

전력계통 안정화장치(PSS)의 성능향상을 위한 입력신호 영향

허진* 김동준* 김태균** 신정호**
 *한국전기연구소 **한전전력연구원

The Effect of input signals for improving Power System Stabilizer(PSS) efficiency

Jin Hur Dong-Joon Kim
 KERI

Tae-Kyun Kim Jeong-Hoon Shin
 KEPRI

Abstract - This paper provides an analysis of the effect of input signals, such as acceleration power and generator shaft speed for improving Power System Stabilizer(PSS) efficiency. We consider a single machine and infinite bus system which is modeled by PSCAD/EMTDC. We choose an optimum stabilizer gain with respect to eigenvalue analysis and transient stability analysis to each input signal.

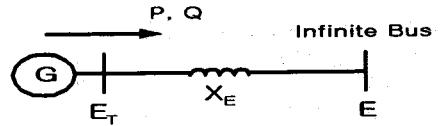


그림 1 1기 무한모선 계통 단선도(100MVA)

1. 서 론

최근 제작되는 발전기들은 전력계통의 과도안정도를 향상시키기 위하여 전압조정장치(Automatic Voltage Regulator)의 이득(Gain)을 크게 하고 있다. 전력계통 안정화장치(Power System Stabilizer 이하 PSS)는 이러한 발전기들의 여자시스템 제어를 통하여 전력계통에서의 진동을 감소시키는 보조적인 역할을 담당하고 있다. PSS의 주기능은 전력의 진동에 제동신호를 가하는 것이기 때문에 전력진동을 관측할 수 있는 모든 신호는 입력으로 사용할 수 있다. 초기 PSS 입력신호로는 발전기 축 속도가 많이 이용되었다. 그러나 발전기 축 속도를 입력으로 하는 PSS는 발전기의 축진동에 의한 필터 설계가 필수적이었고 필터에 의한 위상지연으로 그 성능이 다소 저하되었다. 최근에는 가속 추정할 수 있는 알고리즘 개발과 이것을 계산할 수 있는 혁신적인 디지털 기술에 의해서 가속력을 입력으로 하는 PSS가 개발되었다. 이러한 신호들을 입력으로 하는 PSS의 성능은 PSS 이득값 결정에 큰 영향을 받는다⁽¹⁾.

본 논문에서는 과도안정도 해석에 있어서 많이 이용되는 PSCAD/EMTDC(Electro-Magnetic Transient DC) 프로그램을 이용하여 1기 무한모선계통을 모델링하고 발전기 축 속도(generator shaft speed)와 가속력(acceleration power)을 입력으로 하는 PSS 안정화 회로에 일반적으로 사용되고 있는 전달함수를 이용하여 입력신호의 영향을 분석하였다. 입력신호에 대한 PSS 이득은 고유치 해석과 과도안정도 해석을 통한 최적 PSS 튜닝 파라미터값의 결과⁽¹⁾⁽²⁾를 이용하여 PSS의 성능을 EMTDC로 모의하였다.

2. 계통 모델링

2.1 1기 무한모선의 구성

입력신호에 대한 PSS 성능을 고려하기 위해서 그림 1과 같이 송전선로 임피던스 0.2 p.u.를 갖는 1기 무한모선 계통을 이용하였다⁽³⁾. 주어진 발전기 모델정수는 직축에 댐핑권선이 1개, 횡축에 댐핑권선이 2개인 고차 모델로 각각의 발전기 모델 정수를 표 1에 나타내었다. 계통이 과도상태를 거쳐 정상상태에 도달하면 발전기 출력은 95(MW), 31.2(MVar)로 정격으로 운전하게 된다. 계통의 기준은 100(MVA), 13.8(kV)이고 계통주파수는 60(Hz)로 운전된다. 1기 무한모선 계통의 정상상태 값(Steady-State Value)을 표 2에 나타내었다.

표 1 발전기 모델 정수 (100MVA)

정수	정수값	정수	정수값
X_d	1.75	X_q''	0.24
X_d'	0.285	T_{do}	5.2
X_d''	0.24	T_{do}'	0.011
X_l	0.14	T_{qo}	1.96
X_q	1.68	T_{qo}'	0.053
X_q'	0.47	H(D)	3.0(0.0)

표 2 정상상태 값(Steady-State Values)

External System(p.u.)		Generator(p.u.)		
X_E	E	P	Q	E_T
0.2	0.9566	0.950	0.312	1.0

2.2 EMTDC 모델 구현

1기 무한모선 계통을 과도안정도 해석에 있어서 많이 이용되는 PSCAD/EMTDC 프로그램을 이용하여 계통을 모델링하고 그 결과를 그림 2에 나타내었다. 구성된 EMTDC용 1기 무한모선계통을 이용하여 각각의 입력신호에 대한 PSS의 성능을 해석한다. EMTDC에서 모의 가능한 발전기는 두 가지 종류가 있다. 그 중에서 수력을 모의하는 발전기 모델(MAC 100)을 이용하였다. MAC 100 모델은 회전자의 형태가 돌극기(Silent Pole)인 모델로서 여자의 출력인 여자전압 E_f , 터빈의 출력 ω , 조속기의 출력 T_m 을 받아들여 여자전류 I_f , 전기적 토크 T_e 및 기계적토크 T_m 을 출력한다. 여자기(Exciter) 모델은 IEEE type SCRC(Solid State) Exciter 모델로 그림 3과 표 3에 각각 제어도와 모델정수를 나타내었다.

표 3 여자기 모델정수

정수	정수값	정수	정수값
TA	1	TB	10
TE	0.02	K	400
E _{max}	7.3	E _{min}	-7.3

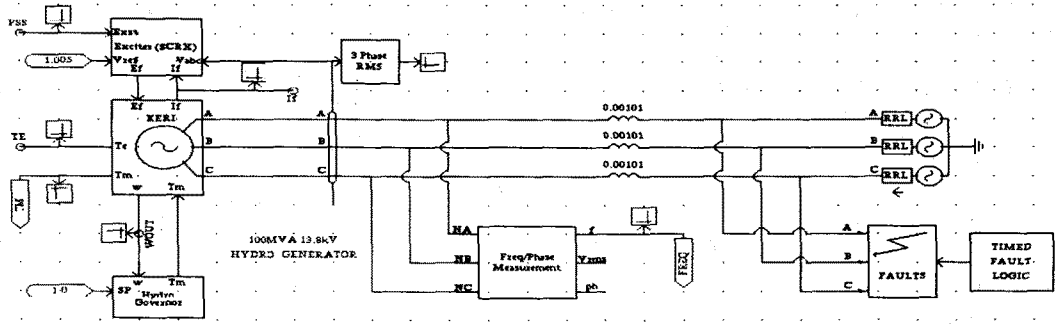


그림 2 PSCAD/EMTDC를 이용한 1기 무한모션 모델링

이득, Tw는 washout 시정수 그리고 T1~T4는 PSS의 특성을 결정하는 시정수를 나타낸다.

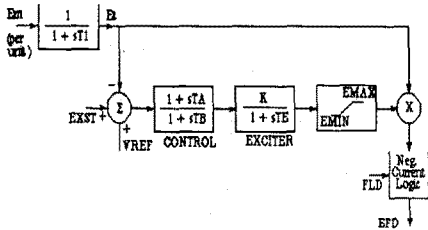


그림 3 여자기 모델 SCRC Exciter

3. PSS 제어회로 구성 및 EMTDC 모델 구현

AVR의 기준 전압조정을 통한 PSS의 제동효과를 얻기 위하여 사용될 수 있는 신호들 중에서 속도, 가속력, 단자전압, 계자전류, 무효전력등 다양한 변수들이 있다. 그러나 이들 중 속도와 전력변수들만이 운전상황에 관계없이 기본 특성들을 유지하므로 안정화에는 이들 신호를 많이 사용하고 있다. 본 논문에서는 발전기 축 속도와 가속력을 입력으로 하는 PSS의 일반적인 제어회로를 이용하여 그 성능을 살펴보고자 한다.

3.1 입력신호에 따른 PSS 제어회로의 구성

3.1.1 발전기 속도(w)를 입력하는 PSS

속도를 입력으로 하는 경우 첫 번째 블록은 High Pass Filter 기능을 하는데 저주파 현상에 대해서는 동작하지 않으며 정상상태 운전상황에서는 아무런 영향을 주지 않는다. 여자시스템의 지연보상을 위하여 2개의 지상/진상회로의 zero/pole을 조정한다. 발전기 속도를 입력으로 하는 기본적인 PSS 제어회로를 그림 4에 나타내었다.

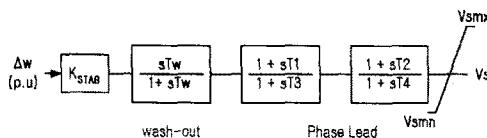


그림 4 속도를 입력으로 하는 PSS

3.1.2 가속력(Pa)를 입력하는 PSS

발전기에서 가속력과 속도의 관계는 다음의 식으로 표현된다.

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{2H} (P_M - P_E) = \frac{1}{2H} P_a \quad (1)$$

여기서 가속력(Pa)란 기계적 토크(PM)과 전기적 토크(PE)와 차이를 말한다. 그러므로 Pa로 동작하는 PSS 제어회로의 구성은 그림 5와 같이 된다. KSTAB은 PSS

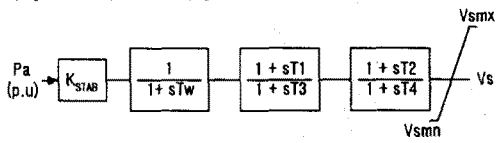


그림 5 가속력을 입력으로 하는 PSS

3.2 EMTDC를 이용한 PSS 모델링

PSS의 성능을 고찰하기 위해서 PSCAD/EMTDC를 이용하여 PSS module을 설계하고 그 효과를 살펴보았다. 그림 4와 5에 나타난 제어회로를 EMTDC 모델로 구현한 결과를 그림 6에 나타내었다. 그림 6에 나타난 PSS는 속도와 가속력을 입력으로 하고 각각의 선택 스위치('PARTAB')를 만들어서 모의시험(Simulation) 동안 속도와 가속력을 선택하여 할 수 있게 하였다. 속도와 가속력의 이득(Gain)은 'KSTAB1', 'KSTAB2'의 slider형태로 만들어 이득의 변화를 주면서 모의가 가능하도록 하였다. 각각의 입력신호에 대한 PSS 모델 위상보상 정수는 표4에 나타내었다.

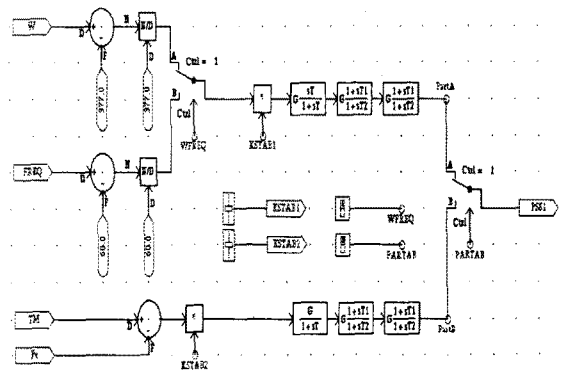


그림 6 PSS module 설계

표 4 PSS 모델 위상보상 정수

정수	정수값	정수	정수값
T1	0.290	T3	0.290
T2	0.029	T4	0.029
Vsmx	0.1 p.u.	Vsmn	-0.1 p.u.

4. PSCAD/EMTDC를 이용한 시뮬레이션

PSS의 성능을 고찰하기 위해 설정된 1기 무한모션 계통이 정상상태(Steady-State)에 도달한 뒤 2초 후에

무한모션 쪽에서 3상 단락사고를 일으키고 사고 지속시간은 6 사이클(0.1 초)로 모의하였다. 설정된 최적이득이란 고유치 해석을 통해 지역모드와 여자기 모드의 댐핑율이 일치한 경우이고 최대이득이란 여자기 모드가 불안정으로 가는 경우의 이득을 말한다^[1]. 입력신호에 대한 PSS의 성능을 평가하기 위해 최대이득과 최적이득을 이용하여 모의하였다.

4.1 발전기 속도(w)를 입력한 경우

표 4의 PSS의 모델 위상정수를 갖고 발전기의 속도를 입력으로 하는 PSS의 경우 최적 이득은 9.5이고 여자기 모드가 불안정으로 가는 최대이득은 27.5였다. PSS가 없는 경우와 최적이득 그리고 최대이득에 대한 발전기 출력과 주파수 동요의 결과를 그림 7, 8에 각각 나타내었다.

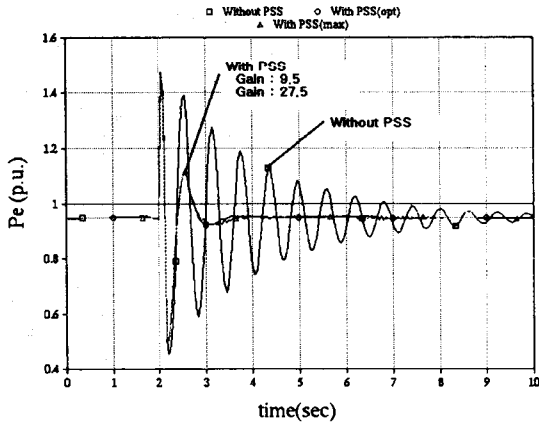


그림 7 단락사고시 전력동요(Pe)

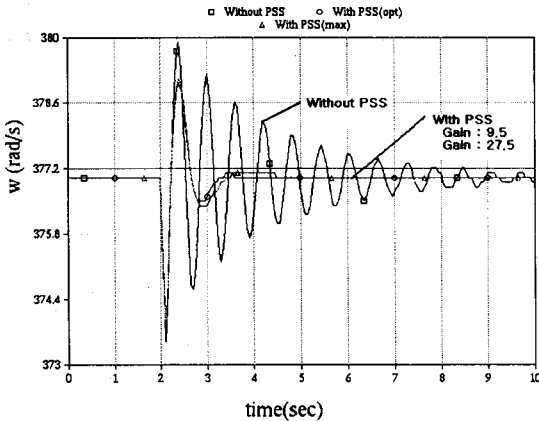


그림 8 단락사고시 주파수 동요

그림 7, 8에서 볼 수 있듯이 발전기 출력과 주파수동요는 PSS가 없는 경우보다 최적과 최대의 이득에 대해 뚜렷한 응답 효과를 볼 수 있다.

4.2 가속력(Pa)를 입력한 경우

속도를 입력으로 하는 PSS와 비교하면 그림 4에 나타난 제어블록 중에서 sT_w 항을 제거하고 발전기 속도와 같은 위상정수를 이용하여 시뮬레이션을 한다. 가속력을 입력으로 하는 PSS의 경우 최적 이득은 16.1, 최대이득은 40.5로 나타났다. PSS가 없는 경우와 최적이득 그리고 최대이득에 대한 발전기 출력과 주파수동요를 그림 9, 10에 각각 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 뚜렷한 응답 효과를 얻을 수 있다.

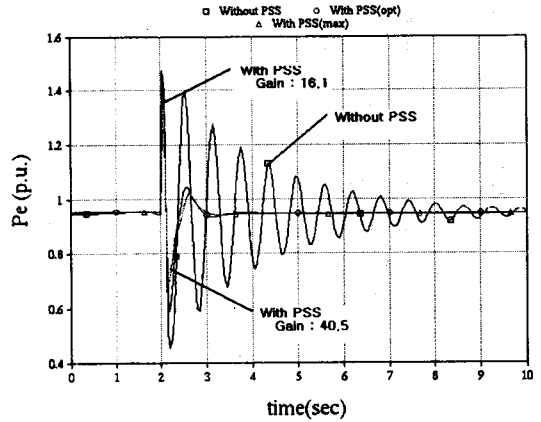


그림 9 단락사고시 전력동요(Pe)

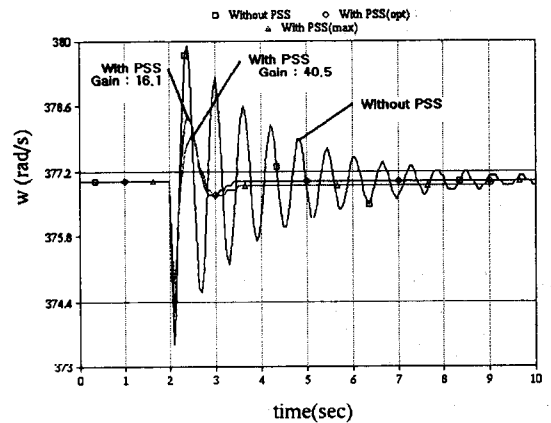


그림 10 단락사고시 주파수 동요

5. 결론

본 논문에서는 과도안정도 해석에 유용한 EMTDC를 이용하여 계통을 모델링하고 PSS 성능향상을 위한 입력신호의 영향을 분석하였다. 시뮬레이션 결과에서 볼 수 있듯이 고유치 해석 결과인 최적 이득(optimum gain)을 이용하여 PSS의 성능을 해석할 수 있었다. 앞으로 다양한 PSS 모델 특성연구에 EMTDC 모델을 이용한 해석이 가능하고 EMTDC 모델을 기본으로 하여 RTDS(Real Time Digital Simulator)를 이용한 실시간 모의실험이 가능할 것으로 사료된다.

[참고 문헌]

- [1] 김동준, 문영환, 김태균, 신정훈, 김용학, "PSS 입력신호에 따른 이득여유 연구", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp 1060-1062, 1999.
- [2] 김동준, 문영환, 김태균, 신정훈, "대형계통 AVR/PSS 제어정수 튜닝을 위한 PWMSTAB 프로그램개발", 대한전기학회 춘계학술대회 논문집, pp25-pp28, 1999.
- [3] EPRI Final Report, "Frequency Domain Analysis of Low-Frequency Oscillations in Large Electric Power Systems", Vol 1, 1982
- [4] "PSCAD/EMTDC Installation & Administration Manual", Manitoba HVDC Research Center, 1994.
- [5] E.V.Lasen, D.A. Swan, "Applying power system Stabilizers for, PART I, II, III", IEEE Trans., Vol. PAS-100, pp3017-3046, June, 1981.
- [6] P. Kundur, M. Klein, G.J. Rogers, M.S. Zywno, "Application of power system stabilizers for enhancement of overall system stability", IEEE Trans., Vol. 4 No. 2, pp614-626, May, 1988.