

삼천포 화력 계통 안정화 장치 건전성 평가에 관한 연구

김봉석, 류호선, 임익헌
전력연구원

Reliability Test of Power System Stabilizer for Samchunpo Thermal Power Plant

Bongsuck Kim, Ho-Seon Ryu, Ik-Hun Lim
Korea Electric Power Research Institute

ABSTRACT

전력연구원은 한국남동발전(주) 삼천포화력 발전소의 요청에 따라 삼천포 화력 6호기 계획예방정비공사 기간(07.03.14-04.19) 중 발전기 여자시스템의 계통안정화 장치의 시간영역(Time Domain)과 주파수영역(Frequency Domain)에서의 Step 시험을 통하여 건전성을 평가하였다. 본 논문에서는 전력계통의 동요를 안정시키기 위한 삼천포 화력 발전기 여자시스템의 계통 안정화 장치(GE사 3S7932LA300)의 개요, 구성 및 건전성 평가 결과를 기술하였다.

1. 서 론

최근 전력수요의 증가로 계통규모가 대형화 되는 반면, 발전소는 입지 선정의 어려움으로 발전기의 단위 용량이 증가하는 추세이므로 전 계통 정전 사고를 유발할 수 있는 대형발전기의 발전정지 발생방지 대책이 필요하다. 특히, 발전기의 속응 여자시스템이 급속하게 확대, 적용됨에 따라 계통의 안정도 마진이 감소하여 작은 외란에도 발전기 동요가 지속되는 정태안정도 저하현상이 발생하는 추세이다. 따라서 정태안정도의 향상과 계통의 제동 능력 향상을 도모하고, 전력계통의 작은 변화로 나타나는 지속성 동요를 감쇄시키기 위하여 전력계통 안정화 장치(PSS : Power System Stabilizer)를 적용한다. 전력계통 안정화 장치는 전력계통에서 나타나는 0.1-2.0Hz의 전력진동에 대하여 안정화 보조신호를 발생시켜 발전기 여자시스템의 자동전압조정장치(AVR)에 부가하여 이를 효과적으로 억제하도록 함으로써 전력계통의 정태 안정도를 향상시키는 경제적인 수단이 되고 있다.

2. 본 문

1.1. 삼천포 화력 전력계통 안정화 장치

삼천포 화력의 아날로그 방식 전력계통 안정화 장치(GE사 3S7932LA300)는 터빈/발전기 Front Standard에 있는 magnetic pickup과 치차로부터 터빈 회전속도 신호를 받는다. 속도신호는 속도 검출 변환기에서 변조되어 속도에 비례하는 출력전압 신호로 변환된다. 이 신호는 적절한 위상천이 특성을 주기 위해 두 개의 진상/지상 증폭기를 통과하게 된다. 그리고 torsional frequencies에서 신호를 감쇄시키기 위해 band reject filter를 통과하게 되고, 부품들의 drift 효과와 천천히 변화하는 계통 주파수 변화에 대한 영향을 제거하기 위해서 washout

filter를 통과하게 된다. 그 후 제어성을 극대화하기 위해 이득 증폭기를 통과하게 된다. 마지막으로 출력 단에서 발전기 여자시스템에 적정의 신호를 주기 위한 interface card가 있다. 삼천포 화력 전력계통안정화 장치(GE사의 3S7932LA300)는 다음과 같이 구성되어 있다.

- (1) Speed Transducer Board
- (2) Signal Conditioning Board(Lead/Lag Function)
- (3) Band Reject (Biquad) Filter
- (4) Band Pass (Biquad) Filter
- (5) PSS Comparator Board
- (6) Washout and Output Board
- (7) Relay Board
- (8) Ceiling Sensing Board
- (9) Power Supply System

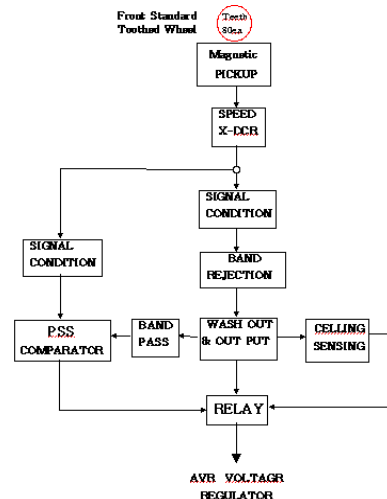


그림 1 전력계통 안정화 장치 블록 다이어그램
Fig. 1 Power System Stabilizer Block Diagram

그림 1은 삼천포 화력 전력계통 안정화 장치 블록 다이어그램이다. 삼천포 화력 전력계통안정화 장치(GE사의 3S7932LA300)를 분석한 결과 이 시스템이 다른 회사의 시스템과 조금 구별된 부분이 있다면 다음과 같다.

- (1) 속도신호검출 : 속도 신호 변환기 또는 Turbine Front Standard Toothed Wheel & Magnetic Pick-up
- (2) PSS 연산회로의 고장 검출용으로 PSS Comparator 회로를 쓰고 있다.

- (3) Signal Conditioning 과 Band Pass 회로를 별도로 추가해서 제어 신호가 정상인지 구별하고 있다.
- (4) PSS의 과대 출력신호 차단용 Ceiling Sensing 회로를 쓰고 있다.
- (5) 발전기 과전압 또는 저 전압을 감시해서 과전압이나 저 전압일 때는 PSS 기능을 중단한다.
- (6) 터빈 축에서 발생하는 Torsional 진동 방지용 Filter 회로(중속 회로 5개)를 가진다.
- (7) Relay Board의 Jumper Pin 선택에 따라 GE사에서 제작 공급하는 다양한 여자시스템 모델에 적용 가능하도록 설계 되어 있다.

1.2. 삼천포 화력 전력계통 안정화 장치 보드

1.2.1 Speed Transducer

속도를 검출하기 위하여 터빈 프론트 스탠다드에 설치된 치차는 80개의 기아산을 가지고 있으며 치차 표면에 근접해서 magnetic pickup이 설치되어 있다. 여기서 발생된 주파수 신호는 다음과 같다.

- (1) 전압 : 30 ~ 40 Volts P-P (최소 5V P-P)
- (2) 4800 Hz (60 × 80) @ 정격속도 3600 rpm

삼천포 화력 전력계통안정화 장치는 Comparator(Zero Crossing Detector), One Shot(Mono-stable Multi-vibrator), Null Adj.(정격속도에서 출력신호 "0" Volt), Gain Adj.(주파수 1% 변화시 1V 신호를 출력)로 구성되어있다.

1.2.2 Signal Conditioning(Lead/Lag)

차동 증폭기와 저항 및 콘덴서를 사용하여 2 Stage Lead/Lag, Voltage Deviation, Notch Filter(60Hz)회로를 구성하였다. R-C로 구성된 Notch Filter는 1차와 2차 진상/지상 보상기 중간에 위치하며 60Hz(3600RPM)성분을 제거한다.

1.2.3 Band Reject Filter

터빈 발전기의 torsional resonant frequencies에서의 신호를 감쇠시키기 위해 5 Stage Cascade Band Reject Filter, Output Voltage Follower 회로가 사용된다. 터빈발전기의 Torsional Resonant Frequency에서 신호를 감쇄하는 기능을 수행하는데 Rejection Band 이외에서는 Unit gain을 가지며, 대략 40dB를 감쇄시킨다. 공진회로 통과 대역 밖의 신호는 감쇠 없이 통과시킨다. Band Reject Filter 전달함수는 다음과 같다. $aN, aD, W_0, aN/aD$ 는 저항과 콘덴서에 의해서 결정한다.

$$\frac{e_0}{e_1} = \frac{1 + \frac{aN S}{W_0} + (\frac{S}{W_0})^2}{1 + \frac{aD S}{W_0} + (\frac{S}{W_0})^2} \quad (1)$$

1.2.4 Band Pass(bi-quad) Filter

Band Pass Filter는 Band Reject Filter와는 역으로 동작하는 기능을 갖는다. 리액트 필터의 각단에서 두 저항을 교체함으로써 Band Reject Filter를 Band Pass Filter로 바꿀 수 있다. 전달함수는 Band Reject Filter와 같으며 $aN, aD, W_0, aN/aD$ 의 값이 다르다.

1.2.5 PSS Comparator

밴드 리액트 필터와 Signal Conditioning Board, 그리고 washout 단의 기능이 정상적으로 동작하는지를 점검하는 모듈이다. Washout and Output board 신호를 받아서, 이 신호를

Band Pass(bi-quad) Filtering을 해서 PSS Comparator 보드에 보낸다. 그 목적은 진상/지상 보상기에서 온 신호를 Reject 시킨 후 다시 Washout 필터를 통과시키는데 이 과정에서 신호의 연산이 정상적인지 판별하기 위한 프로세스가 있는데 이것을 수행하는 과정에서 Washout된 신호를 즉 Reject 필터의 역으로 동작하는 Band Pass 필터에서 역으로 신호를 뒤집어 원 위치 한 다음 원래의 신호를 연산해서 보내온 다른 증폭기 신호와 비교하기 위함이다. 상부 주파수 차단을 결정하는 콘덴서와 교류로 결합되는 차동 증폭기, 그리고 이득 조정 가변저항기를 입력단에 가지고 여기서 나온 출력을 정/부 절대값 증폭기를 거쳐서 같이 더해진 다음 출력 제한회로를 통과한 다음 두 신호를 더해서 이 값이 설정한 값을 초과하면 경보를 발하고 PSS를 정지시킨다. 운전 중에 경보회로의 시험이 가능하고 경보 발생후 Reset은 반드시 수동으로 한다. 구체적인 회로의 구성은 다음과 같다.

- (1) 상부 주파수 차단 필터 연산기
- (2) Positive/Negative Absolute Value 연산회로
- (3) Trip Reference 설정기
- (4) 신호 Comparator 및 Photo Coupler 구동 회로
- (5) 기타 경보 및 PSS 신호 차단 Logic

1.2.6 Washout and Output

Washout and Output 회로는 PSS내의 각 부품들의 drift 효과와 천천히 변화하는 계통 주파수 변화에 대해서는 PSS가 동작하지 않도록 즉 AVR에 신호를 보내지 않도록 한 것이다 부가된 기능으로는 영향을 제거하기 위해서 발전기가 규정치를 벗어난 과 전압이나 저 전압시에는 PSS 신호 OFF 할 수 있는 기능을 갖는 보오드이다.

1.2.7 Ceiling Sensing Board

Ceiling Sensing Board는 정해진 시간 내에 설정한 값 이상으로 PSS의 출력 값이 커지면 PSS 신호가 이상이 있는 것으로 간주해서 시스템이 고장이라고 간주하고 여자시스템에 보내는 출력을 차단한다. 그 후 일정 시간이 지나서 PSS 출력 값이 정상치로 회복되면 수동으로 Reset 한 후에 PSS 출력이 여자시스템으로 다시 입력되도록 하는 제어 보오드이다. Washout and output board의 출력 신호를 입력신호로 받는다. 이 입력신호가 설정한 값 이상으로 상승하던지 하강하면 비교기에서 이를 검출하여 로직을 동작시키고 Washout and output board내에 있는 static switch에서 Washout and output board의 출력 신호를 차단하는 것이다.

1.2.8 Power Supply Board

Rack Mount형의 전원공급장치를 사용하며 115V 교류를 변압기를 사용해서 적정전압으로 강압한 다음 이를 다이오드 전파 정류한 다음 Voltage Regulation한다. 과전압 억제용 crow-bar를 가지고 있다.

1.2.9 Relay Board

PSS와 여자시스템간에 서로 다른 전압레벨을 연결시켜주는 보오드이며 PSS 신호 출력값을 지시하는 지시계를 구동한다. 다음은 이 보오드가 갖고 있는 주요 기능을 나타낸 것이다.

- (1) PSS 신호 ON/OFF Interface
- (2) M1 meter : PSS 출력신호 지시용
- (3) PSS ON/OFF Interlock 52G 투입시 동작
- (4) 과도시에는 PSS OFF
- (5) 신호 크기를 맞추어주는 Interfacing 저항
- (6) 신호 투입/차단시 Bumpless 절환 회로

1.3. 실험결과

1.3.1 Step Response 실험

PSS 시스템의 Signal Conditioning 카드, Five Stage Cascade Band Reject Filter, Band Pass Filter, Washout 카드의 시간 응답 특성을 확인하기 위해 입력단에 계단 신호를 인가하고 각 카드 출력단에서 신호를 트랜스 레코더를 이용하여 측정하였다. 그림 2는 전력계통 안정화 장치의 입력단에 Step 신호를 주어 출력단에서의 파형을 측정한 것이다. 그림 3은 전력계통 안정화 장치의 Jogging 시험 결과이다.

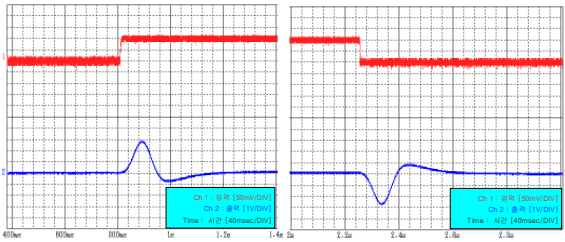


그림 2 전력계통 안정화 장치 Step Response 시험
Fig. 2 Step Response Test for Power System Stabilizer

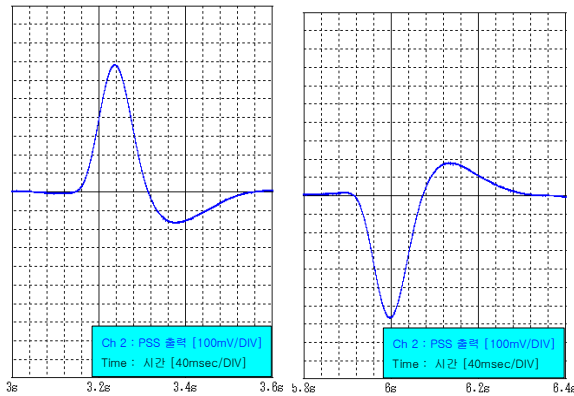
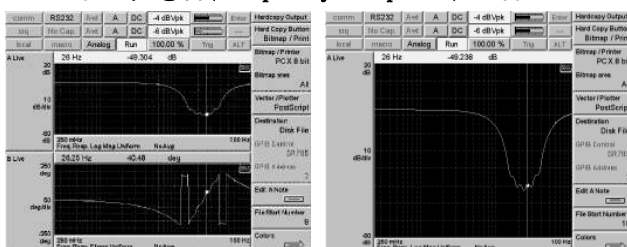


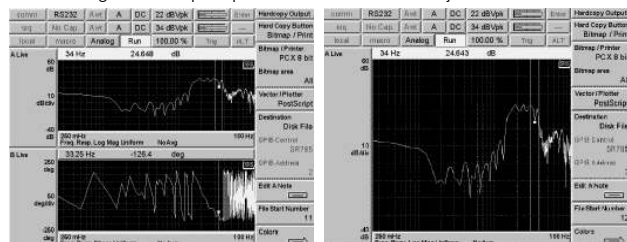
그림 3 전력계통 안정화 장치 Jogging 시험
Fig. 3 Jogging Test for Power System Stabilizer

1.3.2 주파수 응답(Frequency Response) 실험



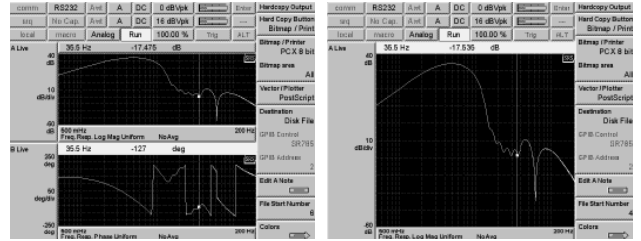
(a) 게인/위상 응답 특성 (b) 게인 응답 특성
그림 4 대역 저지 필터 보드 주파수 응답 시험

Fig. 4 Freq Response Test for Band Reject Filter



(a) 게인/위상 응답 특성 (b) 게인 응답 특성
그림 5 대역 통과 필터 보드 주파수 응답 시험

Fig. 5 Freq Response Test for Band Pass Filter



(a) 게인/위상 응답 특성 (b) 게인 응답 특성

그림 6 전력계통 안정화 장치 주파수 응답 시험

Fig. 7 Freq Response Test for Power System Stabilizer

그림 4-7은 전력계통 안정화 장치의 주파수 응답 시험 결과이다. 전력계통 안정화 장치 카드들의 이득 및 위상차 특성을 확인하기 위해서 주파수 신호를 인가해서 출력 응답을 계측기에서 보드 선도로 분석한 하였다. 전력계통 안정화 장치의 각 보드들의 시험결과는 GE사 3S7932LA300 모델의 데이터 시트와 동일한 결과를 얻어 건전성을 확인하였다.

3. 결론

전력연구원은 한국남동발전주식회사 삼천포화력 6호기 계획예방정비공사('07.03.14-04.19) 기간 중 여자시스템 계통 안정화 장치(PSS : Power System Stabilizer)의 Off-Line 시험(발전기 계통연계 前 시험)을 실시하였다. 아날로그 방식 제어시스템의 건전성 평가를 위하여 시간영역과 주파수영역에서 시험을 실시하였고 그 결과는 다음과 같다.

- 1) Speed Transducer 보드 : Magnetic Pickup 으로부터 오는 4800Hz 신호를 단자에 시험용 주파수 신호(5 Vpp 싸인파)를 4320 - 5400 Hz 범위에서 120Hz 씩 변화 시키면서 카드 출력을 측정된 결과 매뉴얼의 내용대로 측정되었음.
- 2) Signal Conditioner, Five Stage Cascade Band Reject Filter, Band Pass Filter, Washout 보드의 시간 응답 및 주파수 응답 특성 시험결과 각 보드의 전달함수 특징을 보였고, 발산하는 이상 현상은 없었음.
- 3) PSS의 주요 보호기능 및 Trip 신호 회로의 동작 유무를 확인 시험을 실시하였고, 그 결과 셋팅 값에 따라 정상 동작하였음.
- 4) Speed Pick-up 신호(TBN 3600rpm 도달시 480Hz 검출됨)에 의한 PSS의 최종 Test는 Jogging Step 시험을 실시하여 보드의 건전성을 확인하였음.

참고 문헌

- [1] Kunder, "Application of Power System Stabilizers for Enhancement of Overall System Stability", IEEE Trans, pp. 614-626, 1989
- [2] Y. N. Yu, "Direct Power System Stabilizer Design for Optimal Performance of Multimachine Power Systems", Proc. IFAC Symp. Power Systems and Power Plant Control, Beijing, China, 1986, pp. 107-112
- [3] T. Hiyama, "Application of Neural Network to Real Time Tuning of Digital Type PSS", Proc. of IPEC 93