

전력시스템의 안정도 향상을 위한 GA-퍼지 전 보상기 설계

정문규* · 김상호* · 정형환* · 이동철**
 *동아대학교 전기공학과 **부경대학교 전기공학과

Design of GA-Fuzzy Precompensator for Enhancement of Power System Stability

Mun-Kyu Chung* · Sang-Hyo Kim* · Hyeng-Hwan Chung* · Dong-Chul Lee**
 *Dept. of Electrical Eng., Dong-A Univ. **Pukyong National Univ.

Abstract - In this paper, we design a GA-fuzzy precompensator for enhancement of power system stability. Here, a fuzzy precompensator is designed as a fuzzy logic-based precompensation approach for Power System Stabilizer (PSS). This scheme is easily implemented simply by adding a fuzzy precompensator to an existing PSS. And we optimize the fuzzy precompensator with a genetic algorithm for complements the demerit such as the difficulty of the component selection of fuzzy controller, namely, scaling factor, membership function and control rules. Simulation results show that the proposed control technique is superior to a conventional PSS in dynamic responses over the wide range of operating conditions and is convinced robustness and reliableness in view of structure.

1. 서 론

최근 전력시스템의 저주파 진동 억제를 위한 전력시스템 안정화 장치(Power System Stabilizer, PSS)의 설계를 위한 노력의 일환으로 퍼지이론, 신경회로망 및 유전알고리즘 등과 같은 지능제어형 기법이 연구되어지고 있다. 이중 퍼지 제어가 우수한 제어성능을 나타내기 위해서 퍼지규칙과 퍼지변수의 멤버쉽함수를 조정해야 하는데, 종래에는 전문가의 경험과 시행착오법에 바탕을 두었기 때문에 시스템에 대한 전문적인 지식 없이는 시스템에 적합한 퍼지의 구성요소를 결정하기가 어려웠다. 이러한 문제의 해결책으로 본 논문에서는 유전알고리즘을 이용하였다. 유전알고리즘은 문제를 나타내는 탐색 공간에서 가능성 있는 후보해들에 대해 자연의 적자생존과 개체선택방법을 모방하여 유전연산을 적용시켜 해들을 진화시킴으로써 최적해를 찾는 탐색 알고리즘이다.

한편 본 논문에서는 PID 제어기와 퍼지 제어기의 장점을 이용하여 설계된 하이브리드형 제어기에 관한 연구들[2,3]에서 착안하여 PSS와 퍼지 제어를 함께 이용한 전 보상형 형태의 PSS를 제안하고자 한다. 최근 2지역으로 연계된 전력시스템의 부하주파수 제어에 이러한 연구가 이루어진 바 있다[3]. 따라서 본 연구에서는 전력시스템의 안정도 향상을 위해 종래에 설계된 PSS를 교체하지 않고, 지능형 제어를 간단히 설치할 수 있는 전 보상의 형태로서 유전알고리즘을 이용한 퍼지 전 보상기를 설계하고자 한다.

2. 시스템 모델

그림 1은 동기기 및 여자기를 포함한 1기 무한대 모선 전력시스템의 블록선도이다. 이 모델은 기계적 입력을 고정시킨 후($\Delta T_m = 0$) 평형상태에서 선형화한 것으로서, 다가 시스템 안정도 해석에 사용될 수 있으며, 특히 저주파수 진동을 해석하기 위한 모델이다[1].

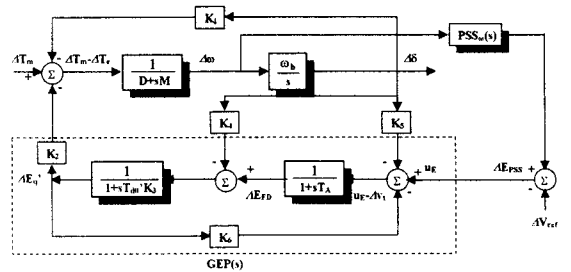


그림 1 1기 무한대 모선의 전력시스템

3. 유전 알고리즘에 의한 퍼지 전 보상기의 자동규칙 발생

전력시스템의 안정도 향상을 위해 본 논문에서 제안하는 GA-퍼지 전 보상기의 블록선도는 그림 2와 같다. 여기서, 퍼지 전 보상기의 각 구성요소를 시행착오법이 아닌 자동으로 최적화하기 위해 유전알고리즘을 이용하였다. 여기서, 최적화하고자 하는 퍼지 전 보상기의 구성요소는 스케일링 계수, 멤버쉽함수, 제어규칙이다.

그림 3은 퍼지 전 보상기의 각 구성요소를 최적화하기 위한 탐색체 구조이다. 본 논문에서 제안한 탐색체는 실수 스트링을 사용하여 표현하였다. 탐색체의 길이는 다음과 같다. 퍼지 전 보상기의 입력력인 e , Δe 와 y_1 에 대해 스케일링 계수는 각각 GE, GCE와 GY_1 로서 3개, 멤버쉽함수는 전진부의 경우 퍼지 전 보상기의 입력력인 e 와 Δe 에 대해 입력 분할 수가 Negative, Zero, Positive이고, 각 멤버쉽함수를 표현하는데 필요한 변수는 Center와 Width이므로 전진부 스트링의 총 길이는 $2 \times 3 \times 2 = 12$ 개가 된다. 또 후진부의 경우 퍼지 전 보상기의 출력력인 y_1 에 대해 입력 분할 수가 역시 Negative,

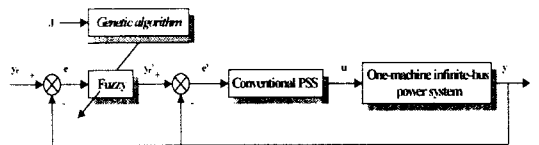


그림 2 PSS의 보상을 위한 GA-퍼지 전 보상기의 구조

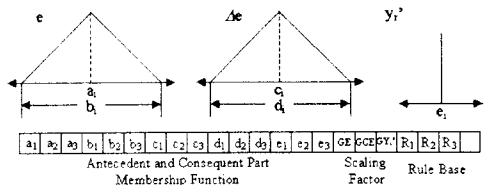


그림 3 제안된 탐색체 구조

Zero, Positive이고, 필요한 변수는 Center이므로 후건부 스트링의 총 길이는 $1 \times 3 \times 1 = 3$ 개가 된다. 그러므로 전건부와 후건부의 멤버쉽함수 최적화를 위한 스트링의 총 길이는 15개이며, 마지막으로 제어규칙의 스트링 길이는 9개이다. 그러므로 각 구성요소에 대한 총 스트링 길이는 27개이다. 그림 3에서 전건부의 e에 대한 멤버쉽함수의 중심점 a, 폭 b와 Δe 에 대한 멤버쉽함수의 중심점 c, 폭 d가 차례로 염색체로 구성되며, 이어서 후건부 파라미터인 e가 배치된다. 그 다음에는 스케일링 계수에 대한 변수가 염색체로 구성되며, 마지막으로 제어규칙이 염색체로 구성된다. 이렇게 구성된 염색체는 하나의 긴 염색체를 구성하며 이 염색체를 사용하여 유전 알고리즘이 수행된다. 새롭게 생성된 개체들도 모두 같은 구조를 따르며, 각 개체를 평가할 때에는 퍼지 전보상기의 구성요소를 추출하고 추출된 구성요소에 의한 퍼지 전보상기를 이용하여 평가하게 된다. 각 개체의 적합도를 평가하는 적합도 함수는 보통 풀고자하는 최적화 문제의 목적함수나 다른 주관적 평가함수에 의해 결정된다. 일반적으로 퍼지 전보상기의 최적화는 평가함수값을 최소화시키는 퍼지 전보상기의 구성요소를 찾아내는 것이다. 따라서 본 논문에서 사용된 평가함수는 식 (1)과 같고, 적합도 함수는 식 (2)와 같이 정의하였다.

$$J = \int_0^{t_1} (\alpha|\Delta\omega| + \beta|\Delta\delta| + \gamma|\Delta v_i|) dt \quad (1)$$

$$\text{Fitness}(J) = \frac{1}{1 + \min J} \quad (2)$$

식 (1)에서 t_1 은 적분시간이며, α, β, γ 는 가중치이다. 식 (2)의 적합도 함수는 퍼지 전보상기가 기준신호에 빨리 도달하고 정상상태 오차가 최소가 될 때, 최대의 값을 갖는다. 이렇게 정의되어진 적합도 함수는 각 개체가 다음 세대에 생존할 가능성의 척도가 되며 이 적합도가 큰 개체는 다음 세대에 생존할 가능성이 크게 되며 이와 반대로 적합도가 작은 개체는 생존할 가능성이 작게 된다.

4. 시뮬레이션 결과 및 고찰

본 논문에서는 전력시스템의 저주파 진동의 억제를 위해 GA-퍼지 전보상기를 설계하였다. 보상기 설계 시에는 먼저, 퍼지 전보상기의 입력력 요소인 e, Δe 와 y_r 에 대해서 3개의 퍼지변수(Negative, Zero, Positive)를 초기 설정하고, 유전 알고리즘을 이용하여 퍼지 전보상기의 전건부 및 후건부의 중심치와 폭, 스케일링 계수와 제어규칙을 계산하게 된다. 이 구성요소에 의한 제어 성능은 평가함수가 최소화 될 때까지 반복계산 하게 된다. 제안한 제어기의 유용성을 입증하기 위하여 종래의 Yu의 보상기 설계이론에 의한 PSS(1)를 이용하였을 경우에 대하여 시뮬레이션을 통하여 동특성을 비교, 고찰하였다.

4.1 정상부하시

첫 번째 사례연구로서는 유효전력 $P_{e0} = 1.0$ (p.u.)와 무효전력 $Q_{e0} = 0.015$ (p.u.)의 정상부하시 발전기 회전자각 편차 $\Delta\theta$ 이 0.1(p.u.)로 변한 경우로 운용조건을 설정하였다. 유전 알고리즘의 초기 파라미터는 표 1과 같고, 최적화된 퍼지 전보상기의 각 구성요소의 값들은 각각 표 2, 표 3과 그림 4와 같다. 여기서, 그림 4는 멤버쉽함수의 동조과정과 최적화된 중심값과 폭을 나타내고 있다. 또 각 세대에 따른 최대적합도와 평균적합도는 그림 5의 (a)와 같으며, 평가함수가 최소화되고 있는 과정을 그림 5의 (b)에서 보여주고 있다.

정상부하시 종래의 PSS와 제안된 GA-퍼지 전보상기에 대한 동특성 응답은 그림 6과 같다. 발전기 각속도 편차 $\Delta\omega$ 와 회전자각 편차 $\Delta\theta$ 의 응답특성에서 제안된 PSS가 저주파 진동을 매우 빨리 감쇠시킴을 볼 수 있

다. 또한 단자전압 편차 ΔV_t 의 응답특성에서도 종래의 PSS보다 정정시간면에서 우수한 특성을 나타내고 있음을 알 수 있다.

표 1 초기 파라미터

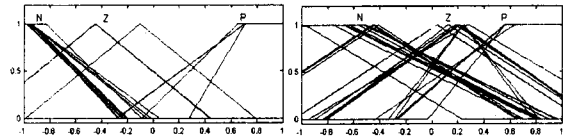
Parameters	Values
Population size	20
Number of generation	200
Crossover rate	0.85
Mutation rate	0.01

표 2 최적화된 스케일링 계수

GE	GCE	GYr'
0.062562	0.004254	0.179892

표 3 최적화된 퍼지규칙

		Δe		
		N	Z	P
e	N	N	Z	Z
	Z	Z	N	N
	P	Z	Z	Z



Label	N	Z	P	Label	N	Z	P
Final Center	0.830372	0.149260	0.707158	Final Center	0.523109	0.180480	0.561130
Final Width	1.479594	1.780739	1.971672	Final Width	2.931676	2.154405	1.661598

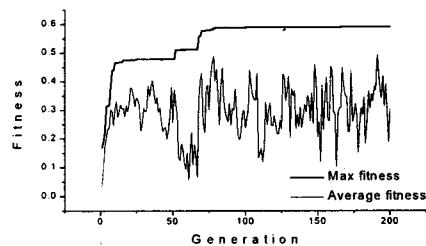
(a) Error

(b) Change of error

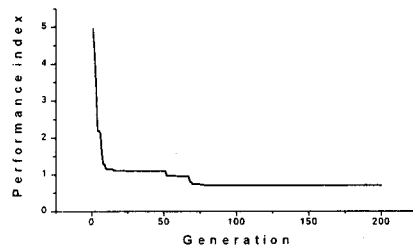
	N	Z	P
y_r'	-0.526376	0.305757	0.783012

(c) Final center values of consequent part

그림 4 최적화된 멤버쉽함수

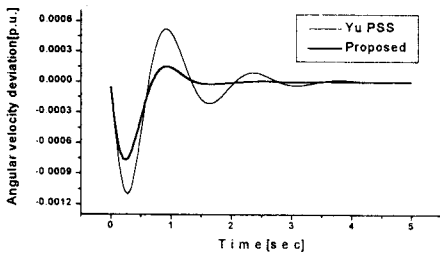


(a) Max and average fitness

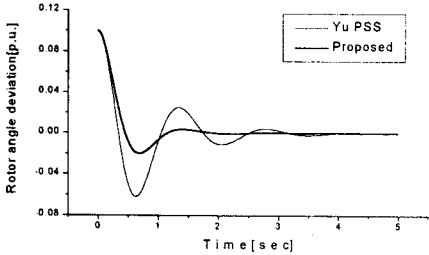


(b) Performance index

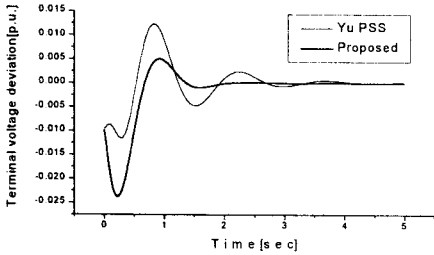
그림 5 적합도와 평가함수



(a) 발전기 각속도 편차 $\Delta\omega$

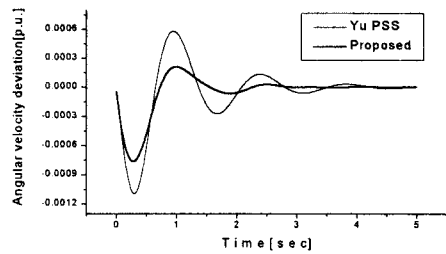


(b) 발전기 회전각 편차 $\Delta\delta$

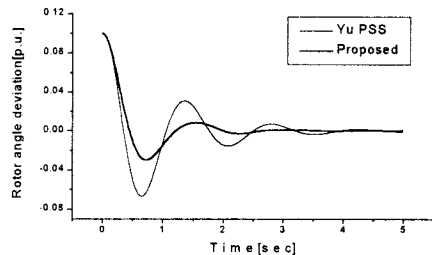


(c) 단자전압 편차 ΔV_t

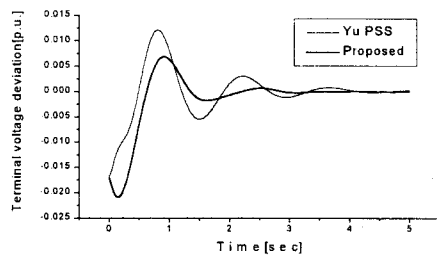
그림 6 정상부하시 전력시스템의 동특성 응답 ($\Delta P_{e0}=1.0$ [p.u.], $\Delta Q_{e0}=0.015$ [p.u.])



(a) 발전기 각속도 편차 $\Delta\omega$



(b) 발전기 회전각 편차 $\Delta\delta$



(c) 단자전압 편차 ΔV_t

그림 7 중부하시 전력시스템의 동특성 응답 ($\Delta P_{e0}=1.3$ [p.u.], $\Delta Q_{e0}=0.015$ [p.u.])

4.2 중부하시

부하조건 변화로 유효전력 $P_{e0}=1.0$ [p.u.]에서 $P_{e0}=1.3$ [p.u.]로 30% 증가한 중부하시 발전기 회전각 편차 $\Delta\delta$ 의 초기치를 0.1[p.u.] 변화시킨 경우로 시스템 운용조건을 설정하였다. 그림 7에서 발전기 각속도 편차 $\Delta\omega$, 회전각 편차 $\Delta\delta$ 및 단자전압 편차 ΔV_t 의 응답 특성에서 제안한 GA-퍼지 전 보상기가 종래의 PSS보다 성능이 우수한 동특성을 보이고 있다. 따라서 제안된 제어 장치는 폭넓은 범위상에서도 전력시스템 안정화에 매우 효과적임을 알 수 있었다.

5. 결 론

본 논문에서는 종래의 만족스럽게 설계된 PSS를 보상하기 위해 GA-퍼지 전 보상기를 이용하는 새로운 설계방식과 이를 전력시스템에 적용하는 문제를 다루었다. 전력시스템 안정도 향상을 위한 GA-퍼지 전 보상기 설계의 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 퍼지 전 보상기 설계시 최적화에 강인한 유전알고리즘을 이용하였으며, 종래의 퍼지 전 보상기의 구성요소(스케일링 계수, 멤버십함수, 제어규칙) 선정시 사용되었던 시행착오법이나 부분적인 최적화는 달리 자동모든 퍼지 전 보상기의 구성요소를 최적화시켰다. 또 전 보상형 제어기법이 현재 전력시스템에 사용중인 PSS에 간단히 설치될 수 있는 제어구조를 가지고 있음을 보였다.

둘째, 2가지 경우의 사례연구를 통하여 종래의 보상기 설계이론에 의한 PSS와 GA-퍼지 전 보상기의 성능을 비교, 고찰하였다. 정상부하시 및 중부하시의 사례연구를 통하여 제안된 제어 장치의 전력시스템 안정화에 효과적임을 알 수 있었고, 또한 강인성을 검증하였다.

현재 본 논문의 기본기법을 바탕으로 비선형 시뮬레이션을 통해 전 보상기의 장점인, 선형 제어기에서 해결하지 못하는 비선형 성분을 만족스럽게 보상해주는 연구를 수행하고 있으며, 퍼지, 신경회로망, 유전알고리즘과 이들의 하이브리드형 설계에 관한 체계적인 비교, 고찰에 관한 연구가 이루어지고 있다.

본 연구는 한국전력공사의 지원에 의하여 기초전력공학공동연구소 주관으로 수행되었음. (과제관리번호 : 제 00-019 호)

(참 고 문 헌)

- [1] Y. N. Yu, "Electric Power System Dynamics", Academic Press, 1983.
- [2] J. H. Kim, K. C. Kim and E. K. P. Chong, "Fuzzy Precompensated PID Controllers", IEEE Trans. on Control Systems, Vol. 2, No. 4, pp. 406-411, 1994.
- [3] 정형환, 왕용필, 이정필, 정문규, "유전 알고리즘을 이용한 전력계통의 부하주파수 제어를 위한 퍼지 전 보상 PID 제어기 설계", 전기학회논문지, 제49권, 제2호, pp. 62-69, 2000.