

전력계통안정화장치(PSS)의 수력발전소 적용분석

옥연호, 임재일, 박지훈, 곽원구, 이광연
한국수자원공사

The Application Analysis of Power System Stabilizer in Hydraulic power plant

Ok Yeon Ho, Lim Jael Il, Park Ji Kun, Kwak Won Ku, Lee Kwang Yeon
Hydropower Plant Maintenance Team. Chungju Regional Office. Korea Water Resources Corporation

Abstract - Recently with increase consumption of electric power, the scale of the electric system becomes bigger and complex. Then, it is increasing the hardship in the operation of electric system and the continuance of stability. Especially, as the differences between demand and supply in electric power keeping low frequency oscillating attenuation from electric power have been very important in the continuance part of stability. The more control time of electricity system is getting faster with digitalization the more stability of electricity system is getting worse. As solutions of these problems, by establishing Power System Stabilizing Controller putting PSS output signal and putting damping to vibration of the rotor at generators's AVR in area where is oscillated, We are willing to contribute the electricity system by holding in generator output vibration.

은 정상상태에서 미소 외란 발생 시 여자의 부제동 현상에 의해 저주파 동요가 발생하고 이 동요에 의해 발전기는 진동이 발생되며 축의 길이가 긴 화력발전기 경우, 축 뒤틀림 현상이 일어나기도 한다. 여기서, 속응여자방식이란? 발전기 여자방식의 응답속도를 향상시킨 방식으로 계통의 부하급변 사고로 인한 시정수를 작게하고 정상전압을 높여 전압저하를 보상하는 여자제어방식으로 IEEE421에 “발전기의 어떠한 상태에서도 0.1초 이내에 ceiling 전압의 95% 까지 상승시킬 수 있는 제어 장치”를 속응여자로 정의되어 있다.

3.2 부제동(不制動) 현상

발전기 계통에서 외란이 발생하면 발전기 단자전압(V_t)이 변하고 오차신호(Δe)가 자동전압조정장치(AVR)에 가해져 여자전류를 제어한다.(그림3-1 참조)

1. 서 론

최근 전력 수요의 증가와 더불어 전력시스템의 규모는 대형화되고 구조는 복잡해짐에 따라 계통의 안전 운용 및 안정성 유지에 어려움이 증대되고 있다. 특히 전력의 수요와 공급이 지역적으로 편재함에 따라 전력계통에 발생하는 저주파 동요의 감쇠는 안정성 유지 측면에서 매우 중요시 되고 있다. 더욱이 전력계통에서 제어계통의 속도가 디지털화에 의해 더욱 증가하는 현 상황에서, 앞으로 전력계통의 안정도는 더욱 악화될 전망이다. 여기에 대한 대책으로 전력계통안정화장치를 설치하여 동요가 있는 지역의 발전기군의 자동전압조정장치에 PSS 출력신호를 가하여 발전기 회전자들의 진동에 댐핑을 줌으로써, 발전기 출력진동을 억제하여 전력계통에 기여하고자 한다.

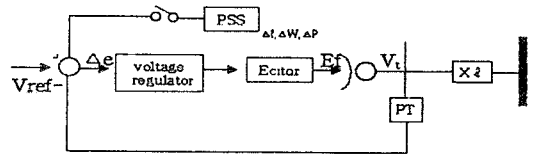


그림 3-1발전기 제어 계통도

이 경우 발전기 제자권선의 인덕턴스에 의해 제자전압을 변화시키기 위한 자속의 응답이 지연되어 위상지연이 발생하고, 이때 전압조정기의 작용력이 불완전 영역에 존재함에 따라 발전기의 진동이 크게 증가하는 부제동현상이 발생한다. 이는 전기적 시스템인 여자기 자체에 의한 부제동 현상이며, 기계적 시스템인 조속기와 여자시스템간의 속도제어 상이에 의한 부제동 현상이 발생한다.($F \neq N$)

2. 계통안정화장치(Power System Stabilizer) 정의

전력계통안정화장치는 주로 전력계통의 동태안정도를 향상시키기 위한 방안으로 사용되고 있으며, 전력동요를 억제하기 위해 보조안정화 신호(발전기 단자전압, 유효전력변화분, 주파수변화분, 속도변화분, 발전기가속력)를 발전기 여자시스템의 자동전압조정장치(AVR)에 부가하여 전력계통에서 미소 외란 발생시 여자의 부제동 현상에 의한 저주파동요를 억제하여 발전기 및 전력계통을 보호하기 위한 장치이다.

- 전압제어 : 계통의외란으로 주파수가 ΔF 만큼 변하였으나 여자가가 부제동 현상에 의해 변화분을 속응성 있게 보상을 못함.
- 속도제어 : 조속기는 속응성이 없어 현재의 속도유지

3. 저주파 동요 현상의 원인 및 PSS의 기능

3.1 저주파 동요 현상 발생 메커니즘

전력계통의 파도안정도 향상을 위해 설치된 속응여자방식

3.3 PSS의 기능

전력계통안정화장치(PSS)의 기능은 회전자의 회전속도 및 발전기의 기계적, 전기적 출력을 연속적으로 감시하여 계통 동요가 발생 시에 발전기 가속력을 계산하고 이에 상응하는 동요 억제력을 산출하여 자동전압조정장치(AVR)에 보조안

정화신호(발전기 단자전압, 전력변화분, 주파수변화분, 속도 변화분, 발전기가속력)을 주어 계자력을 강화시켜 발전기 여자전류를 제어함으로써 출력의 진동현상을 억제함.

4. 총주수력 자동전압조정장치(AVR)에 PSS기능 적용

4.1 Recalculation PSS Setting

Xe 값과 P,Q 값을 이용하여 최대-최소전달함수를 구하면 다음과 같다

1 RECALCULATION PSS SETTING

Parameter AVR.

Kp = 0.01
Ki = 25
Kd = 3

DETERMINATION / GEPIW / MAX - MIN

P=0.5 Q=0.5	Xe=0.25	Xe=0.41	Xe=0.5	Xe=0.75	Xe=1	
	0.00104	0.0009229	0.00084	0.00081	-0.000752	0.1
7.3214	0.4527	5.8934	4.6895	3.6377	Worst1	Z2
3.427	0.367	0.374	0.385	0.393	0.1	Z3
0.425	0.361	0.60	0.843	0.7	Worst2	Z4
1.173	0.8781	0.744	0.4831	0.265	TS*	Z5
1.2721	0.8704	0.8304	0.821	0.3519	K1	Z6
0.5716	0.6282	0.5082	0.4748	0.4531	K2	Z7
0.4000	0.6498	0.5773	0.539	0.625	K3	Z8
0.3338	0.3297	0.3148	0.2932	0.282	K4	Z9
-0.0425	-0.0828	-0.0731	-0.0687	-0.1143	K5	Z10
0.427	0.528	0.5731	0.6033	0.72	K6	Z11
1.4048	1.0013	0.8878	0.7154	0.6193	K2&K6	Z12
						GEPIW
P=0.650 Q=-0.650	Xe=0.25	Xe=0.41	Xe=0.5	Xe=0.75	Xe=1	
	0.0111	0.0103	0.00924	0.00571	0.00741	0.1
7.066	0.572	0.347	5.852	5.457	Worst1	
0.261	0.245	0.241	0.235	0.233	0.1	
0.469	0.535	0.571	0.637	0.625	Worst2	
0.42	0.3	0.242	0.131	0.05	TS*	
7.182	1.026	0.625	0.727	0.701	K1	
1.565	1.441	1.322	1.229	1.24	K2	
0.43	0.25	0.277	0.339	0.255	K3	
0.568	0.521	0.521	0.505	0.767	K4	
-0.05	-0.082	-0.098	-0.104	-0.102	K5	
0.306	0.226	0.431	0.489	0.542	K6	
6.109	3.641	3.232	2.622	2.238	K2&K6	
						GEPIW

K2/K6 MAX

	Xe=0.250	
P=0.650 Q=-0.650	6.109	K2&K6

K2/K6 MIN

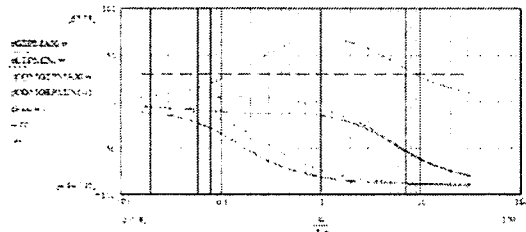
	Xe=1.000	
P=0.5 Q=0.5	0.6193	K2&K6

Transfer function GEPMAX (P=0.65, Q=-0.650; Xe=0.25) K2/K6=6.109:

$$\frac{3.452e-007 s^2 + 3.452e-010 s + 1.208e-009}{s^4 + 1e-007 s^3 + 1e-010 s^2 + 9.398e-009 s + 2.365e-008}$$

Transfer function GEPMIN (P=0.5; Q=0.5; Xe=1) K2/K6=0.6293:

$$\frac{0.6293e-003 s^2 + 0.6293e-009 s + 3.493e-008}{s^4 + 1e-007 s^3 + 1e-010 s^2 + 1.792e-010 s + 3.559e-008}$$



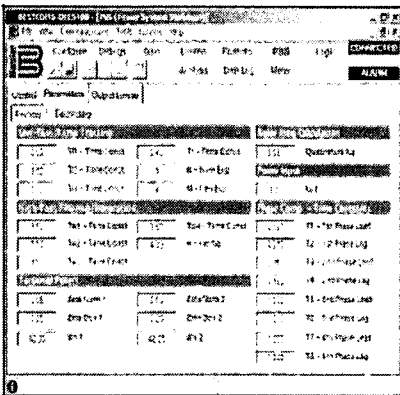
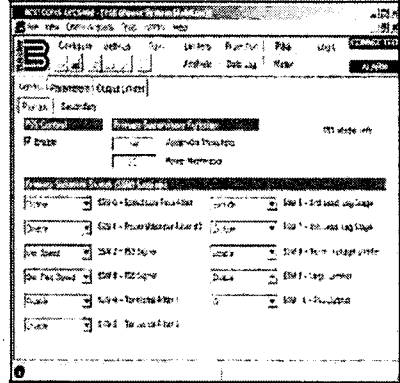
구해진 최대-최소 전달함수에 의해 위와 같은 선도에서 PSS 안정도를 판정한다.

4.2 총주 제1수력 자동전압조정장치(DECS-400)에 PSS Setting Value 적용

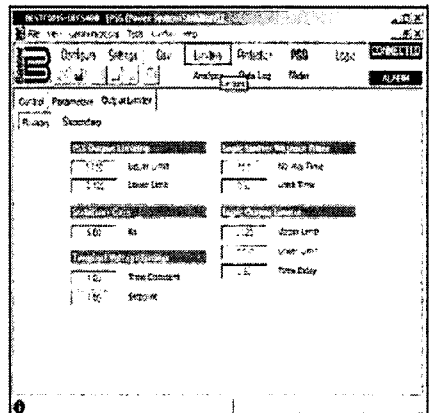
자동전압조정장치 DECS-400 시험 값을 아래와 같이 PSS 프로그램에 입력하면 4.3과 같은 결과를 얻을 수 있다.

2 BESTCOMS - DECS400 - PSS (POWER SYSTEM STABILIZER)

CONTROL - PRIMARY



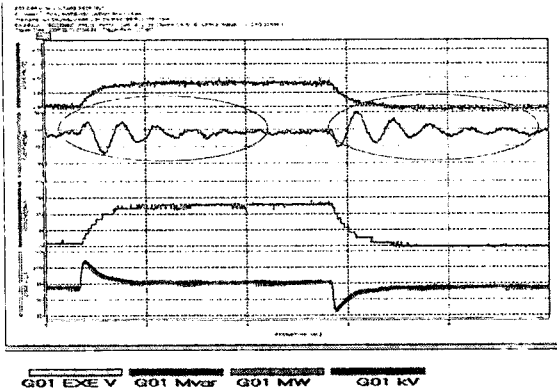
OUTPUT LIMITER - PRIMARY



4.3 PSS기능 ON, OFF적용 후 시험 Data

4.3.1 G01 PSS기능 OFF 후 Data

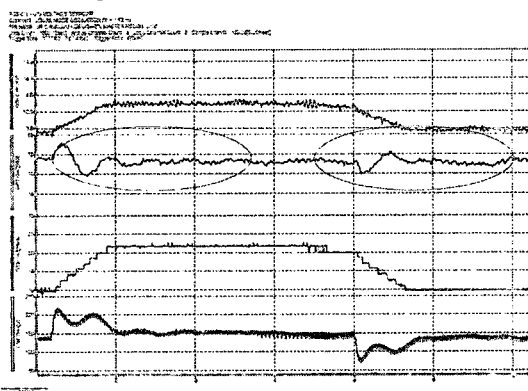
±2% Voltage Setpoint(발전기 정격전압 13.8kV)



발전기 정격전압에 2%를 더하여 전압을 인가하였을 때 출력에 동요가 있음을 보여준다.

4.3.2 G01 PSS기능 ON 후 Data

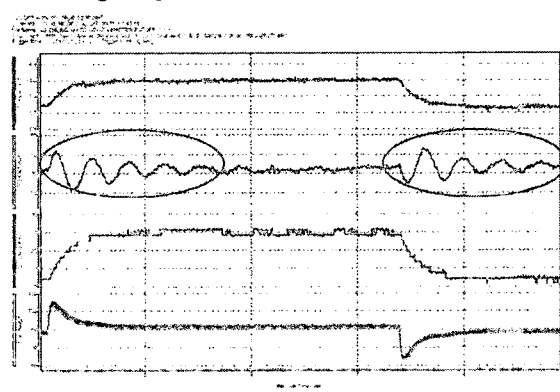
±2% Voltage Setpoint(발전기 정격전압 13.8kV)



PSS 기능을 ON 한 결과 출력 동요가 많이 억제됨을 보여준다.

4.3.3 G03 PSS기능 OFF 후 Data

±2% Voltage Setpoint(발전기 정격전압 13.8kV)

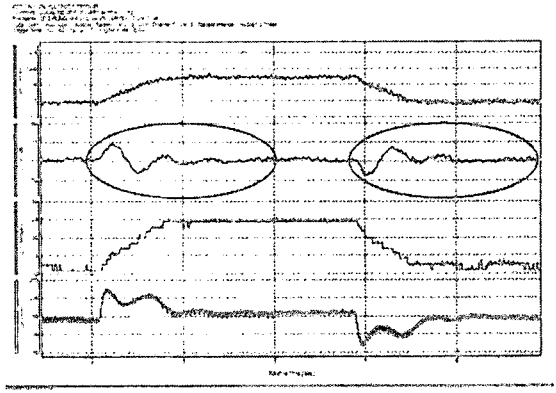


G03 EXE V G03 Mvar G03 MW G03 kV

발전기 정격전압에 2%를 더하여 전압을 인가하였을 때 출력에 동요가 있음을 보여준다.

4.3.4 G03 PSS기능 ON 후 Data

±2% Voltage Setpoint(발전기 정격전압 13.8kV)



G03 EXE V G03 Mvar G03 MW G03 kV

PSS 기능을 ON 한 결과 출력 동요가 많이 억제됨을 보여준다.

5. 결 론

전력계통의 과도안정도 향상을 위해 속응여자방식을 채택하였으나, 속응여자방식은 정상상태 시 미소 외란이 발생할 경우 여자의 부제동 현상에 의한 저주파 동요 발생으로 발전기에 진동현상이 발생하여 계통의 안정도를 저해시키고 있으며, 이러한 부제동 현상을 방지하기 위해 충주 제1수력은 자동전압조정장치(AVR)에 전력계통안정화장치(PSS) 기능을 추가하여 전력계통에 기여하고 있으며, 외국의 경우 전력계통안정화장치(PSS)에 동기조상기(SVC)를 조합하여 전력계통을 유연하게 제어함으로써 계통의 안정도를 더욱 향상시키고 있다.

[참 고 문 헌]

[1] 한국수자원공사: "충주수력 PSS Commission Test"p3-21