

유전 알고리즘을 이용한 퍼지형 안정화 제어기의 최적 설계에 관한 연구

論 文
48A - 11-3

A Study on the Optimal Design Fuzzy Type Stabilizing Controller using Genetic Algorithm

李 興 載* · 林 讚 鎬** · 尹 炳 奎*** · 任 化 永[§] · 宋 宇 允^{§§}
(Heung-Jae Lee · Chan-Ho Lim · Byong-Gyu Yoon · Hwa-Young Lim · Ja-Youn Song)

Abstract - This paper presents an optimal fuzzy power system stabilizer to damp out low frequency oscillation. So far fuzzy controllers have been applied to power system stabilizing controllers due to its excellent properties on the nonlinear systems. But the design process of fuzzy logic power system stabilizer requires empirical and heuristic knowledge of human experts as well as many trial-and-errors in general. This paper presents an optimal design method of the fuzzy logic stabilizer using the genetic algorithm. Non-symmetric membership functions are optimally tuned over an evaluation function. The present inputs of fuzzy stabilizer are torque angle error and the change of torque angle error without loss of generality. The coding method used in this paper is concatenated binary mapping. Each linguistic fuzzy variable, defined as the peak of a membership function, is assigned by the mapping from a minimum value to a maximum value using eight bits. The tournament selection and the elitism are used to keep the worthy individuals in the next generation. The proposed system is applied to the one-machine infinite-bus model of a power system, and the results showed a promising possibility.

Key Words : Fuzzy Power System Stabilizer, Genetic Algorithm, Optimal Design Method

1. 서 론

현대의 전력계통이 초대형화되고 복잡해짐에 따라, 동태 안정도의 향상은 계통운용의 신뢰성 확보를 위하여 매우 중요시 되고 있다. 그러나 현재와 같이 상호연계된 대형계통에서는 저주파 진동현상이 발생하여 계통의 동태 안정도를 저하시키고 있으며, 계통의 안정운전을 크게 위협하고 있다.

현재까지 저주파 진동현상을 억제시키고 계통의 동태 안정도를 향상시키기 위하여 다양한 전력계통 안정화 제어기가 개발되어 왔다. 초기의 안정화 제어기는 계통의 기계적 입력을 고정시키고 동작점에서 선형화한 모델을 이용하여 개발된 선형 제어기이다.[1-3] 그러나 전력계통이 고차의 비선형 시스템이므로 동작점이 변화했을 때 선형 제어기는 계통의 안정도를 일정하게 유지할 수 없다. 근래에는 선형 제어기의 단점을 보완하고, 넓은 범위의 동작점에서 안정된 제어성능을 유지하기 위하여 자기동조 제어기법, 적응제어 기법 등을 적용한 안정화 제어기가 개발된 바 있다.[4-5] 그러나 이러한 제어기는 선형 제어기보다 우수한 성능을 보이지만 실제적인

구현시 과중한 계산상의 부담을 가지고 있다.

최근에는 해석적인 방법으로 개발된 안정화 제어기의 단점을 극복하고, 보다 안정된 성능의 비선형 제어기를 개발하기 위하여 퍼지제어 이론[6], 신경 회로망 이론[7] 등의 인공지능 기법을 전력계통 제어에 응용하기 위한 연구가 활발히 수행되고 있다. 퍼지 안정화 제어기는 기존의 수학적 모델을 기초로 한 제어방식의 단점을 보완하고, 인간의 의사결정 방식을 도입한 비선형 제어방식으로서, 정확한 수학적 지식 없이 단순하고 효율적으로 개발될 수 있는 장점이 있다. 그러나 퍼지 제어기는 현재까지 제어기를 설계하는 데 있어서 일반적인 체계가 정립되어 있지 않기 때문에 설계자의 경험과 지식에 전적으로 의존한 시행착오 방법에 의하여 설계되어야 한다. 따라서 퍼지 제어기의 소속함수, 제어규칙 등의 계수를 동조시키는 과정은 과다한 시간과 노력이 필요하며 최적 퍼지 제어기의 설계는 현실적으로 매우 어려운 일이다.

본 논문에서는 퍼지 안정화 제어기의 설계과정에서 과다한 시간과 노력의 소모를 방지하고 최적의 퍼지계수를 동조하기 위하여 유전 알고리즘을 이용한 새로운 계수 동조방법을 제안하였다. 유전 알고리즘은 개체간의 체계적인 정보교환을 기반으로 최적해를 탐색하는 확률적 최적화 알고리즘으로서, 여러 개의 잠재적인 해들로 구성된 개체를 운용하고 있으며, 이러한 개체에 자연선택과 선택교배, 돌연변이 등의 유전 연산자를 적용하여 최적해를 탐색한다. 본 논문에서는 소속함수의 꼭지점을 유전자 개체로 선정하고 토너먼트 선택전략, 우수개체 보존전략(elitism) 그리고 교차와 돌연변이를 이용하여 소속함수의 모양을 비대칭으로 동조하였다.

유전 알고리즘으로 동조한 퍼지 안정화 제어기의 성능을

* 正 會 員 : 光 云 大 工 大 電 氣 工 學 科 副 教 授 · 工 博
 ** 正 會 員 : 慶 州 大 計 算 機 電 子 工 學 部 專 任 講 師 · 工 博
 *** 正 會 員 : (株) 富 國 電 氣 工 業 技 術 部 勤 務
 § 正 會 員 : 光 云 大 工 大 電 氣 工 學 科 博 士 課 程
 §§ 正 會 員 : 仁 川 專 門 大 制 御 計 測 工 學 科 教 授
 接 受 日 字 : 1999 年 2 月 3 日
 最 終 完 了 : 1999 年 6 月 4 日

검증하기 위하여 1기 무한모선을 대상으로 동조모듈이 없는 기존 퍼지 안정화 제어기 그리고 선형 최적 안정화 제어기와 비교 시뮬레이션을 수행하였다.

2. 시스템 모델링

본 논문에서는 1기 무한모선을 사용하여 제안된 제어기의 특성을 분석하였다. 본 논문에서 사용한 1기 무한모선을 선형화하여 블록선도로 표시하면 그림 1과 같으며, 이 모형은 기계적 입력을 고정시킨 후 평형상태에서 선형화 한 것으로써, 저주파 진동을 해석하기 위하여 일반적으로 널리 사용하는 모형이다[3].

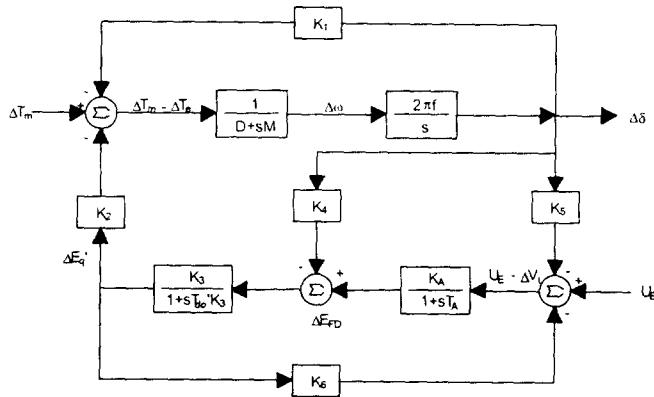


그림 1 선형화된 1기 무한모선 모형
Fig. 1 A linearized one-machine infinite-bus model

그림 1의 모형을 상태 방정식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\dot{x} = Ax + Bu \tag{1}$$

$$y = cx \tag{2}$$

$$x = \begin{bmatrix} \Delta\omega \\ \Delta\delta \\ \Delta e'_q \\ \Delta E_{FD} \end{bmatrix} \quad A = \begin{bmatrix} -\frac{D}{M} & -\frac{K_1}{M} & -\frac{K_2}{M} & 0 \\ 2\pi f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{K_4}{T'_{do}} & -\frac{1}{T'_{do}} & \frac{1}{T'_{do}} \\ 0 & -\frac{K_A K_5}{T_A} & -\frac{K_A K_6}{T_A} & -\frac{1}{T_A} \end{bmatrix} \tag{3}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{K_A}{T_A} \end{bmatrix} \quad C = [0 \ 1 \ 0 \ 0] \tag{4}$$

- T'_{do} : 제자 시정수(field time constant)
- D : 기계적 댐핑계수
- M : 관성계수
- T_A : 여자기 시정수
- K_A : 여자기 이득

3. 유전 알고리즘을 이용한 퍼지 안정화 제어기의 설계

본 논문에서 제안된 전력계통 안정화 제어기는 그림 2와 같으며, 퍼지제어 모듈과 유전 알고리즘을 이용한 동조모듈로 구성되어 있다. 퍼지제어 모듈은 일반적인 형태의 퍼지 제어기로서 지식 베이스, 퍼지추론 엔진, 퍼지화기 그리고 비퍼지화기로 구성되어 있다. 유전 알고리즘 동조 모듈은 유전 알고리즘을 이용하여 퍼지 제어기의 소속함수를 동조하는 부분이다.

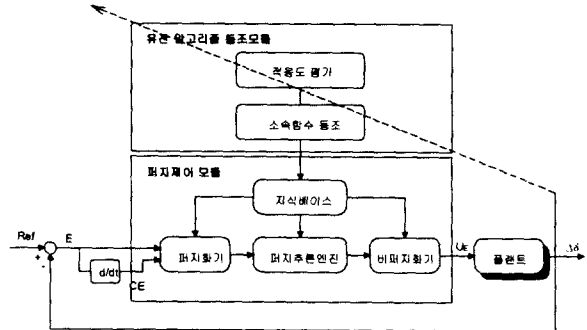


그림 2 제안된 전력계통 안정화 제어기의 구조
Fig. 2 The structure of the proposed stabilizer

3.1 퍼지 제어기

3.1.1 입출력 변수

전력계통 안정화 제어기는 각속도 변위, 부하각 변위, 유효 전력 등을 이용하여 설계될 수 있다. 본 논문에서는 부하각 변위를 기준으로 퍼지형 안정화 제어기를 설계하였으며, 제안된 퍼지 제어기의 입출력 변수는 다음과 같다.

$$\text{입력변수 : } E_k = R - Y_k$$

$$CE_k = E_k - E_{k-1} = Y_{k-1} - Y_k$$

$$\text{출력변수 : } U_E$$

여기서, Y 는 시스템 출력($\Delta\delta$), E 는 오차, CE 는 오차의 변화분, R 은 설정치, U_E 는 제어기 출력이다.

3.1.2 소속함수와 퍼지제어 규칙

퍼지 제어기의 지식 베이스는 데이터베이스와 규칙 베이스로 구성되어 있으며, 데이터베이스는 입출력 변수로 사용되는 퍼지집합의 소속함수를 정의하고 있다. 본 논문에서는 그림 3에서 보는 바와 같이 각각의 입출력 변수에 대하여 7개의 언어변수를 정의하였으며, 각 언어변수는 비교적 계산이 용이한 대칭형의 삼각형 소속함수로 표현하였다. 이러한 대칭형의 삼각형 소속함수는 유전 알고리즘 동조모듈에 의해서 비대칭형의 삼각형 소속함수로 동조된다.

퍼지규칙 베이스는 전문가의 지식을 반영하는 퍼지제어 규칙으로 구성되어 있으며, 이러한 제어규칙은 "if-then" 형식의 언어적 규칙으로 표현된다. 본 논문에서 제시한 퍼지제어 규칙은 표 1과 같이 구성하였으며, 퍼지추론과 비퍼지화 과정에서는 최대-최소 합성법과 무게중심법을 사용하였다.

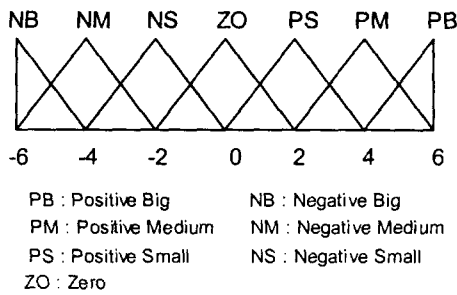


그림 3 E, CE, U_E 각각의 대칭형의 삼각형 소속함수
Fig. 3 The triangular membership function for E, CE, U_E

표 1 퍼지제어 규칙
Table 1 The fuzzy control rules

E	CE	CE						
		NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
E	NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZO
	NM	NB	NM	NM	NM	NS	ZO	PS
	NS	NB	NS	NS	NS	ZO	PS	PM
	ZO	NM	NM	NS	ZO	PS	PB	PM
	PS	NM	NS	ZO	PS	PS	PM	PB
	PM	NS	ZO	PS	PM	PM	PB	PB
	PB	ZO	PS	PM	PB	PB	PB	PB

3.2 퍼지 제어기 동조를 위한 유전자 알고리즘

현재까지 제시된 대부분의 최적화 기법에서는 한 개의 해를 운용하여 최적해를 구하는 국부적 탐색방법이다. 그러나 유전 알고리즘은 내재된 여러 개의 잠재적인 해들로 구성된 해의 집단(population)을 운용하고 있으며, 이러한 해집단에 자연선택과, 선택교차, 돌연변이 등의 유전법칙의 메커니즘을 적용하여 개체간의 체계적인 정보교환을 기반으로 해의 공간을 탐색하는 전역적 탐색방법이다.

유전 알고리즘은 문제의 잠재적인 해를 표현한 개체로 이루어진 모집단(population)을 운영하고, 모집단은 각 세대마다 일정수의 개체(individual)를 유지하며, 매 세대에서 개체의 적응도(fitness)를 기준으로 다음 세대에 생존할 개체들을 선별한다. 선별된 개체들은 교배하여 자손을 생성하며, 이 과정에서 교차에 의해 유전자가 자손에게 상속되고 돌연변이가 발생할 수 있다.

3.2.1 유전자적 표현

유전자적 표현은 유전 알고리즘을 구축하는 첫 단계로서 문제의 잠재적인 해를 개체로 표현하는 과정이다. 유전자적 표현은 유전 알고리즘의 성능에 영향을 주므로 문제의 특성

을 잘 반영할 수 있어야 한다. 유전자적 표현방법은 문제에 따라 다양할 수 있으나, 본 논문에서는 이진벡터를 사용하여 ZO를 제외한 각 소속함수의 꼭지점 위치를 개체로 표현하였다. 그림 4에서 보는 바와 같이, 본 논문에서는 8비트로 표현된 각 언어변수의 소속함수를 연결하여 하나의 개체로 정의(concatenated binary coding)하였으며, 한 개체의 길이는 48비트로 표현된다.

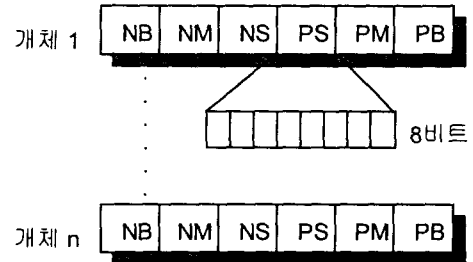


그림 4 변수의 유전자적 표현
Fig. 4 String structure of a variable

한 개체에 표현된 각 언어값은 식(5)에 의하여 정의영역 사이의 실수(P_j)로 디코딩 된다.[8]

$$P_j = P_{min} + \frac{binval}{2^m - 1} \times (P_{max} - P_{min}) \quad (5)$$

여기서 binval은 m비트(m=8) 이진 스트링에 대한 실수값이고, P_{min}은 정의구역의 최소값, P_{max}는 정의구역의 최대값이다.

본 논문에서는 유전 알고리즘의 수렴속도 향상과 최적의 소속함수를 탐색하기 위하여 각 언어변수 사이의 제약조건을 설정하였다. 즉, 식(6)에서 보는 바와 같이 ZO는 0으로 고정시켰으며, 언어변수의 정의구역을 [-6, 6]으로 제한하였다. 또한 각 언어변수 사이의 대소관계를 제약조건으로 설정하여 언어변수 사이의 논리적인 오류를 제거하였다.

$$\begin{aligned} -6 \leq NB, NM, NS < 0 & \quad 0 < PS, PM, PB \leq 6 \\ ZO = 0 & \\ NB < NM < NS & \quad PS < PM < PB \end{aligned} \quad (6)$$

그림 3은 유전 알고리즘으로 동조하기 전의 균등 분할된 대칭형의 삼각형 소속함수를 나타내고 있으며, 그림 5는 유전 알고리즘을 이용하여 동조된 최적의 비대칭 소속함수를 도시하고 있다.

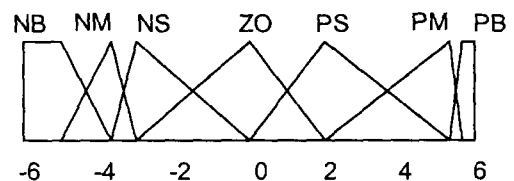


그림 5 유전 알고리즘으로 동조된 소속함수
Fig. 5 The tuned membership function by genetic algorithm

3.2.2 평가함수

적용도는 개체의 생존능력을 나타내며, 평가함수에 의해 평가된다. 평가함수는 적합도의 관점에서 해가 될 가능성이 있는 것들을 평가하며, 본 논문에서는 식(7)과 같은 평가함수를 사용하였다.

$$eval(v) = \frac{1}{1 - \sum(|error| \cdot dt)} \quad (7)$$

여기서 v 는 세대의 한 개체이고, $error$ 는 부하각 변위의 오차값이며, dt 는 샘플링 주기이다.

3.2.3 선택

선택(selection)은 적자생존의 자연법칙에 기초하여, 환경에 대한 적응도를 기준으로 현 세대의 모집단으로부터 다음 세대에 생존할 개체를 선택하는 과정이다. 유전 알고리즘에서 선택은 모집단의 다양성과 선택도태 압력에 영향을 주므로 모집단의 다양성과 선택도태 압력이 조화를 이룰 수 있도록 해야 한다. 유전 알고리즘에서의 선택방법에는 비례 선택방법(roulette-wheel selection), 순위 선택방법(rank selection), 토너먼트 선택방법(tournament selection) 등이 있으며, 본 논문에서는 토너먼트 선택방법을 사용하였다. 그림 6에서 보는 바와 같이 제안된 토너먼트 선택방법은 현재의 모집단에서 임의로 2개 이상의 개체를 선택하여 평가하고, 그 중에서 적응도가 높은 개체를 이용하여 메이팅풀(mating pool)을 구성한다.

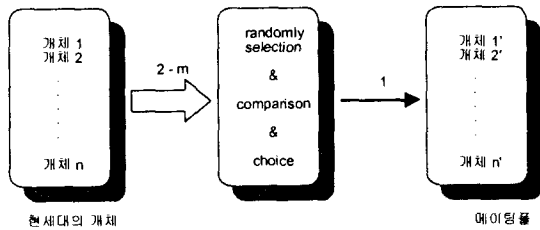


그림 6 토너먼트 선택전략
Fig. 6 Tournament selection method

본 논문에서는 우수한 유전 개체를 다음 세대에 보존하기 위하여 우수개체 보존전략(elitism)을 토너먼트 선택방법과 병행하여 사용하였다. 개체 보존전략은 모집단 중에서 가장 적응도가 높은 개체를 다음 세대로 보존하는 방법으로서, 이 방법을 사용하면 그 시점에서 가장 좋은 해가 교차나 돌연변이에 의해서 파괴되지 않는다는 이점이 있으며, 수렴속도도 향상시킨다.

3.2.4 유전 연산자와 매개변수

유전 연산자는 선택교차(crossover)와 돌연변이(mutation)의 두 종류로 분류할 수 있다. 교차는 부모가 갖는 유전자를 조합하여 자손을 생성하는 과정이다. 교차는 좋은 해를 이용

하는 역할을 하며, 부모의 좋은 형질이 가능한 파괴되지 않고 자손에게 상속될 수 있어야 한다. 유전 알고리즘의 교차방법에는 크게 일점교차(one-point crossover), 복수점 교차(multi-point crossover), 일정교차(uniform crossover) 등이 있으며, 본 논문에서는 수렴특성이 비교적 우수한 복수점 교차방법의 이점 교차방법(two-point crossover)을 사용하였다. 이점교차는 2개의 교차위치를 선정하여 위치점 사이의 유전자를 서로 교환하는 방법이며, 그림 7은 교차위치가 3, 6번째인 경우의 이점교차를 나타내고 있다.

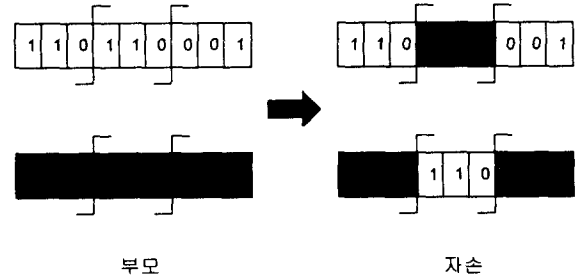


그림 7 이점 교차방법의 예
Fig. 7 Example of two-point crossover

돌연변이는 조기수렴 문제를 방지하기 위하여 적용되며, 한 개체에서 돌연변이 확률과 동일한 확률을 가지고 임의의 하나 또는 그 이상의 유전인자가 변화되는 과정이다.

유전 알고리즘에 사용하는 매개변수로서 모집단의 크기, 교차확률, 돌연변이 확률 등이 있으며, 본 논문에서는 표 2에서 보는 바와 같이 매개변수를 선정하였다. 모집단의 크기는 모집단을 이루는 개체의 수를 의미하며, 교차확률은 각 개체가 교차될 확률을 나타낸다. 돌연변이 확률은 각 유전자가 돌연변이될 확률을 나타낸다. 알고리즘의 종료조건으로는 진행된 세대수로 선정하였다.

표 2 유전자 알고리즘의 매개변수
Table 2 The parameters of genetic algorithm

매개변수	값
모집단의 크기	30
교차확률	0.6
돌연변이 확률	0.05
세대수	500

4. 사례연구

유전 알고리즘으로 동조한 퍼지 안정화 제어기의 성능을 검증하기 위하여 4차로 선형화된 1기 무한모션을 사용하였다. 또한 본 사례연구에서는 그림 5에서 표시한 소속함수를 사용하였으며, 표 3과 같은 계통운용 조건을 설정하였다. 사례연구 1에서는 동조기가 없는 기존 퍼지 제어기와 동작특성을 비교하였고, 사례연구 2에서는 선형 최적 제어기와 동작특성을 비교하여 제안된 안정화 제어기의 비선형 특성을 검증하였다.

표 3 대상 시스템의 제정수 및 초기치
Table 3 Initial values and constants of the system

발전기	$M=9.26$ $x_d=0.973$ $D=0$ $x_d'=0.19$ $T_{do}'=7.76$ $x_a=0.55$
여자기	$K_A=50$ $T_A=0.05$
선로	$R=-0.034$ $X=0.997$ $G=0.249$ $B=0.262$
초기상태	$P_{e0}=1.0$ $Q_{e0}=0.015$ $V_{t0}=1.05$

4.1 기존 퍼지 안정화 제어기와 비교

본 절에서는 동조모듈이 없는 기존 퍼지 안정화 제어기와 유전 알고리즘을 이용하여 동조한 퍼지 안정화 제어기의 성능을 비교하였다. 그림 8에서 보는 바와 같이 유전 알고리즘을 이용하여 동조한 퍼지 안정화 제어기는 동조모듈이 없는 기존 퍼지 안정화 제어기보다 약간 향상된 응답특성을 보여주고 있다.

제어특성만을 고려할 경우 제안된 안정화 제어기의 성능향상 정도는 미미하다고 할 수 있다. 그러나 기존 퍼지 안정화 제어기의 경우 그림 8과 같은 응답특성을 보이도록 하기 위해서는 전문가가 자신의 경험적 지식을 이용하고, 시행착오 방법으로 많은 시간과 노력을 투자하여 설계해야 한다. 또한 약간의 성능향상을 도모하기 위해서는 보다 많은 시간과 노력이 투자되어야 한다. 제안된 퍼지 안정화 제어기의 경우 유전 알고리즘을 이용하여 계수를 동조시키므로 이러한 시간과 노력을 최소화시킬 수 있으며 보다 우수한 성능의 향상도 모색할 수 있다.

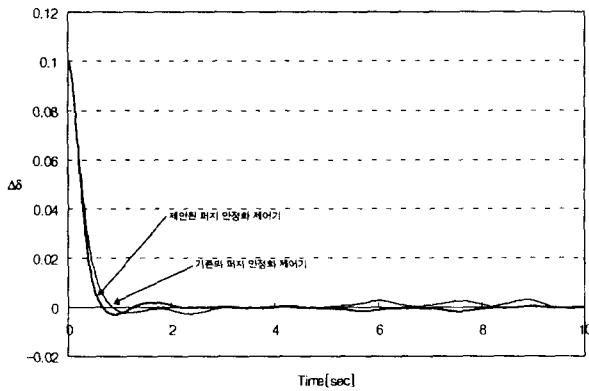


그림 8 기존 퍼지 안정화 제어기와 비교(Q=0.015)
Fig. 8 Comparison with a fuzzy stabilizer without GA

4.2 선형 최적 안정화 제어기와 비선형 특성비교

본 절에서는 제안된 퍼지 안정화 제어기의 비선형 특성을 검증하기 위하여 운전조건을 변화시키면서 선형 최적 안정화 제어기와 비교하였다. 본 사례연구에서는 부하조건을 변화시키고 있으며, 무효전력을 0.2, 0.25, 0.3, 0.35로 변화시키면서 시뮬레이션을 수행하였다.

그림 9, 10에서 보는 바와 같이 무효전력이 0.2, 0.25인 경우는 두 제어기 모두 안정한 제어특성을 보이고 있으나 제안된 퍼지 안정화 제어기가 더 우수한 제어특성을 보이고 있으며, 무효전력이 0.25인 경우 선형 최적 제어기는 약간의 오차를 보이고 있다. 그림 11, 12에서 보는 바와 같이 선형 최적 제어기는 무효전력이 0.3일 때부터 저주파 진동을 상쇄시키지 못하고 발산하고 있으나 제안된 퍼지 안정화 제어기는 저주파 진동을 잘 상쇄시키고 있다.

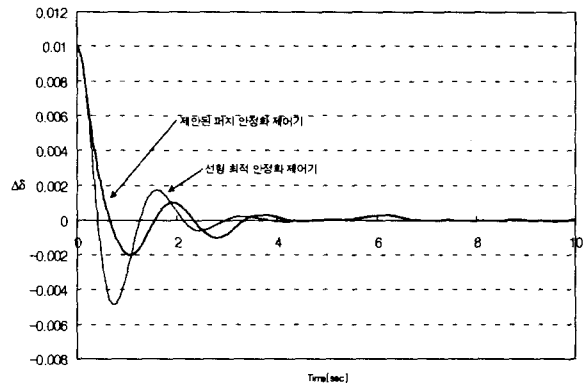


그림 9 시스템 출력(Q=0.2)
Fig. 9 The system output(Q=0.2)

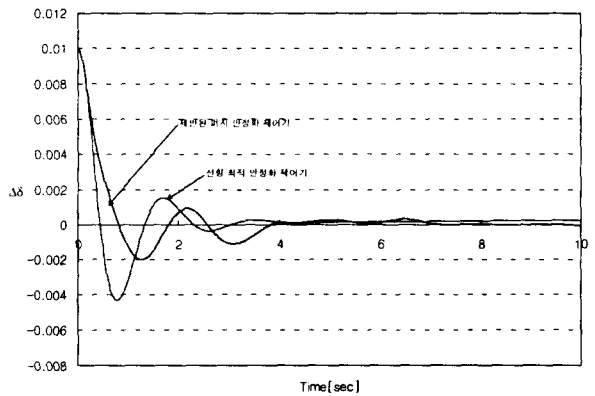


그림 10 시스템 출력(Q=0.25)
Fig. 10 The system output(Q=0.25)

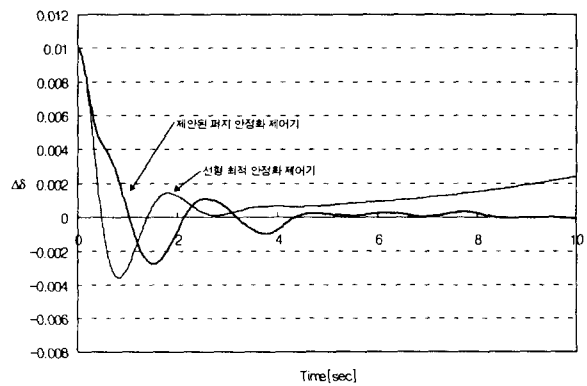


그림 11 시스템 출력(Q=0.3)
Fig. 11 The system output(Q=0.3)

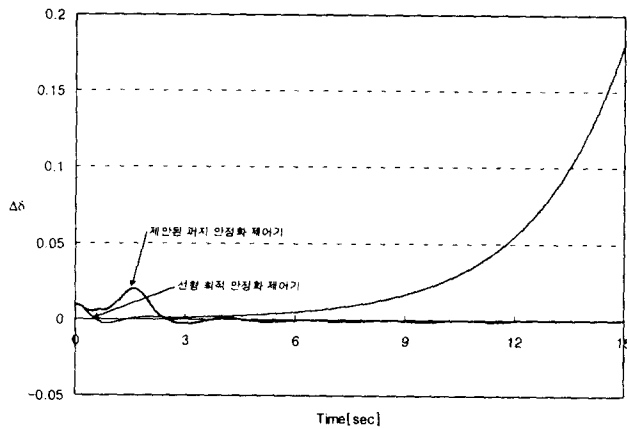


그림 12 시스템 출력(Q=0.35)
Fig. 12 The system output(Q=0.35)

5. 결 론

본 논문에서는 유전 알고리즘을 이용하여 퍼지 안정화 제어기의 새로운 설계방법을 제안하였다. 제안된 방법에서는 소속함수의 모양을 동조하여 퍼지 제어기의 설계과정에서 발생하는 시간과 노력의 과다한 소모를 최소화시키고 안정화 제어기의 성능향상을 도모하였다.

비선형 특성을 가지는 전력계통의 안정화 성능을 검증하기 위하여 여러 가지 조건에서의 선형화 모형을 구축하였고, 기존의 선형 최적 안정화 제어기와 유전 알고리즘으로 동조된 퍼지 안정화 제어기의 성능을 비교하였다. 사례연구를 통하여 제안된 퍼지 안정화 제어기의 비선형 적용 특성을 확인하였으며, 강인성을 검증하였다.

이 논문은 1999년도 광운대학교 교내학술연구비에 의하여 연구되었음

참 고 문 헌

- [1] K. Bollinger, et al., "Power Stabilizer Design using Root-Locus Methods", IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-94, No. 5, pp. 1484-1488, 1975.
- [2] H. J. Lee, T. W. Kwon. "Optimal Selection of the parameters of power system stabilizers", IFAC, Seoul, pp. 387-392, 1989.
- [3] Yao-nan Yu, "Electric Power System Dynamics", Academic press, 1983.
- [4] A. A. Ghandakly, et al., "An Adaptive Synchronous Generator Stabilizer Design by Generalized Multivariable Pole Shifting(GMPS) Technique", IEEE Trans. on PAS, Vol. 7, No. 3, pp. 1239-1244, 1992.
- [5] J. Y. Fan, et al., "Power System Stability Improvement with Multivariable Self-Tuning Control", IEEE Trans. on PD, Vol. 5, No. 1, pp. 227-234, 1990.
- [6] H. J. Lee, Y. M. Park and C.H. Lim, "A Study on the Nonlinear Characteristics of the Fuzzy Type Stabilizing Controller", KIEE, Vol. 42, No. 11, pp.

61-66, 1993

- [7] Y. M. Park, S. H. Hyun, J. H. Lee, "A Synchronous Generator Stabilizer Design Using Neuro Inverse Controller and Error Reduction Network", IEEE Trans. on Power System, Vol. 11, No. 4, pp. 1969-1975, 1996.
- [8] David E. Goldberg, "Genetic Algorithm", Addison-Welsey, 1989.
- [9] Zbigniew Michalewicz, "Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs", Springer, Chapter 1-8, pp. 11-178

저 자 소 개

이 흥 재 (李興載)

전기학회 논문지 48A권 6호 참조



임 찬 호 (林讚鎬)

1968년 8월 11일생. 1991년 광운대 공대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 경주대 컴퓨터전자공학부 전임강사

Tel : 873-3550

E-mail : chlim@tour.kyongju.ac.kr



윤 병 규 (尹炳奎)

1968년 8월 11일생. 1997년 광운대 공대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 부국전기공업(주) 기술부 근무

Tel : 957-6979

E-mail : black@power.kwangwoon.ac.kr

임 화 영 (任化永)

전기학회 논문지 48A권 1호 참조



송 자 윤 (宋字允)

1942년 7월 22일생. 1974년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1979년 연세대 산업대학원 전기공학과 졸업(석사). 1980년~1988년 인천전문대 전기과 교수. 현재 인천전문대 제어계측과 교수

Tel : 032)760-8770

E-mail : jysong@www.icc.ac.kr