

## 서인천 복합화력 발전소의 PSS 파라미터 Tuning

신정훈<sup>o</sup> 김태균  
한국전력공사 전력연구원

### Field test Results for PSS Parameter Tuning in Seo-Incheon Power Plant

Jeong Hoon Shin<sup>o</sup> Tae Kyun Kim  
Korea Electric Power Research Institute(KEPRI)

**Abstract** - Static excitation systems with high gain and fast response times greatly aid transient stability, but at the same time tend to reduce small signal stability. The objective of the power system stabilizer(PSS) control is to provide a positive contribution to damping of the generator rotor angle swings, which are in a broad range of frequencies in the power system. Therefore, this paper shows the field test results for the GE's EX2000 PSS tuning on units at Seo-Incheon power plant. The test is to verify that the PSS response meets GE's design criteria. The responses of generator terminal voltage, active power, field voltage and current were analyzed and PSS gain was tuned by 10 finally.

아날로그 제어회로를 모두 디지털 프로그램으로 만들어 반도체 소자에 장착한 것으로, 기능은 기존의 AVR과 동일하다. 동작은 발전기 단자전압과 전류를 디지털로 변환하고, 이 신호로 부터 내장된 제어 프로그램에 의해 출력값을 얻고, 다시 아날로그로 바꾸어 계자용 정류기를 제어하여 적절한 단자전압을 유지한다. 디지털 AVR에서 PSS의 Tuning은 프로그램의 파라미터를 정해주는 과정이라 할 수 있다. EX2000에는 내부적으로 디지털 측정장비가 내장되어 있어 시험 중에 원하는 측정 항목들을 얻을 수 있는 장점을 갖고 있다. 그림 1은 PSS Tuning을 위한 주요 제어블록을 나타내었다. 일반적으로 PSS를 튜닝하는 작업은 그림에서 Gain K와 두 개의 Lead/Lag 시정수 그리고 출력한도(Limits)를 정하는 것이다.

#### 1. 서 론

최근 발전기 단자전압을 정류하여 여자기 전원으로 사용하는 소위 속응성의 정지형 여자기의 적용이 확산되면서 나타나기 시작한 계통의 진동 문제는 일상적인 미소한 계통변화에도 진동이 지속 또는 확대되는 이른바 정태안정도의 원인이 되고 있다. PSS(Power System Stabilizer)는 전력계통의 정태안정도를 향상시키기 위한 장치로서, PSS 출력이 발전기의 자동전압조정장치(AVR)에 보조신호로 입력된다. 원래 AVR은 발전기의 단자전압을 일정하게 유지시키는 것이 주 임무이지만, PSS를 적용함으로써 발전기 속도변동 안정을 위하여 AVR 기능의 일부(약 10%)를 사용하게 된다. 즉, PSS는 발전기 회전자 속도에 진동이 발생하면 이 신호를 입력으로 사용하여 적절한 제어신호를 AVR에 보내고, AVR은 계자전압을 조정함으로써 회전자와 고정자 간의 상호 전자력이 변화하여 결국 회전자의 진동을 감소시키는 원리이다. 본 논문은 서인천 복합화력 발전소 3.4 단지의 가스터빈 발전기(13호기)와 스팀터빈 발전기(9호기)에 설치된 전력계통 안정화장치(PSS)의 파라미터 Tuning을 위하여 실시한 시험결과에 관한 것으로서, 계통 안정도 해석에 의해 미리 Tuning한 PSS 이득상수를 현장에서 검증하기 위하여 이득상수의 값을 10에서 40까지 변화시키면서 PSS의 동작효과를 확인하고 이득상수를 최적으로 미소조정(Calibration) 하였다.

#### 2. PSS 파라미터 Tuning 시험

서인천 복합화력 3.4 단지에는 가스터빈발전기가 8기, 스팀터빈발전기 4가 있으며, 가스터빈발전기 2기당 스팀터빈발전기 1기가 1조를 이루고 있다. 발전기들은 각각 200MVA, 18.0/345kV 승압변압기를 통해 345kV 모선에 연결되어 있다. 그리고 미국 GE사가 개발한 디지털 방식 EX2000 여자기는 발전단 모선에서 1500KVA, 480V 변압기를 통해 입력신호를 제공받는 Bus-fed 방식으로 되어 있다. 디지털 AVR은 기존의

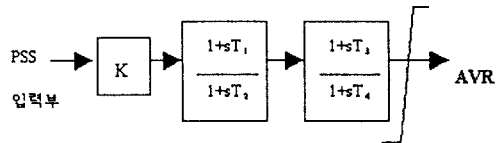


그림 1. PSS Tuning을 위한 주요 제어블록

#### 2.1 PSS Tuning 시험과정

본 시험은 발전기를 역률 1.0의 기준부하(Base load) 상태로 한 다음, PSS가 OFF 상태인 경우와 ON 상태인 경우를 나누어 개스터빈발전기(G/T)와 스팀터빈발전기(S/T)에 대하여 각각 실시한다. 시험과정은 아래와 같다.

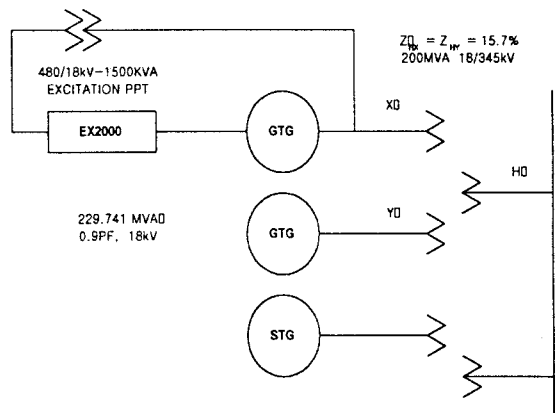


그림 2. 서인천 복합화력 3.4단지 발전소의 개략도

- ① PSS가 OFF 상태에서 내장된 프로그램을 사용하여 AVR의 기준신호를 Step으로 2%와 3% 변경한 직후의 발전기 단자전압과 유효전력 출력, 계자전류 및

- 계자전압의 변동을 기록한다.
- ② PSS가 ON 상태에서 AVR의 기준신호를 Step으로 2%와 3% 변경하여 기록한다.
  - ③ PSS가 ON 상태에서 PSS의 이득상수 값을 바꾸면 제어신호 출력이 바뀌므로 진동억제 효과가 달라지는 데, 진동을 적절히 감소시키면서도 정상 운전시의 전압조정 역할을 충실하게 수행할 수 있는 이득상수의 값을 선택한다.
  - ④ PSS의 이득상수 값을 너무 크게 하면 진동을 빨리 감쇠시킬 수 있는 반면, 정상 운전시에도 전압과 무효전력에 미소한 변동이 나타나므로, 유효전력 출력의 진동감쇠 결과와 전압진동의 결과를 비교하면서 최종값을 결정한다.

본 시험에서는 상기와 같은 방법으로 이득상수의 값을 10, 20, 30, 40으로 조정하면서 시험을 실시하였으며, 최종적으로 G/T, S/T 발전기 모두 10으로 Tuning하여 최적 효과가 나오도록 조치하였다.

### 2.1.1 AVR Step 응답시험(기준부하시, PSS-Off)

이 시험은 발전기가 역률 1.0, 정격출력의 90%(기준부하)로 운전하고 있을 때, step 변화에 대한 발전기의 응답을 검토하는 것이다. step 변화는 AVR 기준에 대하여 2%와 3%를 증가시켜 10초동안 지속시키고, 이후에는 초기상태로 복귀시키도록 한다. 이러한 변화는 345kV 모선측에서 보면 매우 적은 변화가 된다. 본 시험에서는 PSS가 on 인 상태와 off 인 상태를 나누어 Step 응답시험에 대하여 각각 발전기 계자전압(Field voltage), 계자전류(Field current), 단자전압(Terminal voltage), 유효전력(Active power)을 EX2000의 출력단자에 연결된 chart recorder를 이용하여 측정하고, 발전기 응답특성을 검토한다.

### 2.1.2 PSS 이득여유 시험(기준부하시)

이 시험의 목적은 일련의 이득 상수 조정을 통하여 PSS 이득상수의 값을 Tuning 하고자 할 때, 이득여유(Gain margin)가 시스템 설계 요건을 만족하는가를 평가하는 데 있다. 불안정 이득상수를 결정하기 위한 방법은 먼저 이득상수의 값을 낮게 하여 PSS를 운용하고, 이후 발전기의 전압, 유효전력 및 계자전압 등의 변화를 관찰하면서 이득상수의 값을 점차 증가시킨다. 이득상수의 값을 점차 증가시키기에 따라 진동이 점차 증가하여 불안정 점에 도달할 때, PSS를 out of service 한다. 만일 PSS 이득상수의 값을 계속 증가시켜도 진동이 증가하지 않는다면 이득상수의 값을 계획된 정규 이득상수 값의 약 2배까지 증가시키고 이득여유 시험을 종료한다.

## 2.2 PSS Tuning 시험결과

### 2.2.1 Unit 401에 대한 시험결과

그림 3(a)는 발전기의 출력이 150MW이며, PSS는 off 상태일 때, AVR 기준의 2%를 Step으로 가한 경우의 스텝터빈 발전기의 응답특성을 나타낸 것이다. 시험결과 PSS가 off이어도 local mode 진동(1.25Hz)이 적절히 감쇄되는 것을 알 수 있다. 2% Step 응답시험 결과 발전기의 무효전력 응답으로부터 계통 임피던스는 16.7%로 계산된다.

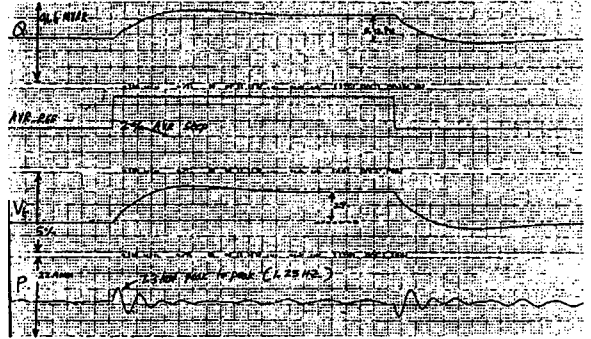
$$AQ=0.12 pu, \Delta V=0.02 pu, X=\frac{\Delta V}{AQ}=16.7\%$$

그림 3(b)는 같은 조건에 대하여 AVR 기준의 3%를 Step으로 가한 경우의 발전기 응답특성이다. 이 시험으로부터 계자전압과 단자전압이 관측되며, 이 두 개의 정

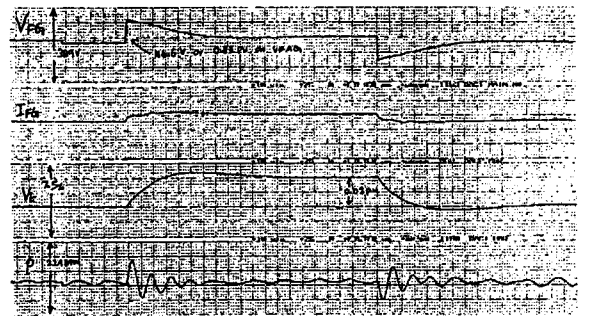
보로부터 AVR의 과도이득이 27pu임이 계산된다.

$$\Delta V_{FC}=0.83pu, \Delta V_t=0.03pu,$$

$$AVR T.G.=\frac{\Delta V_{FC}}{\Delta V_t}=27pu$$



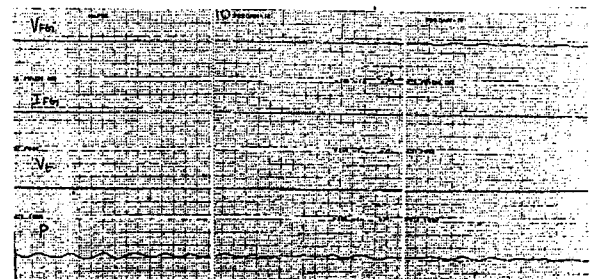
(a) AVR 2% step 응답곡선



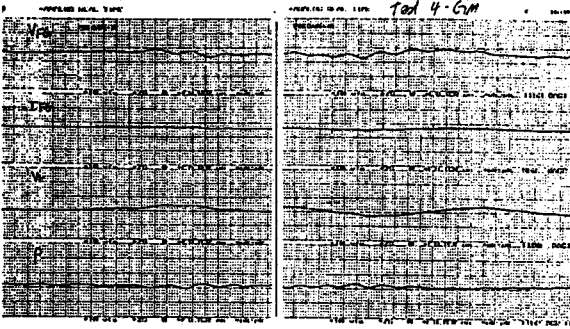
(b) AVR 3% step 응답곡선

그림 3. Unit 401의 AVR step 응답곡선  
(발전기 출력 150MW, PSS Off)

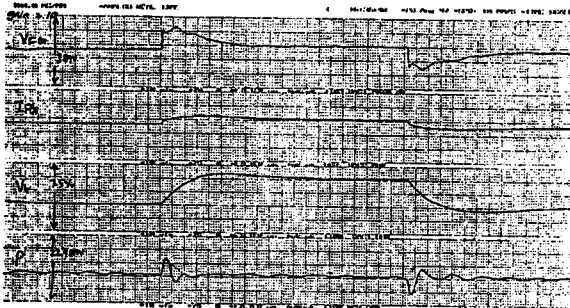
그림 4(a)와 (b)는 이득여유 시험(Gain Margin Test)의 결과이다. PSS의 이득상수 값은 0(off 상태)에서 40 까지 서서히 증가하도록 하였다. 그림에서 보는 바와 같이 PSS의 이득을 증가시키기에 따라 local mode의 뎀핑이 증가(진동개선)하게 되지만, 단자전압은 오히려 악화되고 있다. 그리고 PSS의 이득상수의 값을 더욱 높게 하더라도 여자시스템의 안정에는 큰 변화가 없었다. 그림 5(a)는 PSS의 이득상수 값을 10으로 하고 PSS를 on 상태로 하였을 때, 3%의 Step에 대한 스텝터빈 발전기의 응답특성을 나타낸 것이다. 그림 3(b)와 그림 5(a)를 비교하면 알 수 있듯이 PSS를 on 상태(이득상수의 값을 10)로 하여 운전하는 경우, local mode 진동이 더욱 잘 감쇄되고 있다.



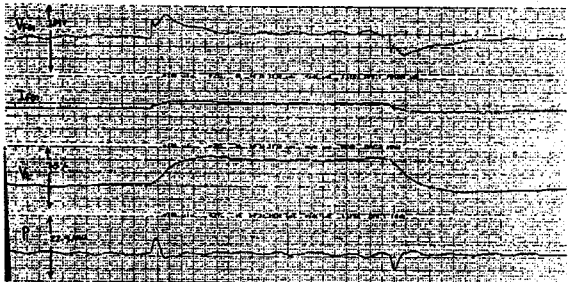
(a) PSS Gain (0~20) Margin Test



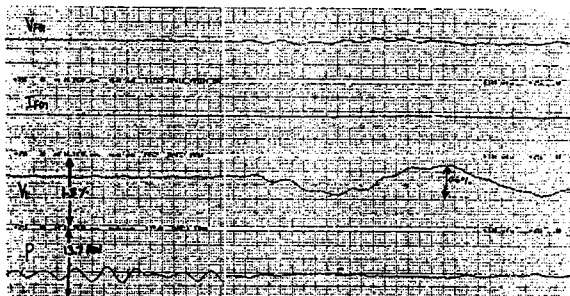
(b) PSS Gain (30, 40) Margin Test  
 그림 4. Unit 401의 Gain Margin Test



(a) PSS gain=10 pu



(b) PSS Gain=20 pu



(c) PSS Gain=30

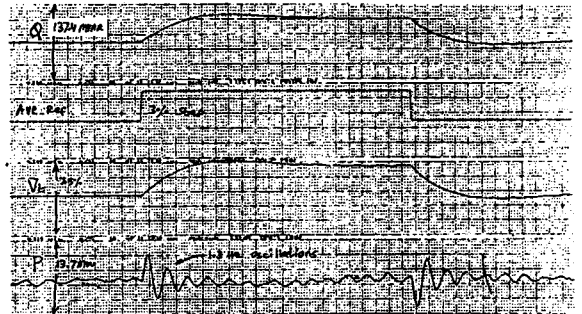
그림 5. PSS Gain값 변화에 따른 응답특성  
 (발전기 출력 150MW, AVR 3% step)

그림 5 (b)는 PSS의 이득상수 값을 20으로 하고 PSS를 on 상태로 하였을 때, 3%의 Step에 대한 스티터빈 발전기의 응답특성을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 (a)(이득상수의 값은 10)에 비하여 댐핑은 매우 개선되었지만 단자전압과 계자전압이 오히려 악화되었

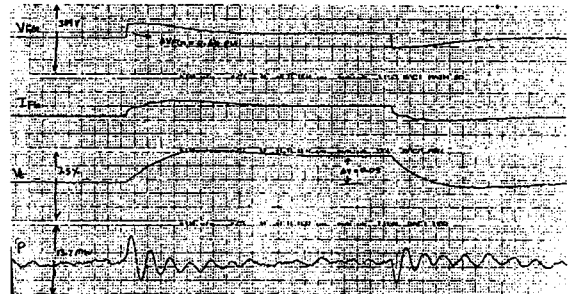
다. PSS의 이득상수 값을 더욱 높은 값으로 정정할수록 local mode 댐핑은 증가하지만 단자전압과 계자전압은 더욱 악화되게 된다. 그림 5(c)는 PSS의 이득상수 값을 30으로 하고 PSS를 on 상태로 하였을 때, 3%의 Step에 대한 스티터빈 발전기의 응답특성을 나타낸 것이다. (c)로부터 PSS의 이득상수 값을 0으로 하였을 경우에는 단자전압이 일정하지만 local mode 진동(1.3Hz)이 존재하고, PSS의 이득상수 값을 30으로 하였을 경우에는 local mode 댐핑은 매우 향상되지만 단자전압이 매우 악화됨을 알 수 있다. 따라서 PSS의 이득상수 값을 결정할 때, 댐핑의 증가와 단자전압의 악화라는 상관성을 주의하여 고려해야 된다.

### 2.2.2 Unit 301에 대한 시험결과

그림 6(a)는 발전기의 출력이 140MW이며, PSS는 off 상태일 때, AVR 기준의 2%를 Step으로 가한 경우의 개스터빈 발전기의 응답특성을 나타낸 것이다. 시험결과 PSS가 off이어도 local mode 진동(1.3Hz)이 적절히 감쇄되는 것을 알 수 있다. 발전기의 무효전력 응답으로부터 계통 임피던스는 16.7%로 계산된다. (b)그림은 같은 조건에 대하여 AVR 기준의 3%를 Step으로 가한 경우의 발전기 응답특성이다. 이 시험으로부터 계자전압과 단자전압이 관측되며, 이 두 개의 정보로부터 AVR의 과도이득이 21.5pu임이 계산된다.



(a) AVR 2% step 응답곡선



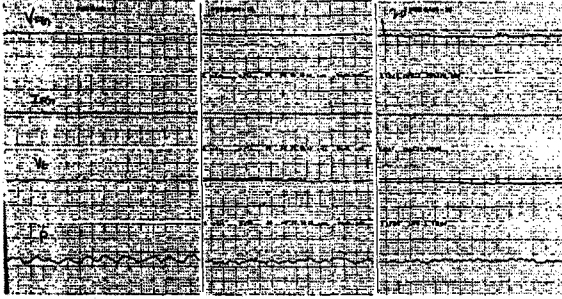
(b) AVR 3% step 응답곡선

그림 6. Unit 301의 AVR step 응답곡선  
 (발전기 출력 140MW, PSS Off)

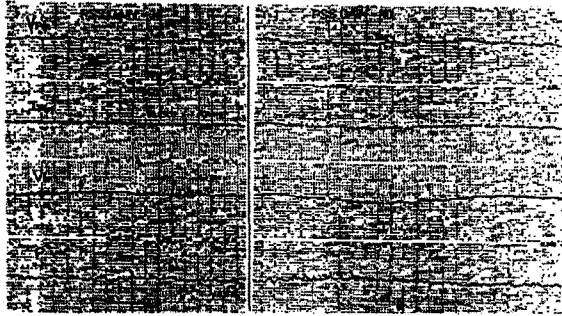
그림 7(a)와 (b)는 이득여유 시험의 결과이다. PSS의 이득상수 값은 0(off 상태)에서 40까지 서서히 증가하도록 하였다. 그림에서 보는 바와 같이 PSS의 이득을 증가시키에 따라 local mode 댐핑이 증가하게 되지만, 단자전압은 오히려 악화되고 있다. 그리고 그림 3.2a와 3.2b와 같이 PSS의 이득상수의 값을 더욱 높게 하더라도 여자시스템의 안정에는 큰 변화가 없었다.

그림 8은 PSS의 이득상수 값을 10으로 하고 PSS를 on 상태로 하였을 때, 3%의 Step에 대한 개스터빈 발전기의 응답특성을 나타낸 것이다. 그림 6(b)와 그림 8

을 비교하면 알 수 있듯이 PSS를 on 상태(이득상수의 값은 10)로 하여 운전하는 경우, local mode 진동이 더욱 잘 감쇄되고 있다.



(a) Gain Margin(0,10,20) Test



(b) Gain Margin(30,40) Test

그림 7. Unit 301의 Gain Margin Test

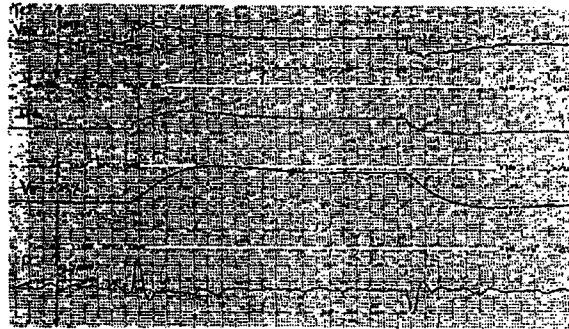


그림 8. AVR 3% step 응답곡선  
(발전기 출력 140MW, PSS gain=10pu)

### 3. 결론 및 고찰

서인천 복합화력의 PSS 파라미터 Tuning은 현장시험을 통해, 발전기의 진동억제를 위한 최적 효과가 나타나도록 PSS의 이득상수 값을 결정하였다는데 의미가 크다. 아울러 디지털 AVR을 사용하는 EX2000의 경우 시험의 편리함과 Tuning 과정의 단순함을 얻을 수 있다는 큰 장점을 확인할 수 있었다. 본 시험에서는 서인천 복합화력 3, 4 단지의 G/T 8기와 S/T 4기 중 각각 1기씩만을 대상으로 시험을 행하였으므로, 운전조건이 유사한 나머지 발전기들의 이득상수 값은 본 시험에서 얻은 값들을 그대로 적용하되, 설치 후 본 시험에서 실시한 바와 같이 AVR 기준신호를 변경한 후의 발전기 단자전압과 유효전력 출력, 계자전압 및 계자전류의 변동을 기록하여 PSS 동작성능을 확인하는 것이 필요하다. 서인천 복합화력 1, 2 단지의 경우와 같이 아날로그 AVR과 PSS가 사용되는 경우는 본 시험과는 전혀

다른 Tuning 과정을 거쳐야 하며, 특히 발전기의 정확한 모델링과 아날로그 PSS의 조정기술 및 적절한 계측장비가 요구된다. 본 시험에서 행한 PSS 정수의 Tuning은 발전기 및 계통의 진동주파수가 0.2-2Hz인 경우에 유효하도록 하였으며, 앞으로도 계통특성의 변화와 함께 효과분석 및 Tuning 제조정의 필요성을 면밀히 검토하는 것이 바람직하다. PSS의 운전은 계통에 나타날 수 있는 진동을 신속히 제거함으로써 계통의 안정도를 향상시키는 물론 발전기 자체의 보호를 위해서도 전 계통으로 확대 적용 필요가 있다. 본 시험은 향후 계통에 나타나는 진동의 조기 감쇠를 위하여 확대 적용해야 할 PSS Tuning 기술의 향상을 위하여 좋은 기회가 되었으며, 특히 PSS 적정정수의 결정을 위한 현장 검증 기술을 확보할 수 있었다.

### (참 고 문 헌)

- [1] P.Kundur, D.C. Lee, H.M.Zein El-Din, " Power System Stabilizer for Thermal Units: Analytical Techniques and On-Site Validation, " IEEE Trans. PAS, Jan. 1981
- [2] E.V. Larson and D.A. Swann, " Applying Power System Stabilizers Part I : General Concepts " IEEE Trans. PAS, June 1981
- [3] E.V. Larson and D.A. Swann, " Applying Power System Stabilizers Part II : General Concepts " IEEE Trans. PAS, June 1981
- [4] E.V. Larson and D.A. Swann, " Applying Power System Stabilizers Part III : General Concepts " IEEE Trans. PAS, June 1981
- [5] F.P. deMello, L.N. Hannett, J.M. Undrill, " Practical Approaches to Supplementary Stabilizing from Acceleration Power " IEEE Trans. PAS, Vol. 97, Sep/Oct 1978
- [6] T.K Kim, J.H. Shin, "Field test results for PSS Tuning", TM1998.26, KEPRI