

외란 소거법을 이용한 강인한 전력 계통 안정화 장치 설계

김 도우\*, 윤 기갑\*\*, 김 훈필\*\*\*, 양 해원\*  
 \*한양대학교 전기공학과, \*\*한국 전력 연구원, \*\*\*경일대학교 전기공학과

Design of Robust Power System Stabilizers  
 Using Disturbance Rejection Method

Do-Woo Kim\*, Gi-Gab Yun\*\*, Hong-Pil Kim\*\*\*, Hai-Won Yang\*  
 \*Dept.of Elec.Eng.Hanyang Univ. \*\*KEPRI, \*\*\*Dept.of Elec.Eng.Kyungil Univ.

**Abstract** - In this paper a design method of robust power system stabilizers is proposed by means of robust linear quadratic regulator design technique under power system's operating condition change, which is caused by inner structure uncertainties and disturbances into a power system. It is assumed that the uncertainties present in the system are modeled as one equivalent signal. In this connections an optimal LQR control input for disturbance rejection, the output feedback gain for eliminating the disturbance are calculated. In this case, PSS input signal is obtained on the basis of weighted  $\Delta P_e$  and  $\Delta \omega$ . In order to stabilize the overall control system, pole placement algorithm is applied in addition, making the poles of the closed loop system to move into a stable region in the complex plane. Some simulations have been conducted to verify the feasibility of the proposed control method on a machine to infinite bus power system. From the simulation results, validation of the proposed method could be achieved by comparisons with the conventional PSS with phase lag-lead compensation.

1. 서 론

전력 계통에서는 지락사고나 단선사고와 같은 고장이 발생하거나 부하, 발전기 및 각종 선로 상수가 변동되었을 때, 발전기의 제동 토크가 부족하게 되어 전력 계통에 저주파의 진동이 생긴다. 따라서, 이러한 저주파 진동을 억제하고, 전력 계통을 안정시키기 위하여 전력 계통 안정화 장치( Power System Stabilizer: 이하 PSS라 함)에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다.

기존의 PSS 설계 방법으로는 여자기 입력과 전기자 토크 사이의 위상 지연을 보상하는 보상 회로와 고주파 필터를 써서 저주파진동 주파수 영역에서 제동 토크를 증대시키는 통상적인 진위상 보상 방법[1-3]이 있다. 그리고 변위, 속도를 입력으로 준최적화(suboptimal) 또는 최적화 기법을 이용하여 PI 제어기의 준최적/최적 안정 이득값을 구하는 방법[4-6] 등이 있다. 그러나, 이 제어 방법들은 실제 발전기에서의 부하 변동이나 송전 선로 상태 변화로 인한 시스템의 비선형 동작점 변위와 불확실성의 문제를 해결할 수 없었다.

최근에는 이러한 시스템의 안정도에 영향을 미치는 불확실성을 고려하기 위해서 불확실성 및 외란이 시스템 행렬에만 영향을 미치는 것으로 가정하여 강인한 PSS를 설계하는 방법[7]이 제시되었다. 여기서는 이 불확실성이 최소 rank 분해(minimal rank decomposition)이 된다고 가정하고 있는데, 최적해를 구할 수 있는가는 여기에 달려 있다. 그리고 최악의 불확실성으로 100%

의 계통 리액턴스의 변동, 20%의 제동 상수의 변동, 15%의 관성 상수의 변동을 고려하고 PSS를 설계하는데, 이 범위를 벗어나는 불확실성이 존재하는 경우에 대한 대책은 언급하지 않았다. 이와는 달리 계통의 불확실성이 시스템 행렬 뿐만 아니라 입력 행렬에도 존재하고, 부하 변동, 기계적 토크, 외란 등을 모두 포함하는 유계인 신호가 입력측에 가해지는 경우에 이러한 불확실성을 하나의 신호로 집중시켜 적용 가변 구조 제어 기법을 이용하여 강인한 PSS를 설계하는 방법[8]도 제시되었다.

본 논문에서는 제어하고자 하는 전력 계통에 동작점 변동에 의해 발생하는 시스템 내부의 불확실성과 외부에서 가해지는 외란이 동시에 존재하고 하나의 신호로 집중된다고 가정하여 이를 외란 소거법을 이용하여 그 영향을 줄임으로써 전력 계통이 불확실성에 대해 강인성을 갖도록 하는 RLQR 기법을 이용한 강인한 PSS 설계법을 제시한다.

PSS의 제동 효과를 얻기 위해 주로 사용되는 신호는 속도, 가속도, 전력 등인데, 초기에는 속도 변화  $\Delta \omega$ 가 가장 널리 사용되었다. 그러나 단지  $\Delta \omega$ 만 사용하면 축비틀림 형태의 진동(shaft torsional modes of oscillation)에 대해 부재동을 초래하므로[8] PSS 설계시 이를 보상하기 위해 진상 비틀림 필터(torsional filter)를 적용하는데, 본 논문에서는 이러한 진상 비틀림 필터가 필요없도록 PSS 입력 신호로  $\Delta P_e$ 와  $\Delta \omega$ 의 벡터 합을 사용한다.

본 논문에서의 PSS 설계는 다음과 같은 순서로 이루어진다. 먼저, 계통의 불확실성은 모두 하나의 신호로 나타낼 수 있다고 가정하고 RLQR 기법을 이용하여 최적 외란 소거 제어 입력을 계산한 다음, 이를 토대로 출력 제한 이득값을 계산한다. 여기서 출력은 PSS 입력 신호로 사용되는데, 이는  $\Delta P_e$ 와  $\Delta \omega$ 로 구성된다. 그리고, 극배치 알고리즘을 이용하여 전체 제어 계통의 고유치를 안정한 영역으로 재배치한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 불확실성을 고려한 1기 무한대 모선 계통의 모델링에 대해 설명한다. 3장에서는 강인한 PSS를 설계하기 위한 RLQR 기법의 기본 개념을 설명한다. 4장에서는 본 논문에서 제시한 PSS의 효용성을 입증하기 위하여 설계된 PSS를 1기 무한대 모선 계통에 적용하여 컴퓨터 모의 실험을 행하고 그 성능을 고전적 PSS와 비교한다. 끝으로 5장에서는 결론을 서술한다.

2. 불확실성을 고려한 1기 무한대 모선 계통 모델링

본 논문에서 다루는 대상 플랜트는 다음과 같은 1기 무한대 모선 계통(single machine infinite bus system)이다.

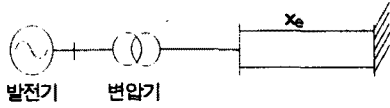


그림 1 1) 무한대 모선 계통

이 계통에 대한 비선형 방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \delta &= \omega_0(\omega - 1) \\ \dot{\omega} &= \{P_m - P_e - D(\omega - 1)\} / M \\ \ddot{e}_q &= \{E_{fd} - e_q - (X_d - X'_d)I_d\} / T_d \\ \dot{E}_{fd} &= -K_E(E_{fd} - E_{fd0}) / T_E + V_R / T_E \\ \dot{V}_E &= -K_F K_E(E_{fd} - E_{fd0}) / T_E T_F + K_F V_R / T_E T_F - V_E / T_F \\ \dot{V}_R &= K_A(u_{pss} + V_{ref} - V_T - V_E) / T_A - V_R / T_A \end{aligned}$$

위 식을 선형화된 상태 방정식으로 나타내면 다음과 같고, 블록 선도는 그림 2와 같다.

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu + d \\ y &= Cx \end{aligned}$$

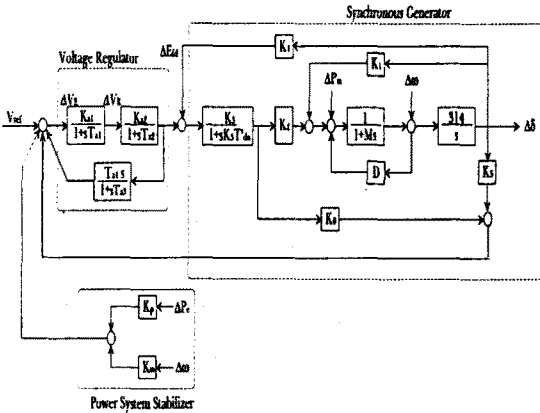


그림 2 선형화된 계통의 블록 선도

여기서

$$x = [\Delta\delta \ \Delta\omega \ \Delta e'_q \ \Delta E_{fd} \ \Delta V_E \ \Delta V_R]^T$$

$$A_0 = \begin{bmatrix} 0 & \omega_0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{K_1}{M} & -\frac{D}{M} & -\frac{K_2}{M} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{K_3}{T_d} & 0 & -\frac{1}{K_3 T_d} & \frac{1}{T_d} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{K_E}{T_E} & \frac{1}{T_E} & 0 \\ -\frac{K_5 K_A}{T_A} & 0 & -\frac{K_5 K_A}{T_A} & 0 & -\frac{1}{T_A} & -\frac{K_A}{T_A} \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{K_E K_F}{T_E T_F} & \frac{K_F}{T_E T_F} & -\frac{1}{T_F} \end{bmatrix}$$

$$B = [0 \ 0 \ 0 \ \frac{K_A}{T_A} \ 0 \ 0]^T$$

$$d = \frac{K_A}{T_A} \Delta v_{ref} + \frac{1}{M} \Delta P_m$$

$$u = K_F [\Delta\omega \ \Delta P_e]^T, (K_F = [k_w \ k_p])$$

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

위 식의 각 변수에 대한 정의는 다음과 같다.

$\Delta$  : 동작점으로 부터의 변위

$\delta$  : 부하각(power angle)

$\omega$  : 회전자 각속도(speed)

$e'_q$  : q축 쇠교자속에 비례하는 발전기 과도 내부전압

$E_{fd}$  : 발전기 계자 전압

$V_E$  : 여자기 출력 전압

$V_R$  : 조정기 출력 전압

### 3. 강인 제어

전력 계통의 커다란 특징 중의 하나는 발전, 송전, 부하의 조건이 지속적으로 변한다는 것이다. 그러나 고전적인 PSS 제어 방법은 시스템이 선형이고, 시불변이라는 구조를 전제로 한다. 따라서, 동작 환경이 변화하게 되면 계통의 수학적 모델과 실제 물리적 계통은 차이가 생긴다. 또한 정상적인 동작 조건에서도 계통의 시스템 매개변수에 대한 불안정한 지식, 모델링 과정중의 적절하지 못한 가정으로 인한 불확실성이 존재하고 이로 인해 계통이 불안정하게 된다. 본 논문에서는 다음과 같은 강인 최적 제어를 통하여 불확실성의 영향을 최소화 하는 강인한 PSS를 설계한다.

#### 3.1 외란 소거 강인 LQR

여자-발전 전력 계통의 상태-출력 방정식은 다음과 같이 나타낸다.

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + d(t) \quad (1)$$

$$y = Cx$$

여기서

$$A = A_0 + \Delta A$$

$$B = B_0 + \Delta B$$

(2)

이고,

$x \in R^n$  : 상태 벡터

$u \in R^m$  : 제어 입력

$A$  : 시스템 행렬

$B$  : 입력 행렬

$A_0$  : 불확실성이 없을 때의 공칭 시스템 행렬

$B_0$  : 불확실성이 없을 때의 공칭 입력 행렬

$d(t)$  : 부하 전력, 기계적 토오크, 외란의 변동 등 외부적 요인이다.

PSS 설계시 고려되는 주요 불확실성은 1선 지락사고에 의한 송전 선로 등가 임피던스의 변동, 발전기 관성 상수의 변동, 그리고 감쇄 상수의 변동 등 여러 가지가 있는데, 이러한 불확실성에 대하여 다음과 같은 가정을 한다.

가정 1)

모든 불확실성은 집중된다고 가정한다. 즉, 상태 방정식은 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$\dot{x}(t) = A_0 x(t) + B_0 u(t) + \eta(t) \quad (3)$$

여기서  $\eta(t) = \Delta A(t)x + \Delta B(t)u + d(t) \in R^n$  이고,

$\eta(t)$  은 집중 불확실성이다.

가정 2)

$\eta(t)$ 는 다음과 같은 미지의 함수  $w(t)$ 에 의해 제한된다.

$$|\eta(t)| \leq w(t) \quad (4)$$

### 가정 3)

모든 불확실성에 대해서,  $(A_0 + \Delta A, B_0 + \Delta B)$ 는 가제어하다.

가정 1)에서  $\Delta A(t)$ 와  $\Delta B(t)$ 는 전력 계통 내부 불확실성을 나타내고,  $d(t)$ 는 외부의 단자 전압과 토오크 외란 등을 나타낸다. 전력 계통에서 지락 사고나 단선 사고와 같은 고장이 발생하거나 부하, 발전기 및 각종 선로 상수가 변동하면 그 영향으로 계통 내부의 파라미터가 변화한다.  $\Delta A(t)$ 와  $\Delta B(t)$ 는 이 계통 내부의 파라미터 변화와, 계통을 각각 시스템 행렬  $A$ 와 입력 행렬  $B$ 로 모델링 했을 때, 모델링 되지 않는 비모형화 특성까지 포함한다. 그리고  $d(t)$ 는 외부에서 가해지는 외란 등을 나타낸다. 예를 들어 계통에 1선 지락 사고가 발생하는 경우 송전 선로의 등가 임피던스가 바뀌고, 발전기 관성 상수 및 감쇄 상수가 변화하여, 공칭 플랜트에  $\Delta A(t)$ ,  $\Delta B(t)$ ,  $d(t)$ 로 대표되는 불확실성이 발생된다. 이러한 불확실성으로 인해 계통 내에 미소 진동이 발생하여 전체 제어 계통의 안정도에 영향을 미친다.

이러한 가정하에 최적 제어 입력을 구하기 위한 평가 함수는 보통 다음과 같은 2차 형식의 평가 함수를 선택한다.

$$J = \int_0^{\infty} (x^T Q x + \rho u^T u) dt \quad (5)$$

식(5)의 평가 함수는 외란의 영향을 최소화하는 제어 입력을 결정하기 위한 것이다. 식(1)과 같이 상태 방정식에 불확실성  $d(t)$ 가 주어지는 경우, 계통의 외란을 소거하기 위한 상태 궤환 제어의 제어 입력은 다음과 같이 구성된다.

$$u^* = -Kx + u_{fw} \quad (6)$$

여기서  $K = \rho^{-1} B_0^T P$ 이고,  $P$ 는 다음의 Riccati 방정식으로부터 구해진다.

$$-\dot{P} = A_0^T P + P A_0 + Q - \rho^{-1} P B_0 B_0^T P$$

그리고 외란 소거 제어 입력  $u_{fw}$ 는

$$u_{fw} = -\rho^{-1} B_0^T b(t) \quad (7)$$

이다.

### 3.2 강인 출력 궤환 제어

앞에서 RLQR에 의한 외란 소거 방법을 이용하여 강인한 최적 PSS를 설계하였는데, 상태 변수들이 모두 궤환되어야 한다. 그러나, 실제 계통에서 모든 상태 변수를 측정하기는 쉽지 않다. 따라서, 식(6)식의 상태 궤환 제어 입력 대신 다음과 같은 출력 궤환 제어 입력을 사용한다.

$$u = -K_F y + u_{fw} = -K_F Cx + u_{fw} \quad (8)$$

여기서 강인 출력 궤환 이득 행렬  $K_F$ 는

$$K_F = KC^T(CC^T)^{-1} \quad (9)$$

그리고 이러한 강인 출력 궤환 제어 입력을 가했을 때 전체 제어 계통의 안정도를 보장하기 위해 폐루프 시스템의 극점이 복소평면 좌반면의 원하는 위치로 이동하도록 다음과 같은 극배치 알고리즘을 사용한다.

#### 극배치 알고리즘

1) 출력 궤환 이득값을 이용하여 폐루프 시스템 행렬  $A_F$ 의 고유치를 계산한다.

$$\dot{x} = (A - BK_F C)x = A_F x$$

$$\lambda_i = \sigma_i + j\omega_i \quad (i=1, 2, \dots, N) \quad (10)$$

2) 고유치 감도를 이용하여 폐루프 계통의 고유치를 목표치로 이동 시킨다.

$$J = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N (\sigma_s - \sigma_i)^2 \quad (11)$$

$$I: \sigma_i > \sigma_s \quad (s: \text{목표치})$$

$$\frac{\partial J}{\partial K_F} = \sum_{i=1}^N (\sigma_s - \sigma_i) \frac{-\partial \sigma_i}{\partial K_F} \quad (12)$$

$$\frac{\partial \sigma_i}{\partial K_F} = \text{Re} \left[ w_i \frac{\partial A_F}{\partial K_F} v_i \right] \quad (13)$$

### 4. 컴퓨터 모의실험

이 장에서는 본 논문에서 제시한 전력 계통 안정화 장치의 성능과 안정성을 검증하기 위한 컴퓨터 모의 실험을 다룬다. 이 실험은 제어 대상이 경부하와 중부하로 운전하는 경우로 구분하여 실시하였고, 이때 외란은  $t=1$ 초인 순간에 기계적 부하 토오크 변위  $\Delta T_m$ 의 계단 변화와 기준 전압 변위  $\Delta V_{ref}$ 의 계단 변화이다. 1기 무한대 모선 계통의 경부하시의 제정수는 표 1에 나타내었다[10].

표 1 경부하시 계통의 제정수

발전기 상수	$M = 0.6, \omega_0 = 376.99, D = 3.3$ $x_d = 0.973, T_{\omega} = 5, x'_d = 0.19$ $x_q = 0.55$
여자기 상수	$K_A = 50, T_A = 0.5, K_F = 0.05$ $T_F = 0.5, K_E = 1., T_E = 0.5$
선로 정수	$R = -0.068, X = 1.994$ $G = 0.1245, B = 0.131$
초기 상태	$P_{e0} = 0.75 \text{ pu}, Q_{e0} = 0.015 \text{ pu}$ $V_{10} = 1.05 \text{ pu}$

이 때의 초기값은 다음과 같다.

$$v_{\omega} = 0.3679 \quad v_{\omega} = 0.9834 \quad i_{d0} = 0.2506$$

$$i_{q0} = 0.6689 \quad e_{\omega} = 1.031 \quad v_{0d} = 1.3841$$

$$v_{0q} = 0.352 \quad v_0 = 1.4282 \quad \delta_0 = 75.73^\circ$$

계통에 가해지는 외란은 표 2에 나타낸 기준 전압 변위  $\Delta V_{ref}$ 와 기계적 부하 토오크 변위  $\Delta T_m$ 이다.

표 2 경부하시의 외란

구분	$\Delta T_m$ (기계적 부하토오크)	$\Delta V_{ref}$ (기준 전압)
경부하시	0.1 pu 증가	0.05 pu 증가

이상의 경부하시 초기값으로부터 상수  $K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6$ 는 다음과 같이 구해진다.

$$K_1 = 0.2886, K_2 = 0.8466, K_3 = 0.7848,$$

$$K_4 = 0.5166, K_5 = -0.0951, K_6 = 0.8903$$

그리고 시스템 행렬과 입력 행렬은 다음과 같이 된다.

$$A_0 = \begin{bmatrix} 0 & 376.99 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.481 & -5.5 & -1.411 & 0 & 0 & 0 \\ -0.067 & 0 & -0.164 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 2 & 0 \\ 9.51 & 0 & -89.03 & 0 & -2 & -100 \\ 0 & 0 & 0 & 0.2 & 0.2 & -20 \end{bmatrix}$$

평가 함수의 하중 행렬  $Q$ 와  $\rho$ 는 다음과 같이 선정하였다.

$$Q = \text{diag}(10, 10, 10, 10, 10, 10), \rho = 10$$

본 논문의 PSS와의 비교 대상인 기존의 PSS의 블록 선도는 다음과 같다.

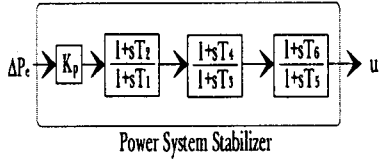


그림 3 기존 PSS의 블록 선도

앞에서 주어진 외란이 계통에  $t=1(\text{sec})$ 에 가해진 경우의 회전자 각속도 변위 응답을 그림 4로 나타내었다. 이 그림으로부터 경부하시 본 논문에서 제안한 PSS가 기존의 PSS보다 우수한 성능을 갖고 있음을 알 수 있다. 그림 5는 기존 PSS와 본 논문의 PSS의 제어 입력을 나타낸다. 본 논문에서 제안한 PSS의 제어 입력이 더 작음을 볼 수 있다.

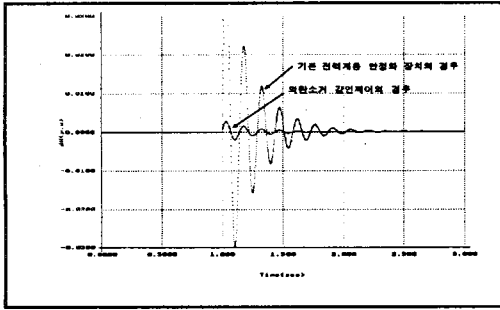


그림 4 경부하시 회전자 각속도 변위

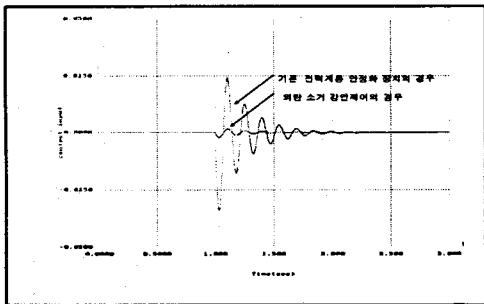


그림 5 경부하시 PSS 제어 입력

표 3과 표 4는 중부하시 계통의 제정수와 계통에 가해지는 외란인 기준 전압 변위  $\Delta V_{ref}$ 와 기계적 부하 토오크 변위  $\Delta T_m$ 를 나타낸다.

표 3 중부하시 계통의 제정수

초기 상태	$P_{e0} = 1 \text{ pu}$ $Q_{e0} = 0.015 \text{ pu}$ $V_{t0} = 1.05 \text{ pu}$
-------	--

표 4 중부하시의 외란

구 분	$\Delta T_m$ (기계적 부하토오크)	$\Delta V_{ref}$ (기준 전압)
중부하시	0.1 p.u 증가	0.1 p.u 증가

이 때 초기값은 다음과 같다.

$$v_{d0} = 0.4687 \quad v_{q0} = 0.9396 \quad i_{d0} = 0.4252$$

$$i_{q0} = 0.8522 \quad e_{d0} = 1.0203 \quad v_{0d} = 1.8456$$

$$v_{0q} = 0.0085 \quad v_0 = 1.8456 \quad \delta_0 = 89.74^\circ$$

이상의 중부하시 초기값에 대한 상수  $K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6$ 은 다음과 같이 구해진다.

$$K_1 = 0.2206, \quad K_2 = 1.0574, \quad K_3 = 0.7848,$$

$$K_4 = 0.6748, \quad K_5 = -0.1557, \quad K_6 = 0.8558$$

그리고 시스템 행렬과 입력 행렬은 다음과 같이 된다.

$$A_0 = \begin{bmatrix} 0 & 376.99 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.3677 & -5.5 & -1.7623 & 0 & 0 & 0 \\ -0.1349 & 0 & -0.157 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 2 & 0 \\ 15.57 & 0 & -85.58 & 0 & -2 & -100 \\ 0 & 0 & 0 & 0.2 & 0.2 & -20 \end{bmatrix}$$

그림 6은 중부하시의 회전자 각속도 변위를 나타내고, 그림 7은 이 때의 PSS 제어 입력 신호를 나타낸다. 중부하시에도 경부하시와 마찬가지로 본 논문에서 제시한 PSS의 성능이 더 양호함을 관찰할 수 있다.

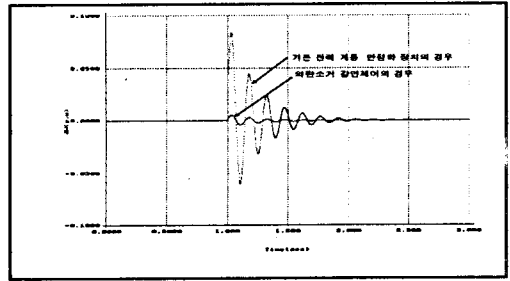


그림 6 중부하시 회전자 각속도 변위

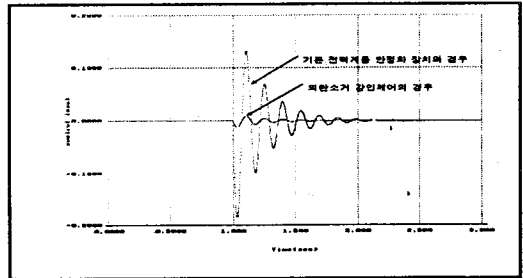


그림 7 중부하시 PSS 제어 입력 신호

## 5. 결 론

본 논문에서는 전력 계통에서 동작점 변동에 의해 발생하는 시스템 내부의 불확실성과 외부에서 가해지는 외란이 동시에 존재하는 경우 RLQR(Robust Linear Quadratic Regulator) 기법을 이용한 강인한 전력 계통 안정화 장치 설계법을 제시하였다. 먼저, 계통의 불확실성은 하나의 신호로 집중된다고 가정하고 RLQR 기법을 이용하여 최적 외란 소거 제어 입력(Optimal LQR Disturbance Rejection Control)을 계산한 다음, 이를 토대로 출력 제한 이득값을 계산한다. 여기서 계통의 출력은 PSS 입력 신호로 사용되는데 입력신호는  $\Delta P_e$  와  $\Delta \omega$  를 혼합하여 사용한다. 그리고, 극배치 알고리즘을 이용하여 전체 제어 계통의 고유치를 안정한 영역으로 재배치한다. 제안된 제어 방식의 효용성을 보이기 위해 설계된 PSS를 1기 무한대 모선 전력 계통에 적용하여 모의 실험을 행하고, 그 결과를 진지상 보상의 고전적 PSS와 비교하였다.

### (참 고 문 헌)

- (1) F. P. deMello and C. Concordia, "Concepts of synchronous machine stability as affected by excitation control", IEEE Trans. PAS, Vol. 88, pp. 316~329, 1969
- (2) E. V. Larsen and D. A. Swan, "Applying power system stabilizers, Part I, II and III", IEEE Trans. Vol. PAS-100, pp. 3017~3046, 1981
- (3) Tutorial Course, "Power system stabilization via excitation control", 1981
- (4) O. P. Malik, G. S. Hope, and M. A. L. Badr, "A computer study of a PID automatic voltage regulator, Part II : digital PID voltage regulator with dynamically varying weighting parameters", IEEE Trans. PAS, Vol. 102, pp. 972~980, 1982
- (5) H. A. M. Moussa and Y. N. Yu, "Optimal power system stabilization through excitation and/or governor control", IEEE Trans. PAS, Vol. 91, pp. 1166~1174, 1972
- (6) Y. Hsu and C. Hsu, "Design of proportional-integral power system stabilizer", IEEE Trans. PAS, Vol. PWRS-1, No. 2, May, 1986
- (7) A. S. Sabzevary, A. Kawahara, and S. Iwamoto, "Robust Output Feedback Generator Control", PE-96-72, pp. 1~9, 1996
- (8) 이주장, "적응 다-가변 구조 제어 방법을 이용한 원자력 발전 전력 계통의 안정기에 관한 응용연구", 기초전력공학 공동연구보고서, 93-17
- (9) P. Dorato and V. Cerone, Linear-Quadratic Control: An Introduction, Englewood Cliffs, New Jersey:Prentice Hall, 1995
- (10) Y. N. Yu, Electric Power System Dynamics, New York:Academic Press, 1983