

개선된 극점이동 적응제어 알고리즘을 이용한 전력계통 안정화장치의 다기계통 적용

論 文

49A-10-3

Application to a Multimachine Power System of Power System Stabilizer using Revised Pole Shift Adaptive Control Algorithm

李 尙 根*
(Sang-Keun Lee)

Abstract - This paper presents an application to a multimachine power system of power system stabilizer using revised pole shift adaptive algorithm. Controller parameters are determined by using adaptive control theory in order to maintain optimal operation of generator under the various operating conditions. To determine the optimal parameters of controller and overcome the problem of pole placement algorithm, this paper presents pole shift algorithm revised pole shift factor. Also, the difference between the speed deviation with weighted factor and voltage deviation is used as the input signal of adaptive controller, which provides good damping characteristics. The results tested on a multimachine power system verify that the proposed controller has better dynamic and transient performance than conventional controller.

Key Words : pole shift adaptive Control, pole shift factor, power system stabilizer

1. 서 론

최근 전력수요가 증가함에 따라 전력계통의 규모가 대형화되고 그 구조가 복잡해져 전력계통의 효과적인 제어에 많은 어려움이 있다. 특히, 대형계통의 연계 또는 지역편중화 현상은 분당 수 사이클의 단위로 움직이는 저주파 진동 현상을 야기시킬 수 있다[1,2,3]. 이러한 전력계통의 저주파진동을 억제하고 전력계통의 안정도를 향상시키기 위해서 전력계통안정화장치에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다 [4,5,6,7].

이러한 안정화장치들은 특정 운전조건에서 결정된 이득값을 이용함으로써 계통의 운전조건이 급격히 변화하는 경우 제동특성에 문제점을 보이고 있다. 이와 같은 문제점들을 개선하기 위해 운전조건에 변화를 추정하여 안정기의 이득을 온라인으로 자동 조절하는 극배치 적응제어 이론을 이용한 안정화장치에 대한 연구 및 설계가 진행되고 있다 [8,9,10].

그러나 이러한 극배치 적응제어를 이용한 안정화장치들은 페루프 극점을 개루프 극점에 대해서 부적절하게 선정할 경우 매우 큰 제어입력을 필요로 하고 제어입력의 제한치 보다 필요한 제어입력이 클 경우 적용이 안되거나 늦어지는

경우가 발생하여 계통이 불안정하게 되는 문제점들을 갖고 있다. 이러한 문제점들을 개선하기 위해 극점이동 적응제어를 이용한 안정화장치가 제시되었는데, 이 제어기는 극점이동인자가 부적절하게 변동하게 되고 원하는 페루프 극점도 최적인 위치에 놓이지 못함으로써 계통이 불안정하게 되는 문제가 있다.

따라서, 본 연구에서는 극점이동 적응제어 안정화장치의 단점을 보완하기 위해 극점이동인자를 개선한 알고리즘을 이용하여 제어기를 구성함으로써 광범위하고 복잡한 계통에 대해서도 안정적이고 효율적인 제어성능을 유지하도록 하였다.

또한 안정화장치의 입력변수로서 각속도 편차에 가중인자를 적용한 것과 단자전압편차와의 차를 이용하여 최적운전이 되도록 하였다[11,12].

이러한 개선된 극점이동 적응제어 알고리즘을 이용한 안정화장치를 3기 9모선 모델계통에 적용하여 전력계통의 여러 가지 운전조건에 대해 발전기의 동요각특성 및 각속도특성을 시뮬레이션을 통해 해석하여 기존의 각속도 입력방식 안정화장치를 적용한 경우와 비교함으로써 효율성을 입증하였다.

2. 계통의 수식화

개선된 극점이동 적응제어를 이용한 전력계통 안정화장치

* 正 會 員 : 原州大 電氣科 助教授 · 工博
接受日字 : 2000年 3月 8日
最終完了 : 2000年 10月 15日

를 적용하여 전력계통의 안정도를 해석하기 위해 이용한 다 기 모델계통의 구성도를 나타내면 그림 1과 같다.

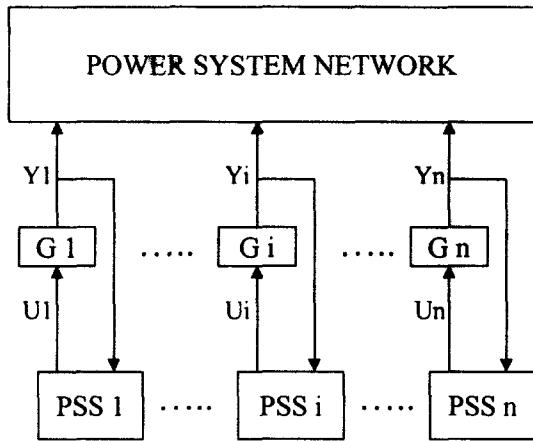


그림 1 다기 모델계통 구성도
Fig. 1 Configuration of Multimachine Model System

그림 1의 다기 모델계통에서 이용한 발전기는 Park 모델을 사용하였고, 이 모델을 개선된 극점 이동 적응제어 알고리즘에 적용하기 위해서 선형화된 상태방정식으로 나타내면

$$\dot{X} = A_C X + B_C U \quad (1)$$

$$Y = C_C X \quad (2)$$

여기서,

- X = 상태변수 벡터
- U = 제어변수 벡터
- Y = 출력변수 벡터
- A_C = 계통행렬
- B_C = 제어행렬
- C_C = 출력행렬

와 같이 연속시간영역(continuous time domain)모델이 되고, 이 모델을 이산시간영역(discrete time domain)모델인 차분방정식으로 나타내면 다음과 같이 된다.

$$X_{K+1} = A_d X_K + B_d U_K \quad (3)$$

$$Y_K = C_d X_K \quad (4)$$

여기서,

$$A_d = e^{A_C T}$$

$$B_d = A_C^{-1} (e^{A_C T} - I) B_C$$

$$C_d = C_C$$

T : 샘플구간

I : 단위행렬

K : 반복정수

3. 개선된 극점이동 적응제어 알고리즘

개선된 극점이동 적응제어 알고리즘을 이용한 안정화장치의 구성도를 나타내면 그림 2와 같다.

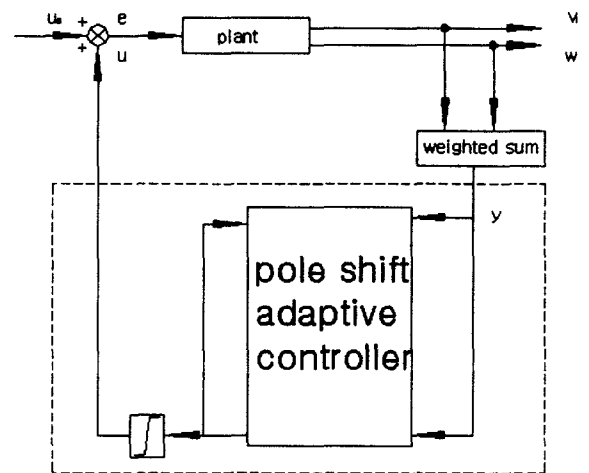


그림 2 극점이동 적응제어 안정화장치 구성도
Fig. 2 Configuration of pole shift adaptive control stabilizer

3.1 극배치 적응제어 이론

식 (1)의 발전기 모델이 식 (5)와 같은 형태를 갖는다고 가정하자[10,12].

$$A(q^{-1})y(t) = q^{-1}B(q^{-1})u(t) + C(q^{-1})e(t) \quad (5)$$

여기서,

- d : 단위시간 지연연산자
- $y(t)$: 발전기 출력변수
- $u(t)$: 발전기 입력변수
- $e(t)$: gaussian random variable
- $A(q^{-1}) : 1 + a_1q^{-1} + a_2q^{-2}$
- $B(q^{-1}) : b_0 + b_1q^{-1}$
- $C(q^{-1}) = 1$

다항식 $A(q^{-1}), B(q^{-1})$ 는 서로 소이고, 계수 a_1, a_2 와 b_0, b_1 는 추정해야 할 매개변수이다.

먼저, 기존의 극배치 제어시스템의 제어기의 형태와 페루프 특성 다항식을 간단히 나타내면 다음과 같이 된다.

$$u(t) = \frac{G(q^{-1})}{H(q^{-1})} (y(t) - w(t)) \quad (6)$$

$$M Z = L \quad (7)$$

여기서,

$$H(q^{-1}) = h_0 + h_1q^{-1} + \dots + h_{nh}q^{-nh}$$

$$G(q^{-1}) = g_0 + g_1q^{-1} + \dots + g_{ng}q^{-ng}$$

$w(t)$: 기준입력

M : 발전기의 매개변수인 행렬

Z : 미지의 제어기 파라미터 벡터

식 (7)의 행렬 M 의 매개변수를 추정하기 위한 적응루프가 추가된 극배치 적응제어기를 나타내면 그림 3과 같다.

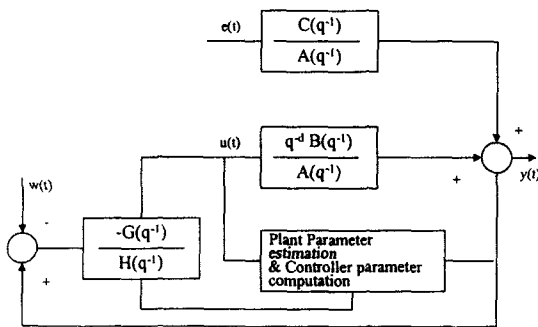


그림 3 극배치 적응제어기 구성도

Fig. 3 Configuration of pole placement adaptive control

그림 3 에서 매개변수 추정은 순환형 최소자승법 (Recursive Least Square Method)을 이용하였고, 이 식을 나타내면 다음과 같다.

$$\hat{\theta}(t) = \hat{\theta}(t-1) + P(t) [Y(t) - \Phi^T(t)\hat{\theta}(t-1)] \quad (8)$$

$$P(t) = P(t-1) - \frac{P(t-1)\Phi(t)\Phi^T(t)P(t-1)}{1 + \Phi^T(t)P(t-1)\Phi(t)} \quad (9)$$

여기서,

$P(t)$: 공분산 행렬(Covariance Matrix)

$\hat{\theta}(t)$: 추정할 매개변수 벡터

$\Phi(t)$: 발전기의 입출력 신호 벡터

식 (8)과 (9)에서 추정해야 할 매개변수 벡터인 $\hat{\theta}(t)$ 와 발전기의 입출력 신호들을 요소로 갖는 벡터인 $\Phi(t)$ 를 정리하여 나타내면 다음과 같이 된다.

$$\hat{\theta}(t) = [\hat{a}_1 \hat{a}_2 \dots \hat{a}_{na}, \hat{b}_0 \hat{b}_1 \dots \hat{b}_{nb}]^T \quad (10)$$

$$\Phi(t) = [-y_{t-1} \dots -y_{t-na}, u_{t-d} \dots u_{t-nb-d-1}]^T \quad (11)$$

식 (7)에서 다항식 $A(q^{-1}), B(q^{-1})$ 의 계수들로 구성되어 있는 행렬 M 의 요소들은 추정치로 대체되며 추정 초기에는 다항식 $A(q^{-1}), B(q^{-1})$ 의 추정치들이 서로 가까운 곳에 위치하는 경우가 발생하기 때문에 미리 지정된 페루프극점의 위치가 플랜트의 개루프극점의 위치와 멀리 떨어져 있을 경우에는 제어기의 파라미터들이 매우 큰 값을 갖게 된다. 그러나, 벡터 L 의 요소들이 아주 작은 값을 갖는 경우에는 벡터 Z 의 요소들이 커지는 것을 어느 정도 억제할 수 있게 된다. 즉, 안정한 플랜트에 대해서 원하는 페루프 다항식 $T(q^{-1})$ 의 근이 플랜트의 개루프극점과 가까운 곳에 놓이게 되면 벡터 L 의 요소들이 작은 값을 갖게 되어 제어기 파라미터 역시 작은 값을 갖게 된다.

3.2 개선된 극점이동 적응제어 알고리즘

Z 평면상의 원점을 향하여 방사선 형태로 이동시키는 극점 이동 적응제어 알고리즘을 제시한다.

전체적인 제어식은 참고문헌 [10]을 참조하여 구하였고, 원하는 페루프 다항식의 형태는 다음과 같이 된다.

$$T(q^{-1}) = 1 + a_1q^{-1} + \dots + a_{na}q^{-na} \quad (12)$$

여기서 a_1, a_2, \dots, a_{na} 는 개루프 시스템의 분모다항식 계수들로서 추정치로 대체되고, α 는 극점이동 인자로서 시변 함수이다.

극배치 제어 알고리즘에서 구한 페루프 특성다항식인 식 (7)에 식 (12)를 적용하여 나타내면 다음과 같이 된다.

$$\begin{bmatrix} 1 & & 0 & & \\ a_1 & 1 & \cdot & & d-1 \\ \cdot & a_{n1} & 0 & & \\ \cdot & & -b_0 & & \\ \cdot & & \cdot & & -b_0 \\ a_{na} & & \cdot & & \\ \cdot & & -b_{nb} & & \\ \cdot & a_{na} & & & -b_{nb} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} h_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ h_{nh} \\ g_0 \\ \cdot \\ \cdot \\ g_{ng} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_1 - a_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ t_{na} - a_{na} \\ 0 \\ \cdot \\ \cdot \\ 0 \end{bmatrix} \quad (13)$$

극점이동인자 $\alpha(t)$ 의 크기가 지속적으로 1에 근접할수록 식 (13)에서 계산되는 제어기 파라미터는 작은 값이 되지만, 제어기 출력의 추종성능은 저하되며 귀환되는 이득이 작으므로 잡음의 영향이 크게 된다. 따라서 극점이동인자는 다음과 같은 원칙에 의해 구해야 한다.

① 이동시킬 페루프 다항식 $T(q^{-1})$ 의 안정도를 판별하여 안정할 경우 과도상태시 극점인자의 크기는 1에 근접하도록 하여 구하려는 제어기의 파라미터가 작아지도록 하며, 정상상태시 극점인자는 0이 되어 페루프 극점들이 원점에 위치하게 된다.

② 이동시킬 페루프 다항식이 불안정한 경우 과도상태시 원하는 페루프 극점이 안정한 범위내에서 최대한으로 개루프 극점과 가까운 곳에 위치되도록 극점인자의 크기를 조절하고, 정상상태시 극점인자는 0에 가깝게 위치시킨다.

극점인자의 초기치는 1에 근접하도록 지정하고, 이 값의 심한 변동을 방지하기 위해 임의로 선정하는 정수를 사용하는데 이는 여러 가지의 문제점을 야기 시킨다.

이런 단점을 개선하기 위해 본 연구에서는 개선된 극점이동 선정 알고리즘을 다음과 같이 제시한다.

$$m(t) = \max\{|u(t)| + |y(T)|, 1\} \quad (14)$$

$$\phi(t) = m(t) \overline{\phi^T(t)} \quad (15)$$

$$\lambda(t) = \overline{\phi^T(t)} \overline{\phi(t)} \quad (16)$$

$$\alpha_m(t) = \frac{1}{1 + \lambda(t)} \left[\frac{|u(t)| - |y(t)|}{\max(|u(t)|, |y(t)|, 1)} \right]^2 \quad (17)$$

다항식 $T(q^{-1})$ 는 $\alpha(t)$ 와 추정된 플랜트의 분모 다항식의 계수들로 구성되어 있다. 따라서 플랜트가 불안정할 경우 $T(q^{-1})$ 가 불안정하게 될 수 있으므로 $T(q^{-1})$ 의 안정도를 판별하여 안정할 경우에는 $\alpha_m(t)$ 는 $\alpha(t)$ 로 대체하고, 불안정 할 경우에는 다음과 같은 과정을 반복한다.

$$\textcircled{1} \alpha(t) \leftarrow \mu \alpha_m(t) \quad , \quad 0 < \mu < 1 \quad (\text{임의의 상수}) \quad (18)$$

② $\alpha(t)$ 를 다시 $T(q^{-1})$ 다항식에 대입해서 안정도를 판별한다. 불안정할 경우 $\alpha_m(t)$ 의 값을 $\alpha(t)$ 의 값으로 대체한 후 위의 과정을 반복하여 $T(q^{-1})$ 다항식이 안정하게 될 때까지 과정을 반복한다.

극점이동인자 $\alpha(t)$ 가 1에 근접할수록 위의 반복과정 ①의 계산횟수는 많아지는 대신에 페루프극점은 안정한 범위내에서 개루프극점과 가장 근접한 곳에 위치하게 된다.

이와 같이 원하는 페루프 극점을 $\alpha(t)$ 의 값에 의존하는 정도로 이동시켜 줌으로써 적은 양의 제어입력만으로 안정한 제어가 가능하게 된다.

3.3 개선된 극점이동 안정화장치의 입력방식

기존의 안정화장치 입력변수는 각속도편차 ($\Delta\omega$), 주파수 편차 (Δf), 가속력 (ΔP_a) 등을 단일 또는 복합적으로 사용하고 있다. 이러한 입력신호 중에서 각속도편차가 발전기의 제동특성 향상에 크게 기여하는 반면에 발전기의 단자 전압 특성이 떨어진다는 단점이 있다[5,6].

이러한 문제점을 개선하기 위해 본 연구에서는 발전기의 단자전압과 각속도를 연속적으로 측정하여 각속도편차에 가중인자를 적용한 것과 발전기의 단자전압 편차와의 차를 개선된 극점이동 안정화장치의 입력신호로 이용함으로써 발전기의 제동특성을 개선하였다.

$$E = \Delta V_i - K_w \Delta w \quad (19)$$

여기서, K_w 는 외란에 따른 극점이동 안정화장치의 입력변수의 정확도를 향상시키기 위한 가중인자로서 일반적으로 0~1사이의 값을 적용하는데, 이 범위 내에서 최적인 가중인자 값은 시뮬레이션을 하여 가장 제동특성이 우수한 값을 선정하였다[13].

$$K_w = 0.5 \quad (20)$$

지금까지 제시한 개선된 극점이동 적용제어 알고리즘을 이용한 안정화장치를 전력계통에 적용하여 계통의 안정도를 해석하는 흐름도를 나타내면 다음과 같다.

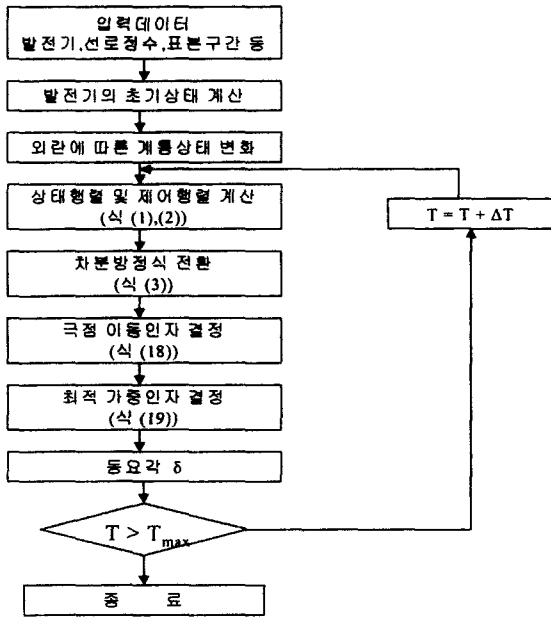


그림 4 전력계통의 안정도해석 흐름도
 Fig. 4 Flowchart for analysis of power system stability

4. 사례연구

4.1 다기모델계통

본 논문에서 제시한 개선된 극점이동 전력계통안정화장치의 효율성을 입증하기 위한 다기모델계통으로 그림 5와 같은 3기 9모선 계통을 선정했다. 이의 선로정수 및 각 모선의 전압, 전력은 표 1, 2와 같다.

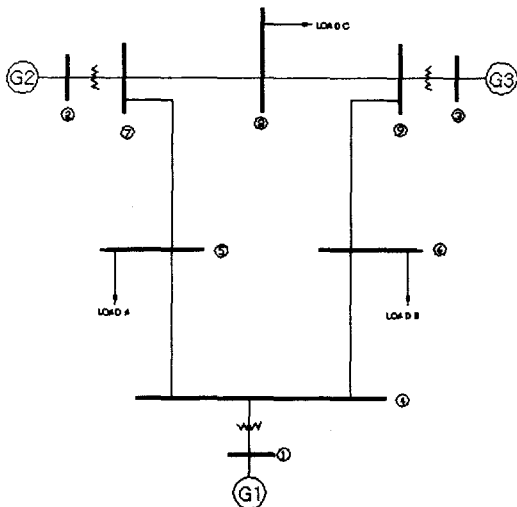


그림 5 3기 9모선 모델계통
 Fig. 5 3-Gen. 9-Bus Model Bus System

그림 5의 3기 9모선 모델계통에서 사용한 전력계통안정화 장치는 각속도 입력방식으로써 모델 블럭도와 발전기, 여자기 및 안정화장치의 정수들은 참고문헌 [12]를 참고하였다.

표 1 모델계통의 선로데이터
 Table 1 Line Data of the Model System

선로 번호		선로 임피던스		half line charging susceptance [p.u]	tap setting
From	To	R [p.u]	X [p.u]		
1	4	0.0	0.0576	0.0	-
4	5	0.01	0.085	0.176	-
4	6	0.017	0.092	0.158	-
5	7	0.032	0.161	0.306	-
6	9	0.039	0.170	0.358	-
7	2	0.0	0.0625	0.0	-
7	8	0.0085	0.072	0.144	-
9	3	0.0	0.0586	0.0	-
9	8	0.0119	0.1008	0.2016	-

표 2 모델계통의 모선데이터
 Table 2 Bus Data of the Model System

모선 번호	전압		부하		발전	
	V [p.u]	θ [deg]	P _L [MW]	Q _L [MVar]	P _G [MW]	Q _G [MVar]
1	1.04	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	1.025	9.3	0.0	0.0	163.0	250.0
3	1.025	4.7	0.0	0.0	85.0	130.0
4	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	1.0	0.0	125.0	50.0	0.0	0.0
6	1.0	0.0	90.0	30.0	0.0	0.0
7	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	1.0	0.0	100.0	35.0	0.0	0.0
9	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

4.2 시뮬레이션 결과

그림 5의 3기 9모선 모델계통이 표 3과 같은 부하형태로 운전하고 있는 경우에 대하여 시뮬레이션 하였다.

표 3 모의계통의 부하형태

Table 3 Load Type of the Sample System

(P_L : [MW], Q_L : [MVar])

	Load A		Load B		Load C	
	P_L	Q_L	P_L	Q_L	P_L	Q_L
Case 1	125	50	90	30	100	35
Case 2	80	40.2	55	26.1	65	35

먼저, 계통이 Case 1으로 운전하고 있는 경우에 2번 발전기를 대상으로 하여 개선된 극점이동 안정화장치를 설치한 경우와 기존의 속도입력방식 안정화장치를 설치한 경우에 대해 7번 모선 근방의 5~7선로에서 3상 단락고장이 발생하여 0.1초에 5~7선로 및 고장을 제거하고 0.18초 후에 재폐로 시킨 경우의 동요상태를 비교하였다. 그림 6과 7는 발전기 2의 동요각특성 및 각속도특성을 나타낸 것으로, 기존의 속도입력방식 안정화장치는 점선과 같은 동요각특성 및 각속도특성을 나타내었고, 동일한 운전조건에서 본 논문에서 제시한 안정화장치는 실선과 같은 동요각특성 및 각속도특성을 나타낸다. 여기서 제시한 안정화장치를 사용한 경우의 동요각특성 및 각속도특성은 기존의 안정화장치를 이용한 경우보다 제동특성이 향상되어 안정해짐을 알 수 있다. 또한 발전기 2의 전압변동특성도 제시한 기법이 우수한 것을 알 수 있다.

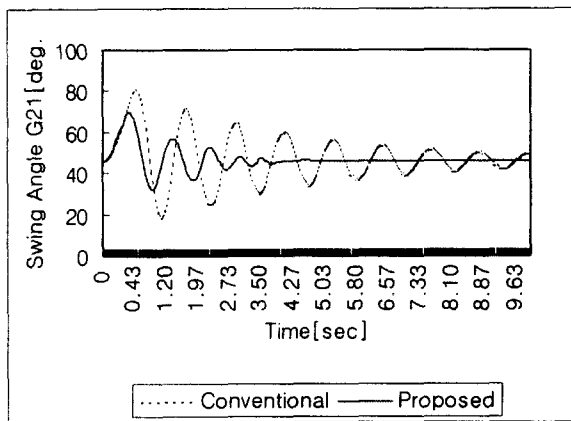


그림 6 발전기 G2의 동요각 특성(Case 1)
Fig. 6 Swing Angle Characteristics of Generator G2

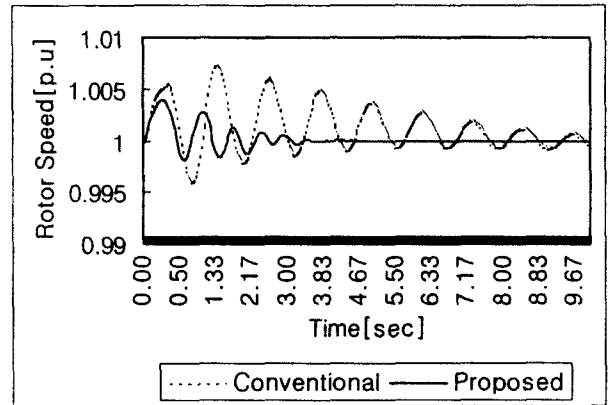


그림 7 발전기 G2의 각속도 특성(Case 1)
Fig. 7 Rotor Speed Characteristics of Generator G2

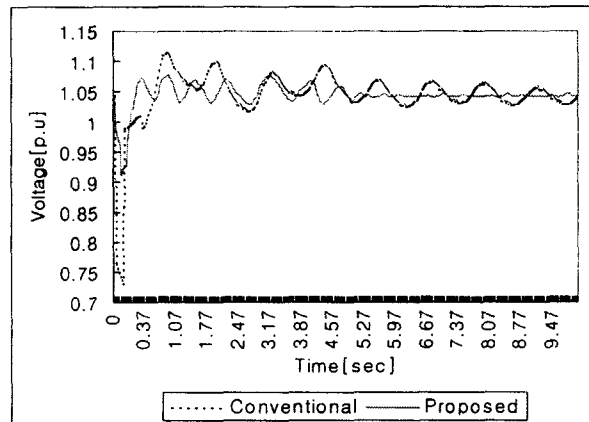


그림 8 발전기 G2의 전압변동 특성(Case 1)
Fig. 8 Voltage Change Characteristics of Generator G2

계통이 Case 2로 운전하고 있는 경우에 2번 발전기를 대상으로 하여 본 논문에서 제시한 안정화장치를 설치한 경우와 기존의 속도입력방식 안정화장치를 설치한 경우 그림 6, 7과 동일한 고장조건에 적용한 경우의 동요상태를 비교하였다. 그림 9과 10은 동요각특성 및 각속도특성을 나타낸 것으로, 그림 6, 7과 같이 본 논문에서 제시한 개선된 극점이동 안정화장치가 기존의 안정화장치를 이용한 경우보다 제동특성이 향상되어 안정해짐을 알 수 있다. 또한, 전압변동 특성이 기존의 안정화장치를 적용한 경우에 비해서 개선되어, 광범위하고 복잡한 계통에 대해서도 안정적이고 효율적인 제어성능을 보임을 알 수 있었다.

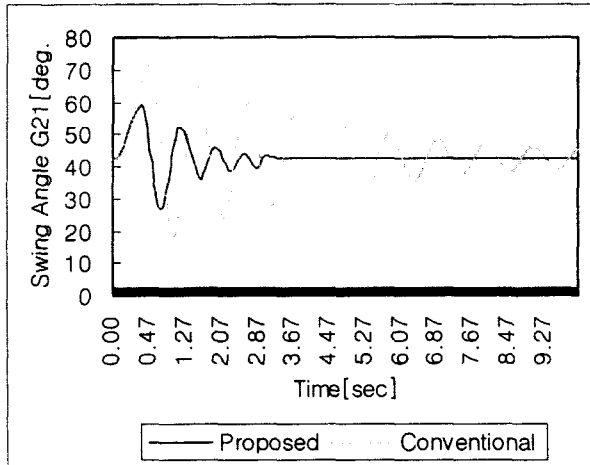


그림 9 발전기 G2의 동요각특성(Case 2)
Fig. 9 Swing Angle Characteristics of Generator G2

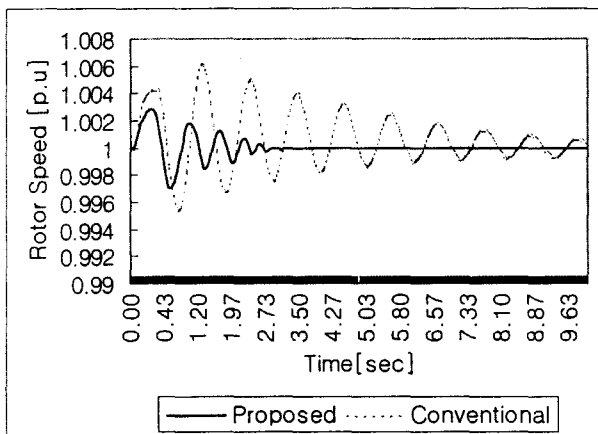


그림 10 발전기 G2의 각속도 특성(Case 2)
Fig. 10 Rotor Speed Characteristics of Generator G2

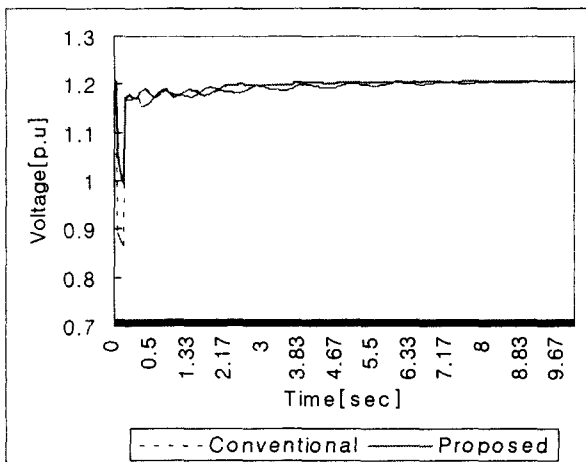


그림 11 발전기 G2의 전압변동 특성(Case 2)
Fig. 11 Voltage Change Characteristics of Generator G2

5. 결 론

본 연구에서는 개선된 극점이동 적응제어를 이용하여 전력계통안정화장치를 설계한 후 이를 다기모델계통에 적용하여 전력계통의 안정도를 해석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 극점이동인자를 최적으로 선정하는 알고리즘을 적용함으로써 안정화장치가 전력계통의 상태변화에 효과적으로 대응할 수 있음을 알 수 있었다.

2. 개선된 극점이동 안정화장치의 입력요소를 각속도편차에 가중인자를 적용한 것과 단자전압 편차와의 차를 이용함으로써 발전기의 제동특성이 향상됨을 알 수 있었다.

3. 개선된 극점이동 안정화장치를 이용한 전력계통의 안정도 해석 결과 동요각특성 및 전압변동특성이 기존의 안정화장치를 적용한 경우에 비해서 개선되어, 광범위하고 복잡한 계통에 대해서도 안정적이고 효율적인 제어성능을 보임을 알 수 있었다.

마지막으로, 해석결과의 정확도를 높이기 위해 부하특성을 고려한 연구가 요구된다.

참 고 문 헌

- [1] F. P. deMello, et al., "Coordinated Application of Stabilizers in Multimachine Power Systems", IEEE Trans. on PAS, Vol. 99, pp. 892~901, 1980
- [2] P. M. Anderson, A. A. Fouad, Power System Control and Stability, The Iowa State University Press, 1977
- [3] Y. N. Yu, Electric Power System Dynamics, Academic Press, 1983
- [4] F. P. deMello, C. Concordia, "Concepts of Synchronous Machine Stability as Affected by Excitation Control", IEEE Trans. on PAS, Vol. 88, pp. 316~329, 1969
- [5] Tutorial Course, "Power System Stabilization VIA Excitation Control", 1981
- [6] 설 용 태, 가변구조제이론에 의한 발전계통의 동특성 개선에 관한 연구, 한양대학교 박사학위 논문, 1984
- [7] A. Chandra, O. P. Malik and G. S. Hope, "Self-Tuning Controller for The Control of Multimachine Power Systems", IEEE Trans. Vol. 3, No. 3, pp. 1065~1071, 1988
- [8] Y. Y. Hsu, C. J. Wu, "Design of Self-Tuning PID Power System Stabilizers for Multimachine Power Systems", IEEE Trans. Vol. 3, No. 3, pp. 1059~1064, 1988
- [9] Shanker Sastry and Marc Bodson, Adaptive Control, 1989
- [10] 김 용 석, 자동 극점이동제어, 한양대학교 석사학위 논문, 1989
- [11] 관 근 태 차, 전력계통과도해석론, 1984

[12] 김준현, 이상근, "자기동조적용제어를 이용한 전력계통안정화장치의 다기계통적용", 대한전기학회 논문지, Vol. 42, No. 11, 1993

[13] 이 상 근, 전력계통 안정도향상을 위한 자기동조 PID 안정화장치 설계, 한양대학교 박사학위 논문, 1993

저 자 소 개



이 상 근 (李 尙 根)

1961년 4월 13일생. 1986년 한양대 전기공학
학과 졸업. 1994년 동 대학원 전기공학과
졸업(공학). 1989~1995 한국전력기술(주)
전기기술처 근무. 현재 원주대학 전기과
조교수

Tel : 033-760-8422, Fax : 033-760-8420

E-mail : sklee@sky.wonju.ac.kr