

적응진화알고리즘을 이용한 신경망-전력계통안정화장치의 설계

박재영* · 최재곤* · 황기현** · 박준호***

* 부산대학교 전기공학과 석사과정 ** 부산대학교 전기공학과 박사과정 *** 부산대학교 전기공학과 교수

A Design of Artificial Neural Network Power System Stabilizer Using Adaptive Evolutionary Algorithm

Je-Young Park* · Jae-Gon Choi* · Gi-Hyun Hwang** · J. H. Park***

Department of Electrical Engineering, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea

Abstract - This paper presents a design of artificial neural network power system stabilizer (ANNPSS) using adaptive evolutionary algorithm (AEA). We have proposed an adaptive evolutionary algorithm which uses both a genetic algorithm (GA) and an evolution strategy (ES), using the merits of two different evolutionary computations. ANNPSS shows better control performances than conventional power system stabilizer (CPSS) in three-phase fault with heavy load which is used when tuning ANNPSS. To show the robustness of the proposed ANNPSS, it is applied to damp the low frequency oscillation caused by disturbances such as three-phase fault with normal and light load. the proposed ANNPSS shows better robustness than CPSS.

인성을 평가하기 위하여 1기 무한대 모선 계통에 적용하여 비선형 시뮬레이션을 수행하였다. 사례연구 결과, ANNPSS의 동조에 사용된 중부하시의 3상 고장에 대해 ANNPSS가 기존의 전력계통안정화장치(Conventional power system stabilizer : CPSS)[1]보다 더 우수한 제어 성능을 나타내었다. 그리고 제한한 ANNPSS의 강인성을 평가하기 위해 중부하시 발전기 위상각 변화, 정상부하 및 경부하시의 3상 고장에 대해서도 ANNPSS가 CPSS보다 나은 제어 성능을 나타내었다.

1. 서 론

2. 계통 모델

전력계통의 안정도 문제를 개선하기 위한 전력계통안정화장치 (power system stabilizer : PSS)에 관한 연구가 1960년대 후반부터 진행되어 왔다. 기존의 전력계통안정화장치로 진·지상제어기가(CPSS) 많이 사용되는데, 진·지상제어기의 계수들을 결정하기 위해서 근궤적과 보드선도를 이용하는방법[1,2]등이 사용되었다. 이런 방법들은 특정 동작점에서는 좋은 제어성능을 나타내지만, 다른 동작점에서는 최적의 제어성능을 얻기가 어렵다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 적응제어 이론을 도입하여 PSS에 적용 능력을 부여하고자 하는 방법이 제안되었다[3]. 이 방법은 동특성을 향상시켰지만, 계산시간과 계산량을 많이 요구하기 때문에 실시간으로 제어가 어렵다는 단점이 있다.

본 논문에서 사용한 모델계통은 그림 1과 같은 1기 무한대 모선 계통을 사용하였다. 전력계통의 해석시 가장 중요한 요소인 발전기 모델은 1축 비선형 모델을 사용하였으며, 여자기는 하나의 시정수로 표현되는 여자시스템을 사용하였다.

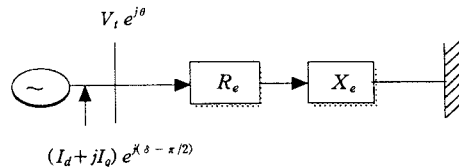


그림 1 1기 무한대 모선

최근에는 전력계통의 동특성을 향상시키기 위한 퍼지 제어기와 신경망제어기와 같은 지능제어방법[4,5]이 많이 연구되고 있다. 그러나 신경망 제어기가 최적의 제어성능을 얻기 위해서는 신경망의 연결강도를 동조해야 하는데, 최근에는 자연의 유전학과 진화이론에 바탕을 둔 확률적인 최적화 알고리즘인 진화연산을 이용하여 신경회로망의 연결강도를 동조하여 좋은 제어성능을 얻고 있다[6].

3. 적응진화알고리즘

본 논문에서는 적합도에 따라 복제하는 과정에서 유전알고리즘과 진화전략이 적용될 해집단의 비율이 적응적으로 변경되는 적응진화알고리즘 (adaptive evolutionary algorithm : AEA)을 개발하였다. 이를 이용하여 신경망-전력계통안정화장치 (artificial neural network power system stabilizer : ANNPSS)의 연결강도를 동조하였다. 제한한 ANNPSS의 강

본 논문에서는 제안한 적응진화연산은 해집단을 다음 세대로 진화시킬 때 유전알고리즘과 진화전략을 동시에 적용하고 세대와 진행과정에서 유리한 진화방법이 다음세대의 해집단을 형성하는데 우위를 점하도록 하였다. 이러한 적응진화알고리즘[7]의 과정은 초기해집단을 구성할 때 각 스트링에 대해서 태그변수 0(유전알고리즘의 개체) 또는 1(진화전략의 개체)을 임의로 대응시킨 후, 각 개체의 적합도를 계산하고 룰렛휠(roulette wheel)을 사용하여 적합도에 따라 복제한다. 복제된 개체는 태그변수에 따라 유전알고리즘의 해집단과 진화전략의 해집단을 분리한 후, 유전알고리즘의 해집단에 대해 교배 및 돌연변이를 수행하고 진화전략의 해집단에 대해 돌연변이를 수행한다.

4. 적응진화알고리즘을 이용한 신경망-전력 안정화장치 설계

4.1 신경회로망제어기

그림 2와 같이 신경망 제어기의 입력으로는 발전기 각속도의 오차를 사용하였으며, 입력층은 3개의 뉴런, 은닉층1은 5개의 뉴런, 은닉층2는 3개의 뉴런으로 구성된 다층 전방향 신경망을 이용하였다

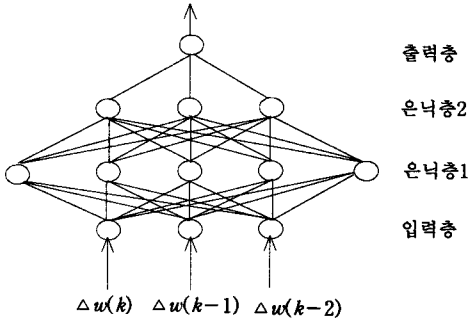


그림 2 Artificial Neural Network

4.2 적응진화알고리즘을 이용한 ANNPS 설계 방법

그림 3은 적응진화알고리즘을 이용하여 ANNPS의 연결강도를 동조하기 위한 구성도를 나타내었다. 그림 3에서 적응진화알고리즘을 이용하여 ANNPS의 연결강도를 동조하기 위한 스트링 구조는 그림 2에서 보는 바와 같이 입력층의 뉴런의 수가 3개, 은닉층1의 뉴런의 수가 5개, 은닉층2의 뉴런의 수가 3개 및 출력층의 뉴런의 수가 1개를 사용하였기 때문에, 총 33개의 연결강도를 하나의 스트링으로 구성하였으며, 그림4와 같다. 해집단의 각 스트링을 평가하기 위하여 사용된 적합도 함수는 식 (1)과 같이 발전기 각속도의 절대치편차의 합을 사용하였다.

$$fitness = \frac{1}{1 + \sum_{k=1}^N |\omega_{ref} - \omega_k|} \quad (1)$$

여기서, ω_k : 발전기의 실제 각속도[rad/sec]
 ω_{ref} : 발전기의 기준 각속도[rad/sec]
 N : T시간 동안 획득한 데이터의 개수

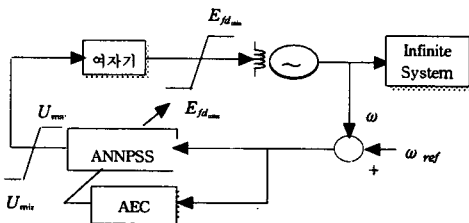
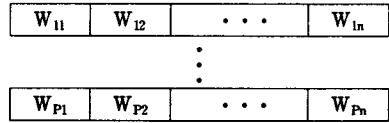


그림 3 적응진화알고리즘을 이용한 ANNPS의 구성도



여기서 W_{ij} : i, j 번째 뉴런의 연결강도
 n : 연결강도의 개수
 p : 해집단의 개수

그림 4 해집단의 구조

5. 실험 결과 및 검토

제안한 ANNPS의 성능을 검증하기 위해서 참고문헌 [1]에 있는 1기 무한대 계통에 대해 4장에서 설명한 방법을 이용하여 비선형 시뮬레이션을 수행하였다. ANNPS의 동조에 사용된 운전조건은 중부하시($P_e=1.3$, $Q_e=0.015$)에 3상 지락고장이 40[msec]동안에 지속되었다가 계통구성 변경 없이 제거되는 경우를 이용하였다. ANNPS의 성능을 비교하기 위해 기존의 전력계통안정화장치[1]와 비교·검토하였다. 그림 5는 매세대마다의 적합도와 유전알고리즘과 진화전략의 해집단 수를 나타내었다.

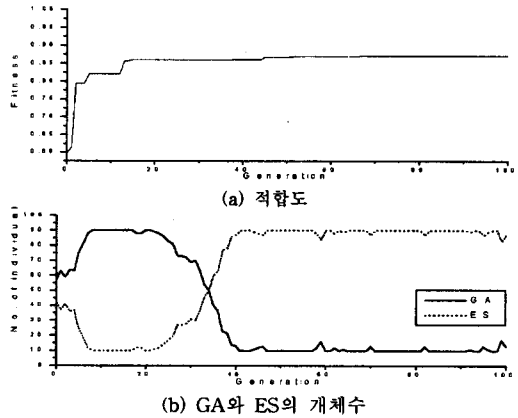


그림 5 매 세대마다 적합도 추이 및 GA, ES의 해집단 수

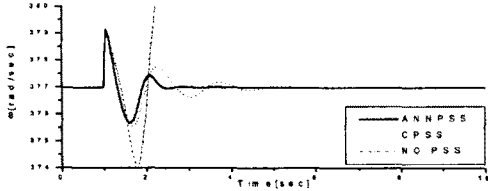
경우 1) 중부하시 제어

그림 6은 ANNPS의 동조에 사용된 중부하시 3상 지락 고장에 대해서 PSS가 없는 경우, CPSS 및 제안한 ANNPS가 있는 경우에 대해 발전기 각속도와 위상각 변화를 나타내었다. 그림 6에서 보는 바와 같이 제안한 ANNPS가 정정시간, 상승시간 및 오버슈트면에서 CPSS보다 더 우수한 제어성능을 보였다.

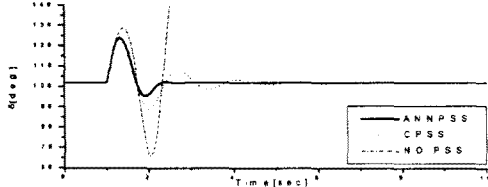
경우 2) 정상부하시 제어

제안한 ANNPS의 강인성을 평가하기 위해 그림 7과 같이 정상부하시($P_e=1.0$, $Q_e=0.015$) 3상 지락 고장이 40[msec]동안에 지속되다가 계통구성 변경 없이 제거되었을 때, PSS가 없는 경우, CPSS 및 제안한 ANNPS가 있는 경우에 대해 발전기 응답특성을 보였다. 정상부하에서

도 제안한 ANNPSS가 정정시간, 상승시간 및 오버슈트면에서 CPSS보다 더 강인함을 보였다.

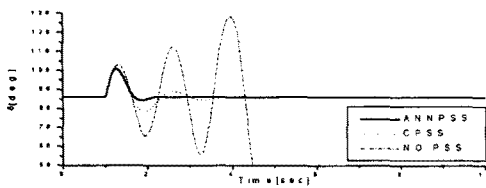


(a) 발전기 각속도

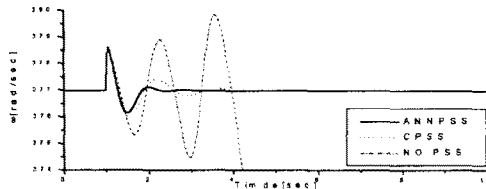


(b) 발전기 위상각

그림 6 중부하시 3상 고장이 발생했을 때 발전기 응답



(a) 발전기 위상각



(b) 발전기 각속도

그림 7 정상부하시 3상 고장이 발생했을 때 전기 응답

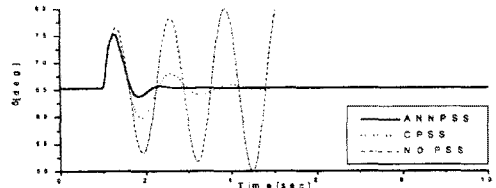
경우 3> 경부하시 제어

제안한 ANNPSS의 강인성을 평가하기 위해 그림 8과 같이 경부하시($P_e=0.7$ $Q_e=0.015$) 3상 지락 고장이 40[msec]동안에 지속되다가 계통구성 변경 없이 제거되었을 때, PSS가 없는 경우, CPSS 및 제안한 ANNPSS가 있는 경우에 대해 발전기 응답특성을 나타내었다. 경부하시에도 제안한 ANNPSS가 정정시간, 상승시간 및 오버슈트면에서 CPSS보다 더 강인함을 보였다.

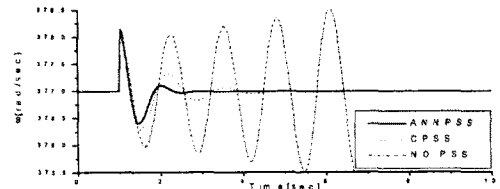
6. 결론

본 논문에서 적합도에 따라 복제하는 과정에서 유전알고리즘과 진화전략이 적용될 해집단의 비율이 적용적으로 변경되는 적응진화알고리즘을 제안하였고, 이를 이용하여 ANNPSS의 연결강도를 동조하였다. 사례연구 결과, ANNPSS의 동조에 사용된 중부하시의 3상 고장에 대해서 제안한 ANNPSS가 CPSS보다 더 우수한 제어성능을 나타내었다. 그리고 제안한 ANNPSS의 강인성을 평가하기 위해 정상

부하 및 경부하시의 3상 지락 고장에 대해 제안한 ANNPSS가 CPSS보다 더 강인함을 보였다.



(a) 발전기 각속도



(b) 발전기 위상각

그림 8 경부하시 3상 고장이 발생했을 때 발전기 응답

참고 문헌

- [1] Y. N. Yu, Electric Power System Dynamics, Academic Press, 1983
- [2] E. V. Larsen and D. A. Swann, "Applying Power System Stabilizers Part I: "General Concepts", Part II: Performance Objectives and Tuning Concepts", IEEE Transactions on Power Apparatus and System, Vol. PAS-100, No. 6, pp. 3017-3024 pp. 3025-3033, June, 1981
- [3] A. A Ghandakly and J. J Dai, "An Adaptive Synchronous Generator Stabilizer Design by Generalized Multivariable Pole shifting Technique," IEEE Transactions on Power System, Vol. 7, No. 3, Aug., 1992.
- [4] T. Hiyama, "Real Time Control of Micro-machine System using Micro-computer based Fuzzy Logic Power System Stabilizer", IEEE Transactions of Energy Conversion, Vol. 9, No. 4, pp. 724-730, Dec., 1994
- [5] T. Hiyama and M. Mishiro, "Coordinated Fuzzy Logic Control for Series Capacitor Modules and PSS to Enhance Stability of Power System", IEEE Transactions of Power Delivery, Vol. 10, No. 2, pp. 1098-1104, April, 1995
- [6] P.G.Korning "Training neural network by means of genetic algorithms working on very long chromosomes" Int. J. Neural Syst, Vol. 6, No. 3, pp. 299-316, 1995.
- [7] 황기현, 문경준, 박준호, 정정원, "진화전략과 유전알고리즘을 이용한 적응진화연산", 전기학회논문지 제47권 제8호, 1998, 8