터(KP, KI)값 설정 및 조정하였다. 아래의 [그림 9]는 계단 응답 시험의 결과를 나타내며, 결과 그래프에서 보듯이 발전기 정격전압의 5%에 해당하는 계단 응답 신호를 주었을 때 계자 전압과 발전기 전압이 속도성있게 응답 함을 확인할 수 있었다.

여기서 V_{rms} : 발전기 전압
 V_f : 계자 전압을 나타낸다.



[그림 9] 계단 응답 시험 결과

3. 결 론

본 논문은 선진 외국 제작사 기술에 전적으로 의존하고 있는 발전소 제어시스템을 순수 국내기술로 개발하고 개발 시스템의 구성과 기능 및 자체 보유한 발전전동기(M-G Set) 설비를 통한 모의시험과 현장 실계통의 적용 결과를 기술하였다. 금번에 개발 적용된 발전기 제어시스템은 삼중화 제어기와 이중화된 컨버터 시스템으로 구성되어 설비의 신뢰도를 한층 더 높였으며, 운전 편의성과 기능개선으로 현장 직원들로부터 많은 관심과 좋은 반응을 받았다.

금번 발전기 제어시스템의 개발과 현장 적용을 통해 확보한 기술을 바탕으로 외국 기술의 의존도가 높은 여타 제어시스템의 국산화 및 국내 제작사의 설계 제작 기술 향상과 향후 전력수요의 증가에 따른 국내발전소 중설과 장기사용 발전소의 기존 시스템의 개체 시에 투자비 절감뿐만 아니라 외화 절감에도 크게 기여할 것으로 기대된다.

[참 고 문 헌]

- [1] General Electric, EX-2000 Digital Exciter User Manual, 1997
- [2] KDR-2000 Digital Excitation Systems Manual 전력연구원, 2000
- [3] 임익현, 이주현 류호선 외 "발전기용 다중화 정지형 디지털 여자시스템 개발" 최종보고서, 전력연구원
- [4] 임익현, "동기발전기 디지털 여자시스템 개발에 관한 연구", 전력연구원, 2001
- [5] 류호선, 이주현, 임익현 외 "화력발전소용 디지털 여자시스템 개발에 관한 연구", 전력전자학회, 2002