

시스템 안정도 향상을 위하여 SVC를 포함한 전력계통의 최적 GA-PI 제어기 설계

정형환* · 허동렬* · 이종민* · 주석민**

A Design of Optimal GA-PI Controller of Power System with SVC to Improve System Stability

H. H. Chung · D. R. Hur · J. M. Lee · S. M. Joo

Key words : Genetic Algorithm(유전알고리즘), Optimal PI Controller(최적 PI 제어기),
Static VAR Compensator(정지형 무효전력 보상기)

Abstract

This paper deals with a systematic approach to GA-PI controller design for static VAR compensator(SVC) using genetic algorithm(GA) to improve system stability. Genetic algorithms(GAs) are search algorithms based on the mechanics of natural selection and natural genetics. To verify the validity of the proposed method, investigated damping ratio of the eigenvalues of the electro-mechanical modes system with and without SVC. Also, we considered dynamic response of terminal speed deviation and terminal voltage deviation by applying a power fluctuation at heavy load, normal load and light load to verify the robustness of the proposed. Thus, we proved usefulness of GA-PI controller design to improve the stability of single machine-bus with SVC system.

기호설명			
K_1	: 일정한 직축 자속쇄교시 부하각 변화에 대한 토오크의 변화[p.u.]	K_3	: 외부 임피던스의 부하 효과를 고려한 임피던스 요소[p.u.]
K_3	: 일정한 부하각에서 직축 자속쇄교시 변화에 대한 토오크의 변화[p.u.]	K_4	: 부하각 변화에 있어서의 감자효과 [p.u.]
		K_5	: 일정한 직축 자속쇄교시 부하각 변화에 대한 단자 전압의 변화[p.u.]

* 동아대학교 공대 전기전자컴퓨터공학부(원고접수일 : 99년 10월)

** 동아대학교 정보기술연구소

- K_6 : 일정한 부하각에서 직축 자속쇄교시 변화에 대한 단자전압의 변화[p.u.]
- H : 관성계수[p.u.]
- D : 제동계수[p.u.]
- τ_{do} : 직축 과도 시정수[sec]
- S_E : 포화정수
- K_E : 여자기 이득상수
- T_E : 여자기 시정수[sec]
- K_A : 여자 증폭기 이득상수
- T_A : 여자 증폭기 시정수[sec]
- K_F : 여자기 진동방지회로의 이득상수
- V_{ref} : 발전기 기준전압[p.u.]
- T_F : 여자기 진동방지회로의 시정수[sec]
- ω_R : 기준 각속도[rad/sec]
- E_{FD} : 발전기 여자전압[p.u.]
- E_q' : 제자쇄교자속에 비례하는 전압[p.u.]
- δ : 부하각[rad]
- ω : 각속도[rad/sec]
- V_t : 단자전압[p.u.]
- V_R : 조정기 증폭기 전압[p.u.]
- V_E : 조정기 안정화 회로 전압[p.u.]
- U_e : 제어입력[p.u.]
- T_m : 기계적 입력 토오크[p.u.]
- x_d : 동기 리액턴스의 직축 성분[p.u.]
- x_q : 동기 리액턴스의 횡축 성분[p.u.]
- x_d' : 과도 리액턴스[p.u.]
- X_T : 변압기 리액턴스[p.u.]
- R_e : 선로 저항[p.u.]
- X_e : 선로 리액턴스[p.u.]
- B_C : SVC의 용량성 서셉턴스[p.u.]
- B_L : SVC의 유도성 서셉턴스[p.u.]
- I_d, I_q : 발전기 직축 및 횡축 성분 전류[p.u.]
- I_{Bd}, I_{Bq} : SVC의 직축 및 횡축 성분 전류[p.u.]
- V_s : SVC 출력전압[p.u.]
- K_v : 싸이리스터 이득
- T_v : 싸이리스터 시정수[sec]
- K_p : 비례이득
- K_i : 적분이득
- Δ : 초기 동작점으로부터 미소변위

1. 서 론

최근 대전력 반도체 소자 기술의 발달에 힘입어 고전압, 대전류의 전력 변환 기기의 구현이 용이해짐에 따라 이를 전력 계통에 적용하려는 시도가 활발히 진행되고 있다. 기존 보상기의 기계적 스위칭을 사이리스터를 이용한 스위칭으로 대체하는 단계를 벗어나 이제는 무효 전력 보상량을 연속적으로 변화시킬 수 있는 보상기의 구조들이 제안되어 현장에 적용되고 있다. 대표적인 기기로는 정지형 무효전력 보상기(Static VAR Compensator, SVC), 싸이리스터 제어 직렬 보상기(Thyristor Controlled Series Compensator, TCSC) 등이 있다¹⁻⁴⁾.

이러한 일련의 움직임은 기존의 교류 송전 방식에서는 고정되어 있는 선로의 임피던스와 계통의 조건에 의해 결정되어지는 모선의 위상각 등을 전력전자 기술을 이용해 연속적으로 실시간 제어하여 전력계통에 유연성을 부여함으로써 운전 효율과 신뢰도를 극대화하려는 FACTS(Flexible AC Transmission System)의 개념에 포함된다. FACTS를 도입함으로써 기존의 기계적 스위칭 방식의 무효전력 보상기들이 가지고 있던 단점을 극복하여 송전용량을 열적 한계로까지 확대하고 선로조류를 정밀하게 제어할 수 있게 되어 병렬 선로를 구성하는 각 선로간의 전력 배분이 가능하게 된다. 또한, 외란에 의한 과도시에도 선로의 임피던스나 위상각을 순시적으로 제어하여 과도 및 동태 안정도를 향상시킬 수 있다. FACTS로 분류되는 여러 기기중 기존의 전압제어 및 무효전력보상기들이 가지고 있는 비속응성과 불연속성 문제를 해결해 줄 수 있는 정지형 무효전력보상기는, FACTS 기기중 가장 먼저 개발되고 현장에 적용되어 그 효과가 널리 검증되었고, 현재는 완전 실용화 단계에까지 와 있으며, 부하에 응동하여 연속적으로 무효전력을 보상함으로써 효과적으로 전압을 제어한다. 이러한 SVC는 국내에서도 채택되어, 대구지역의 전압강하 문제를 해결하기 위하여 설치 운전 중에 있다. SVC는 모선전압의 변동을 감지하여 이에 대응하는 병렬 Susceptance를 변화시킴으로써 모선전압을 빠르고 연속적으로 제

어하는 기기로서, 모선전압의 제어가 기본적인 제어의 목적이며 부가적으로 과도안정도 향상, 전력동요억제, 저주파진동의 억제 등의 다양한 제어가 가능하다. 따라서, 그 목적상 주로 부하측 모선에 설치되어 운전되어지며, 기존의 전압제어 기기와 과 상호작용이 이루어진다¹⁵⁻¹⁷.

본 논문에서는 시스템 안정도를 향상시키는 SVC를 포함한 전력계통에 자연 생태계의 진화를 모의한 유전 알고리즘을 이용한 PI 제어기(GA-PI Controller) 설계에 관하여 연구하였다. 제안된 방법의 유용성을 입증하기 위해 SVC를 포함한 1기 무한대 모선에 적용하여 SVC 없는 1기 무한대 모선 계통과 제어기 없는 SVC 시스템을 포함한 계통과 비교·고찰하였다. 그리고 제안된 방법의 강인성을 입증하기 위해 증부하시, 정상부하시 및 경부하시에 초기 전력을 변동시킨 경우에 대하여 시스템의 발전기 각속도 편차특성 및 단자전압 편차의 동특성을 고찰하였다. 이러한 과정을 통하여 SVC를 포함한 1기 무한대 모선 계통의 안정도 향상을 위하여 유전 알고리즘을 이용한 최적 PI 제어기 설계의 타당성을 확인하였다.

2. 계통 모델

동적 안정도 해석을 위한 전력계통의 선형화된 모델을 유도하기 위하여, 본 논문에서는 송전선로를 통하여 무한모선에 연결된 IEEE Type 1의 여

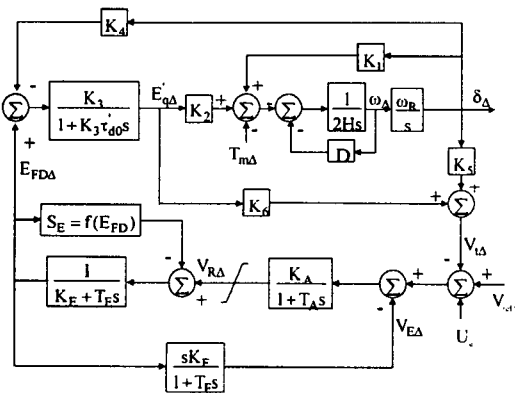


Fig. 1. Block diagram of the simplified linear model of a single machine-infinite bus system

자기를 가진 동기기로 구성된 전력계통 모델을 이용하였다. 그림 1은 선형화된 모델의 블록 선도를 나타낸다¹⁸⁻¹⁰¹.

그림 1에 나타난 선형화된 모델로부터 다음과 같은 시스템 방정식을 유도할 수 있다.

$$\dot{\delta}_\Delta = \omega_R \omega_\Delta \tag{1}$$

$$\dot{\delta}_\Delta = \frac{K_1}{2H} \delta_\Delta - \frac{D}{2H} \delta_\Delta - \frac{K_2}{2H} E'_{q\Delta} + \frac{1}{2H} T_{m\Delta} \tag{2}$$

$$\dot{E}'_{q\Delta} = -\frac{K_4}{\tau'_{d0}} \delta_\Delta - \frac{1}{K_3 \tau'_{d0}} E'_{q\Delta} + \frac{1}{\tau'_{d0}} E_{FD\Delta} \tag{3}$$

$$\dot{E}'_{FD\Delta} = -\frac{(S_E + K_E)}{T_A} E_{FD\Delta} + \frac{1}{T_E} V_{R\Delta} \tag{4}$$

$$\begin{aligned} \dot{V}_{R\Delta} = & -\frac{K_5 K_A}{T_A} \delta_\Delta - \frac{K_6 K_A}{T_A} E'_{q\Delta} - \frac{1}{T_A} V_{R\Delta} \\ & - \frac{K_A}{T_A} V_{E\Delta} + \frac{K_A}{T_A} U_e \end{aligned} \tag{5}$$

$$\dot{V}_{E\Delta} = -\frac{K_F(S_E + K_E)}{T_E T_F} E_{FD\Delta} + \frac{K_F}{T_E T_F} - \frac{1}{T_F} V_{E\Delta} \tag{6}$$

식 (1)~(6)에 의해서 상태공간 표현 형태의 식 (7), (8)로 유도할 수 있다.

$$\dot{X} = AX + BU \tag{7}$$

$$Y = CX \tag{8}$$

여기서, X는 상태벡터, Y는 출력신호, U는 입력 신호이다. 상태 변수 X와 선형화된 모델의 행렬 A, B 및 C의 요소는 다음과 같다.

$$X = [\delta_\Delta \ \omega_\Delta \ E_{q\Delta} \ E_{FD\Delta} \ V_{R\Delta} \ V_{E\Delta}]^T$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & \omega_R & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{K_1}{2H} & -\frac{D}{2H} & -\frac{K_2}{2H} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{K_4}{\tau'_{d0}} & 0 & \frac{-1}{K_3 \tau'_{d0}} & \frac{1}{\tau'_{d0}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{K_E}{T_E} & \frac{1}{T_E} & 0 \\ -\frac{K_A K_5}{T_A} & 0 & -\frac{K_A K_6}{T_A} & 0 & \frac{T_A}{T_A} & -\frac{K_A}{T_A} \\ 0 & 0 & 0 & \frac{-K_F K_E}{T_E T_F} & \frac{K_F}{T_E T_F} & -\frac{1}{T_F} \end{bmatrix}$$

$$B = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ K_A/T_A]^T, C = [0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$$

Table 1. System parameters

Synchronous Machine(p.u.)	Excitaion system(p. u.) and Transmission line(p.u.)
$x_d=1.7$	$K_A=400, T_A=0.05$
$x_q=1.64$	$K_F=0.025, T_F=1.0$
$x'_d=0.245$	$K_E=-0.17, T_E=0.95$
$D=0.0$	$V_{Rmax}=5.04, V_{Rmin}=-5.04$
$H=2.37$	$S_{Emax}=0.02, S_{Emin}=0.001$
$\tau_{do}'=5.9$	$R_e=0.02, X_e=0.4$

본 논문에서 사용한 동기기, 여자기 및 전송선로의 파라미터는 표 1에 나타내었다.

3. SVC 모델

본 연구에서 고찰하고자 하는 SVC를 포함한 1기 무한대 모선 계통 모델은 그림 2와 같으며, SVC는 감압 변압기를 경유하여 전력계통에 병렬로 연결되어 무효전력을 흡수 또는 공급함으로써, 전압을 일정하게 유지하거나 원하는 제어동작을 수행하는 장치이다. 기존의 진상 무효전력 보상기인 전력용 콘덴서(Shunt Capacitor)와 지상 무효전력 보상기인 병렬 리액터(Shunt Reactor) 등과는 달리, SVC는 연속적인 제어를 수행함으로써, 동기조상기와 비슷한 제어특성을 가지게 된다. SVC는 목적에 따라 다양한 구성을 가지고 있으나, 가장 일반적인 구조는, 그림 2에서와 같이, 고정된 용량의 커패시터(Fixed Capacitor, FC)와 사이리스터 제어에 의하여 용량이 가변되는 인덕터(Thyristor Controlled Reactor, TCR)가 병렬로 연결된 구조를 가지고 있으며, 전체적으로 사이리스터

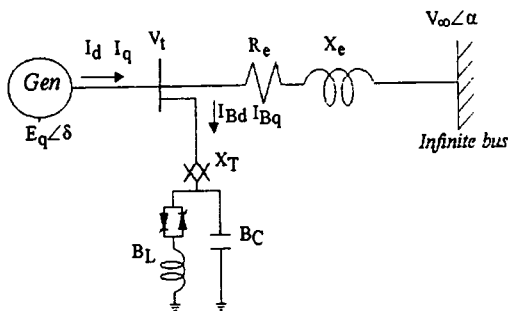


Fig. 2 Single machine-infinite bus with SVC system

스터에 의하여 제어되는 가변 서셉턴스 (Susceptance, B)로 볼 수 있다^{[11]-[14]}.

4. 유전 알고리즘을 이용한 최적 PI 제어기 설계

4.1 유전알고리즘

유전 알고리즘은 1970년대 John holland에 의해 도입된 자연선택과 자연유전의 메카니즘에 기반을 둔 탐색 알고리즘이며, 이는 자연 세계에서 발생하는 진화현상을 모방하여 수학적 표현으로 만든 것이다. 유전 알고리즘은 최적화하기 어려운 목적 함수의 최적화, 신경 회로망의 학습, 퍼지 멤버쉽 함수의 동조, 기계 학습, 시스템 식별 및 제어 등에 널리 응용되고 있다. 또한, 유전 알고리즘은 목적 함수의 미분 가능성 및 연속성에 관계없이 최적해를 구할 수 있고, 해 집단을 동시에 탐색하는 전역적 탐색방법이므로 국부 수렴할 가능성이 적고 복잡한 과정이 필요 없이 주어진 문제를 간단한 알고리즘으로 구현할 수 있다. 아울러 제약 조건이 추가되는 경우에도 소프트웨어의 큰 변화 없이 적용할 수 있는 장점을 가지고 있다^{[15]-[16]}.

유전 알고리즘은 주어진 최적화 문제에 대해 파라미터들을 유한길이의 2진 문자열로 부호화 하여 동작하며, 복제(reproduction), 교차(crossover), 돌연변이(mutation)와 같은 연산자를 사용하여 랜덤하게 동작하는데, 적합도 함수를 사용하여 적합한 문자열을 선택하고, 문자열의 비율을 변화시키며, 문자열의 비트(bit)를 변경시킨다. 마지막으로 해를 디코딩하고 평가하여 최적점을 탐색할 때까지 반복 수행하는 것이다.

1) 파라미터의 부호화

유전 알고리즘에서 염색체 상의 유전자(gene)는 2진 값을 갖는 비트(bit) 단위로 구성되며, 염색체는 유한길이의 2진 문자열로 표현된다. 이것은 초기에 길이가 M이고 N개의 문자열을 갖는 집단(population)을 생성시킨다.

2) 적합도(fitness)의 평가

유전 알고리즘은 해집단 내 개체간의 우열을 평

가하여 더 나은 해집단을 형성하기 위하여 적합도를 필요로 하는데 이는 주로 목적함수로부터 계산된다. 각 세대마다 모든 개체는 적합도에 대한 평가를 시행하고 적합도 값의 결과는 복제, 교배, 돌연변이 등에 중요한 정보가 된다.

3) 복제(reproduction)

복제 연산자는 잘 적응한 해들은 살아남고 잘 적응하지 못한 해들은 도태되도록 유도함으로써 자연선택(natural selection) 현상을 모델링한다. 즉, 높은 적합도를 가진 염색체일수록 다음 세대에 복제될 확률이 높다. 복제의 방법은 여러 가지가 있지만 보통 룰렛 휠에 의한 선택 방법(roulette wheel selection)을 사용한다.

4) 교배(crossover)

생물체에서 하나의 염색체에 여러 개의 유전자가 일직선상으로 늘어서 염색체와 행동을 같이 하게 되는 데 이러한 현상을 연관(association)이라 한다. 마찬가지로 유전 알고리즘에서 2진 값을 갖는 인공의 유전자들은 스트링 상에서 비트 수만큼 연관된 것으로 볼 수 있다.

생태계에서 염색체는 각각의 일부 유전자를 서로 교환하는 현상이 발생한다. 이러한 현상을 교배(crossover)라 한다. 교배를 통해 유전자가 교환되는 과정은 유한 개수의 염색체를 갖는 개체가 생식을 통한 유전적 다양성을 얻는 것과 관련하여 중요한 현상이다. 일반적으로 두 스트링간에 교차가 일어날 확률은 0.6~0.95 범위로 설정한다.

탐색 과정에 염색체간의 국부적 동작(local

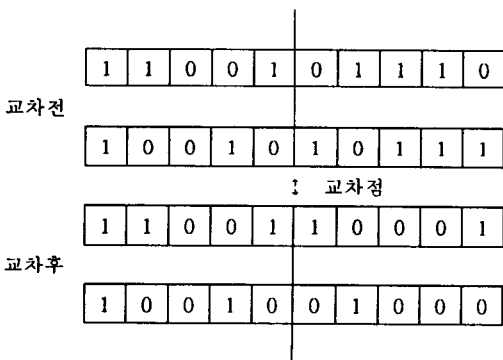


Fig. 3 Crossover

action)을 통해 어버이보다 더욱 나은 전역적 성능(global performance)을 얻을 수 있는 점이 유전적 탐색 방법의 장점 중의 하나이며, 교배는 그 핵심적 역할을 수행한다.

5) 돌연변이(mutation)

유전자의 돌연한 형태 변화로 새로운 형질이 발생하게 되는 현상을 돌연변이라 한다. 돌연변이는 생물의 진화에서 교차와 마찬가지로 중요한 요인이 된다. 일반적으로 유전 알고리즘에서는 돌연변이에 의해 국부 탐색(local search)은 물론 탐색 공간을 다양하게 이동(global shift)하는 것이 가능하다. 그러나, 한편으로 돌연변이는 환경에 대한 적응성과는 무관하게 랜덤하게 발생하므로 그 발생 확률은 0.001~0.01 범위에서 설정하고, 너무 크게 하면 중요한 형질을 잃을 가능성이 있다. 따라서 너무 크지 않도록 사전에 주의해서 선택해야 한다.

이상의 유전알고리즘 흐름도는 그림 4와 같다.

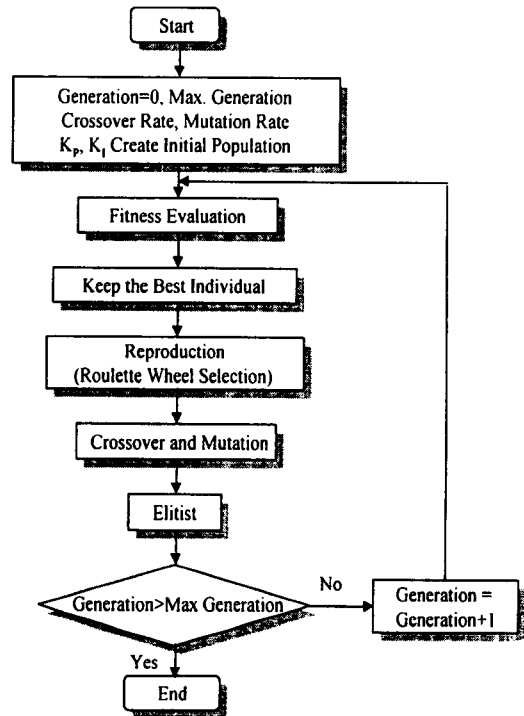


Fig. 4 Flowchart of genetic algorithm

4.2 SVC를 포함한 전력계통의 최적 GA-PI 제어기 설계

본 논문에서는 PI 제어기의 KP, KI의 파라미터를 구하기 위하여 유전 알고리즘을 적용하였다. SVC를 포함한 1기 무한대 모선 계통에 있어서 PI 제어기와 유전 알고리즘을 합성하는 방법은 다음과 같다. PI 제어기의 파라미터 모두를 1개의 문자

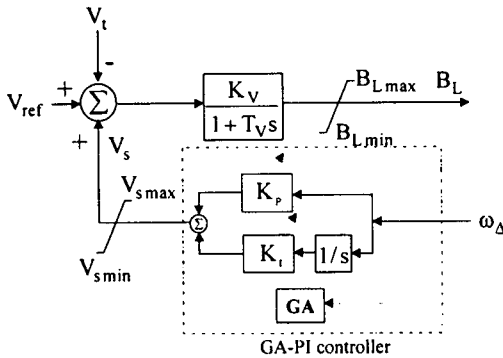


Fig. 5 Block diagram of SVC GA-PI controller system

Table 2. SVC parameters and initial operation condition(p.u.)

K_V	$T_V(\text{sec})$	B_C	X_R	B_{LO}	B_{Lmax}	B_{Lmin}	V_{smax}	V_{smin}
10.0	0.15	0.6	0.08	-0.45	-0.30	-0.90	0.12	-0.12

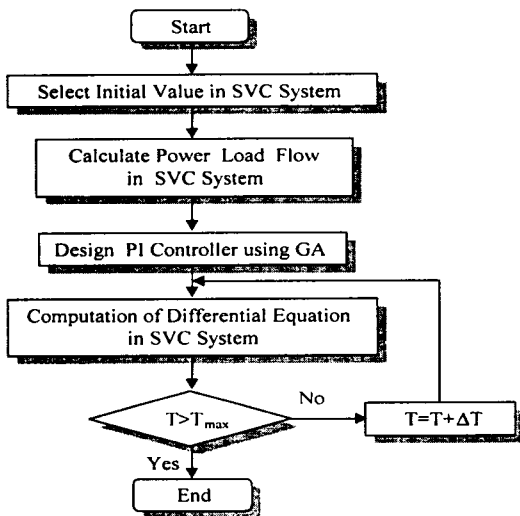


Fig. 6 Calculation flowchart of optimal PI controller using GA in SVC system

열로 만들어 총 N개의 문자열로 해집단을 구성하였다. 그리고 해집단의 각 스트링을 평가하기 위하여 사용된 적합도 함수는 발전기 각속도의 절대치 편차의 합을 사용하였다.

$$\text{fitness} = \frac{1}{1 + \sum_{m=1}^M |\omega_{\Delta}|} \quad (9)$$

여기서, m은 한 문자열이 PI 제어기 파라미터와 합성하여 시스템에 적용되었을 경우의 한 샘플링을 말하며 M은 총 샘플링 개수이다

이상의 유전 알고리즘을 사용한 SVC 계통의 최적 PI 제어기의 기본 구조는 그림 5에 나타내었다. 또한 여기에 사용한 파라미터를 표 2에 나타내었다.

유전알고리즘을 이용한 SVC 계통의 최적 PI 제어기를 포함한 계산 흐름도는 그림 6과 같다.

5. 시뮬레이션 결과

제안한 GA-PI 제어기의 성능을 평가하기 위해 SVC를 포함한 1기 무한대 모선계통에 적용하여 중부하시($P_e=1.3, Q_e=0.595$), 정상부하시($P_e=1.0, Q_e=0.595$) 및 경부하시($P_e=0.7, Q_e=0.595$)에 시뮬레이션을 수행하였다. 이때 사용한 집단수는 100, 교차 확률은 0.8, 돌연변이 확률은 0.01로 하였다. 유전알고리즘을 이용하여 각 부하시에 구한 KP, KI의 개인 값은 다음 표 3과 같다. 또한 목적 함수 적합도는 그림 7과 같다.

그림 8은 각 시스템의 고유치 분포를 나타내고 있다. 그림 8에서와 같이 주요 진동 모드의 고유치가 시스템에 상당한 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 본래 시스템에서 주요 전기적 진동 모드의 계동비는 0.521[%]로 약한 계동비를 가지므로 시스템 응답은 장시간 진동한다는 것을 알 수 있고, SVC를 포함한 시스템에서 제어기가 없는 경우에는 전기적 진동 모드의 계동비가 0.639[%]로 본래의 시스템보다는 약간 나은 계동비를 가지나 역

Table 3. Parameters of optimal PI controller using genetic algorithms.

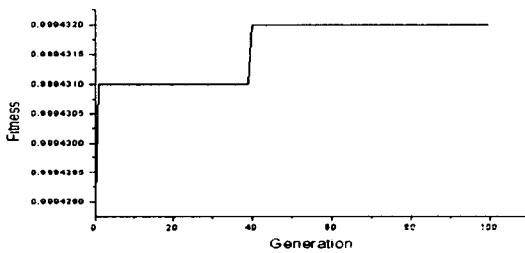
	중부하시	정상부하시	경부하시
K_P	42.4659	42.22063	44.74
K_I	6.69179	2.3178	23.6997

시 장시간 진동한다는 것을 알 수 있다. 하지만 SVC를 포함한 시스템에서 GA-PI 제어기를 가진 경우에는 전기적 진동 모드의 제동비가 32.655[%]로 상당히 개선되어 시스템 응답이 빠른 시간에 수렴한다는 것을 알 수 있다.

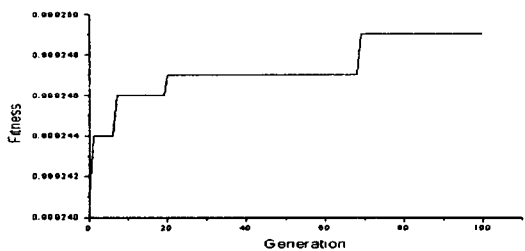
그림 9는 중부하시($P_e=1.3, Q_e=0.595$)에 초기 전력을 100[m] 동안 5[%] 변동한 경우에 SVC를 포함한 시스템에 GA-PI 제어기를 적용한 경우, SVC를 포함한 시스템에 제어기가 없는 경우와 본래의 시스템에 대해서 응답특성을 나타내었다. 그림 9의 (a)에서는 발전기의 각속도 편차 특성이 본래의 시스템과 제어기 없는 SVC를 포함한 시스템과는 별로 차이가 없이 장시간 진동하고 있으나 GA-PI 제어기를 적용한 SVC를 포함한 시스템은

정정시간이 약 0.5[sec]로 우수한 응답 특성을 보이고 있다. 마찬가지로, 그림 9의 (b)에서 본래의 시스템보다 SVC를 포함한 시스템이 개선된 응답 특성을 보이고 있고, 장시간 진동함을 알 수 있다. 그러나 GA-PI 제어기를 이용한 SVC를 포함한 시스템은 정정시간이 약 1[sec]로 우수한 응답 특성을 보이고 있다.

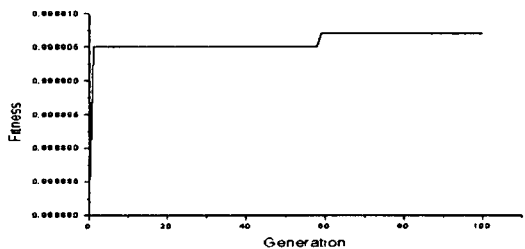
그림 10과 그림 11은 각각 정상부하시($P_e=1.0$,



(a) 중부하시



(b) 정상부하시



(c) 경부하시

Fig. 7 Fitness

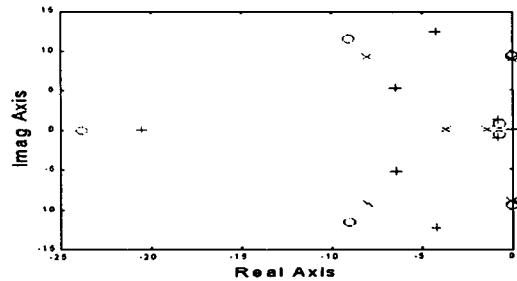
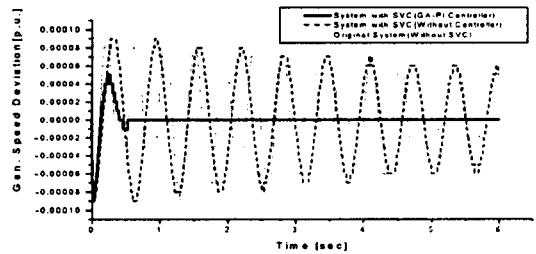
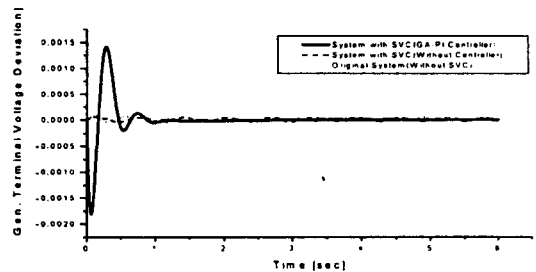


Fig. 8 System eigenvalues

- (+ : System with SVC(GA-PI Controller),
- o : System with SVC(Without Controller),
- x : Original System(Without SVC))

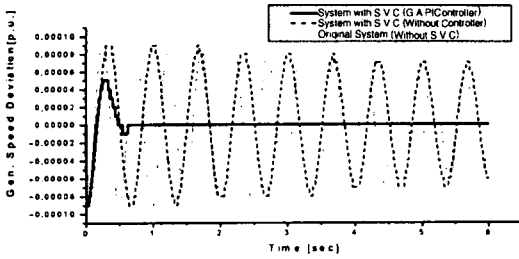


(a) Generator speed deviation

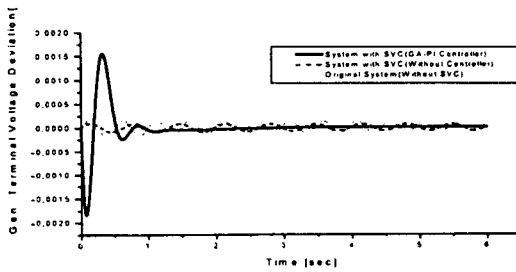


(b) Generator terminal voltage deviation

Fig. 9 Response to decreasing power 5[%] disturbance duration 0.1[sec] as heavy load($P_e=1.3, Q_e=0.595$)



(a) Generator speed deviation



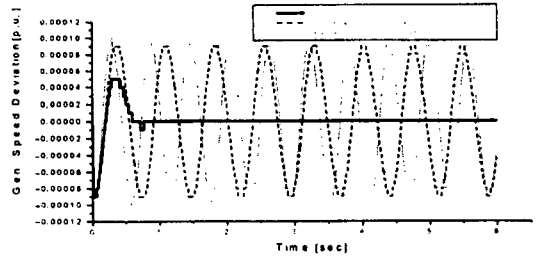
(b) Generator terminal voltage deviation

Fig. 10 Response to decreasing power 5[%] disturbance duration 0.1[sec] as normal load($P_e=1.0, Q_e=0.595$)

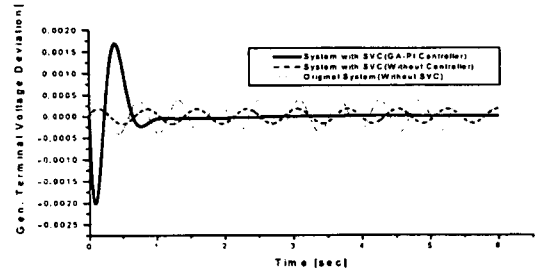
$Q_e=0.595$), 경부하시($P_e=0.7, Q_e=0.595$)에 초기 전력을 100[ms] 동안 5[%] 변동한 경우에 시스템 동특성을 나타내었다. 마찬가지로 SVC를 포함한 시스템에 GA-PI 제어를 적용한 경우가 본래의 시스템 및 SVC를 포함한 제어기 없는 시스템 보다 우수한 응답 특성을 보이고 있다.

6. 결 론

본 논문에서는 FACTS 기기의 일종인 SVC에 의한 시스템 안정도를 향상시키기 위한 PI 제어기의 계수를 결정하는데 종래의 일반적인 방법과는 달리, 자연 생태계의 진화를 모의한 전역적 탐색 최적화 기법인 유전 알고리즘을 이용하여 설계하였다. 제안한 방법의 강인성을 검증하기 위해 중부하시, 정상부하시 및 경부하시에 적용하여 고유치 해석과 시뮬레이션을 통하여 제어성능을 검토하여, 우수한 제어 성능을 가지는 제어기를 최적화 기법인 유전알고리즘에 의해서 설계할 수 있음을



(a) Generator speed deviation



(b) Generator terminal voltage deviation

Fig. 11 Response to decreasing power 5[%] disturbance duration 0.1[sec] as light load($P_e=0.7, Q_e=0.595$)

확인하였다.

중요한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 유전알고리즘을 이용한 PI 제어기의 파라미터 선정이 매우 효과적임을 알 수 있었다.
- (2) 유전알고리즘을 이용한 주요 진동 모드의 제동비가 매우 강인하게 증가하였음을 알 수 있다.
- (3) 중부하시, 정상부하시 및 경부하시에 SVC를 포함한 계통에 GA-PI 제어기를 적용한 경우가 본래의 시스템 및 SVC를 포함한 계통에 제어기 없는 경우보다 시스템 안정도에 크게 기여함을 알 수 있었다.

참고문헌

[1] Yao-nan Yu, "Electric Power System Dynamic", Academic Press, INC, 1983.
 [2] A. E. Hammad, "Analysis of Power System Stability Enhancement by Static Var

Compensators", IEEE Trans. PWRs, Vol. 1, No. 4, pp. 222~227, 1986.

[3] M. O'Brien and G. Ledwich, "Static Reactive Power Compensator Controls for Improved System Stability", IEE Proc., Vol. 134, No. 1, pp. 38~42, 1987.

[4] C. H. Cheng and Y. Y. Hso, "Application of a Power System Stabilizer and a Static Var Controller to a Multi-machine Power System", IEE Proc., Vol. 137, No. 1, pp. 8~12, 1990.

[5] K. R. Padiyar and R. K. Varma, "Damping Torque Analysis of Static Var System Controllers", IEEE Trans. PWRs. Vol. 6, No. 2, pp. 458~465, 1991.

[6] IEEE Special Stability Controls Working Group, "Static Var Compensator Models for Power Flow and Dynamic Performance Simulation", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 9, pp. 229-240, 1994.

[7] E. Z. Zhou, "Application of Static Var Compensators to Increase Power System Damping", IEEE Trans. PWRs, Vol. 8, No. 2, pp. 655~661, 1993.

[8] C. J. Wu and Y. S. Lee, "Damping of Synchronous Generator by Static Reactive Power Compensator with Digital Controller", IEE Proc., Vol. 138, No. 5, pp. 427~432, 1991.

[9] P. Kundur, "Power system stability and control", McGraw-Hill, Inc., 1994.

[10] H. H. Chung, Y. P. Wang, D. R. Hur and Y. H. Moon, "A Design of Optimal PID Controller in HVDC Transmission System Using Modified Genetic Algorithm", KIEE Trans., Vol. 48, No. 3, pp. 247~256, 1999.

[11] CIGRE Working Group 38-01; Task Force No. 2 on Static Var Compensators, Static Var Compensators, 1986.

[12] P. M. Anderson and A. A. Found, "Power System Control and Stability", IEEE Press. New York, 1993

[13] C. S. Chen and C. T. Hsu, "The Simplified Linear Model Derivation of Power Systems with Static VAR Compensators to Improve System Damping", IEEE/KTH Stockholm Power Tech Conference, pp. 370~375, 1995

[14] K. S. Moon, K. M. Son, T. G. Lee, S. K. Lee and J. K. Park, "Coordinated Control of SVC and ULTC Considering Reactive Power Compensation Margin", KIEE Trans., Vol. 48, No. 4, pp.351~357, 1999

[15] N. Shimamoto, A. Hiramatsu and K. Yamasaki, "A Dynamic Routing Control Based on a Genetic Algorithm", Proc. of 1993 International Joint Conference on Neural Networks, pp. 1123~1128, 1993

[16] A. Varsek, T. Vrbancic, and B. Filipic, "Genetic algorithms in controller design and tuning", IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 23, No. 5, pp. 1330~1339, 1993

저 자 소 개



정형환(鄭亨煥)

1941년 1월 19일 생. 196년 연세대 공대 전기공학과 졸업. 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 동아대 공대 전기전자컴퓨터공학부 교수. 당학회 정회원



허동렬(許東烈)

1969년 11월 10일 생. 1995년 동아대 공대 전기공학과 졸업. 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정, 당학회 정회원



이종민(李宗珉)

1973년 02월 12일 생. 1999년 동아대 공대 전기공학과 졸업. 현재 동 대학원 석사과정, 당학회 회원



주석민(朱碩珉)

1965년 5월 11일 생. 1992년 동아대 공대 전기공학과 졸업. 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 동아대 정보기술연구원 특별연구원, 당학회 정회원