2000년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2000.7.17-20

Tabu Search를 이용한 TCSC의 점호각 제어용 퍼지 제어기의 설계

김우근* · 황기현 · 문경준 · 김형수 · 박준호

*부산대학교 전기공학과 석사과정

Design of Fuzzy Controller for Firing Angle of TCSC Using Tabu Search

Woo Geun, Kim

Dept. of Electrical Eng., Pusan National University, Pusan 609-735, Korea

Abstract - This paper describes the application of Fuzzy Logic Controller (FLC) to Thyristor Controlled Series Capacitor (TCSC) which can have significant impact on power system dynamics. The function of the FLC is to control the firing angle of the TCSC. We tuned the scaling factors of the FLC using Tabu Search. The proposed FLC is used for damping the low frequency oscillations caused by disturbances such as the sudden changes of small or large loads or the outages in the generators or transmission lines.

To evaluate usefulness of the proposed FLC, we performed the computer simulation for single-machine infinite system. The response of FLC is compared with that of PD controller optimized using Tabu Search. Simulation results that the FLC shows the better control performance than PD controller.

1. 서 론

최근 국내의 전력수요는 매년 10% 이상의 성장률을 기록할 정도로 급속히 증가있어 추가적인 발전소의 건설이 건설이 불가피한 실정이다. 이러한 새로운 발전소의 건설과 더불어 추가적인 송전선로의 증설이 필요하다. 새로운 송전선로의 증설은 환경 및 경제적인 측면에서 많은 제약을 받고 있다. 이런 문제점을 해결하기 위해서 추가적인 송전선로의 증설없이 송전용량을 증가시킬 수 있는 유연 송전시스템(Flexible AC Transmission System : FACTS)에 대한 연구가 진행되고 있다.[1]

FACTS는 고전압 대전류형 사이리스터와 같은 전력전자 기술을 바탕으로 하고 있으며, FACTS 중에서 TCSC (Thyristor Controlled Series Compensator)는 특정 송전선로의 임피던스를 변화시킴으로써 해당선로의 조류를 제어하는 전력계통 직렬 보상장치로써 전력계통의 안정도를 크게 향상시킬 수가 있다[2].

본 논문에서는 경험적인 탐색방법인 Tabu 탐색법을 이용하여 전력계통의 저주파 동요감쇠를 위한 TCSC용 퍼지제어기의 입·출력 이득을 튜닝하였다[3-4]. 제안한 방법의 유용성을 입증하기 위해 1기 무한대 모선계통에 적용하여 비선형 시뮬레이션을 수행하였고, PD 제어기와 비교하였다. 이때 PD 제어기의 이득은 Tabu 탐색법을 이용하여 최적화하였다.

2. TCSC의 특징 및 모델링

본 논문에서는 점호각 제어에 의해 TCSC의 리액턴스를 연속적으로 변화시키는 모듈레이션 제어형을 이용하였고, TCSC의 기본파 리액턴스는 전류원 구동식으로 해석하였다[5].

TCSC의 기본파 리액턴스(X_{TCSC})

$$X_{TCSC} = -\frac{1}{\omega C} + \frac{A}{\pi\omega C}[2\sigma + \sin 2\sigma] - \frac{4A}{\pi\omega C(K^2-1)}\cos^2\sigma[K\tan K\sigma - \tan\sigma] \quad (1)$$

여기서, $A=\frac{\omega_0^2}{\omega_0^2-\omega^2}$, $K=\frac{\omega_0}{\omega}$

$\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$, $\frac{\pi}{2}<\beta<\pi$, $\sigma=\pi-\beta$

3. Tabu 탐색법을 이용한 퍼지제어기의 설계

3. 1 Tabu 탐색법[6]

Tabu 탐색법은 경험적인 최적화 알고리즘으로써 다른 최적화 탐색 알고리즘에 비해 최적해 탐색속도가 비교적 빠르고 알고리즘이 단순하여 쉽게 프로그램화 할수 있다.

본 논문에서는 이웃해 및 Tabu List를 이용하여 최적해를 탐색하는 방법을 사용하였다.

그림 1은 일반적인 Tabu 탐색법에 대한 흐름도를 보여주고 있다. Tabu 탐색법의 최적해 탐색성능은 초기해, 이웃해 선정, Tabu List의 크기 등의 영향을 받는다. 초기해를 잘못선정하면 국부 최소값에 수렴할 가능성이 있기 때문에 일반적으로 전문가의 경험 또는 수치적 방법으로 초기해를 선정한다. 이웃해의 정의 및 크기는 대상 문제나 탐색 전략에 따라 달라지는데, 이웃해를 잘못 선정할 경우 불필요한 탐색으로 인해 탐색영역이 증가하고 수행시간이 많이 소요된다. 새로운 이웃해를 탐색하는 동안에는 이전에 탐색한 영역을 다시 탐색하는 것을 방지하기 위해 Tabu List를 사용한다. Tabu List를 사용함으로써 국부최적해에 수렴하는 것을 방지할 수 있으며, 탐색영역을 다양하게 또는 한곳을 집중적으로 탐색할 수 있

다. Tabu List에 속한 해(solution)라도 평가 결과가 정해진 조건을 만족할 경우에는 이를 새로운 이웃해로 선정할 수 있는데 이를 열망 조건(aspiration criterion)이라고 한다. 일반적으로 현재까지 탐색한 최적해보다 Tabu List에 속한 해의 평가 결과가 더 좋은 경우에는 열망 조건이 만족된다.

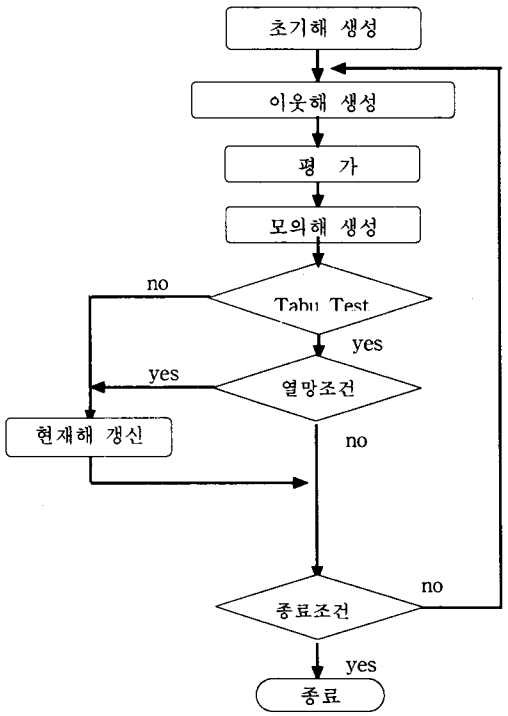


그림 1 Tabu search 흐름도

3. 2 Tabu 탐색법을 이용한 퍼지제어기 설계 방법

3.2.1 퍼지제어기 구성

본 논문에서 사용한 퍼지제어기는 퍼지화(fuzzifier) 방법으로 이등변 삼각형 방법을 사용하였고, 퍼지추론 방법으로 Mamdani의 최대-최소 퍼지추론 방법을 사용하였으며, 비퍼지화 방법으로 무게중심법을 사용하였다. 퍼지 규칙은 비례-미분 형태를 사용하였다.

3.2.2 Tabu 탐색법을 이용한 퍼지제어기 설계

본 논문에서는 경험적 탐색방법인 Tabu탐색법으로 TCSC 퍼지 제어기의 입·출력 이득을 튜닝하였다.

그림 2는 Tabu 탐색법으로 TCSC 퍼지제어기의 입·출력이득을 튜닝하기 위한 구성도를 나타낸다. TCSC 퍼지제어기의 입력으로 발전기 각속도 오차와 변화분을 사용하였다

그림 3은 이웃해 구성을 나타내었다. 퍼지 제어기의 입·출력 이득을 튜닝하는데 필요한 파라메타 수는 3개이다. 해집단의 각 스트링을 평가하기 위하여 사용된 목적함수는 식 (2)와 같이 발전기 각속도의 절대치 편차의 합을 사용하였다.

$$\text{목적함수} = \sum_{k=1}^{N} |\omega_{ref} - \omega(t)| \qquad (2)$$

여기서, $\omega(t)$: 발전기의 실제 각속도 [rad/sec]
ω_{ref} : 발전기의 기준 각속도 [rad/sec]
N : 특정시간 동안 획득한 데이타의 개수

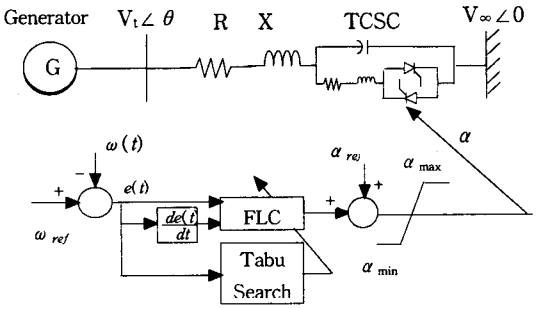
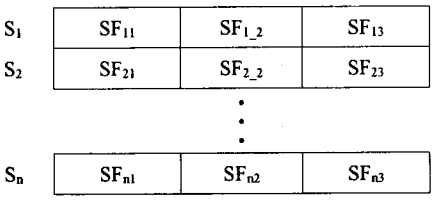


그림 2 Tabu 탐색법을 이용한 TCSC 퍼지제어기 튜닝을 위한 구성도



여기서, SF_{ij} : 퍼지제어기의 입·출력 이득
S_n : 이웃해
n : 이웃해의 개수
그림 3 이웃해 구성

4. 사례연구

4. 1 계통 해석 조건

제안한 TCSC의 퍼지제어기의 성능을 검증하기 위해 그림 4의 1기 무한대 계통에 대해 비선형 시뮬레이션을 수행하였다[7]. 그림 5는 Tabu 탐색법을 이용하여 TCSC 퍼지제어기의 튜닝에 사용된 정상부하시 모선단 근처에서 3상 지락 고장이 50[msec] 동안 지속되다가 계통구성 변경 없이 고장이 제거되었을 때, 제어기가 없는 경우, PD 제어기 및 제안한 TCSC 퍼지제어기가 있는 경우에 대해 발전기의 응답을 나타내었다.

그림 6은 TCSC 퍼지제어기의 강인성을 평가하기 위해 튜닝에 사용되지 않은 계통상태인 정상부하시 기계적인 토오크를 0.1 [pu] 만큼 변화시켰을 때 발전기 응답특성을 나타내었다. 그림 6에서 보는 것처럼 제안한 TCSC 퍼지제어기가 정정시간과 제동 효과면에서 PD 제어기보다 더 나은 제어 성능을 나타내었다.

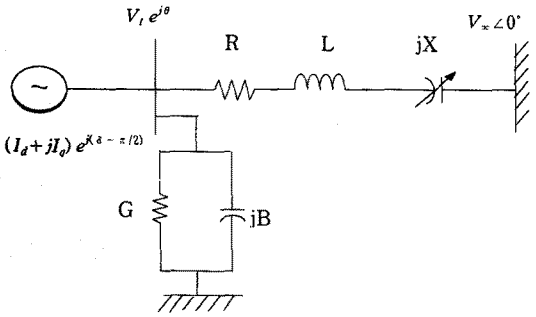
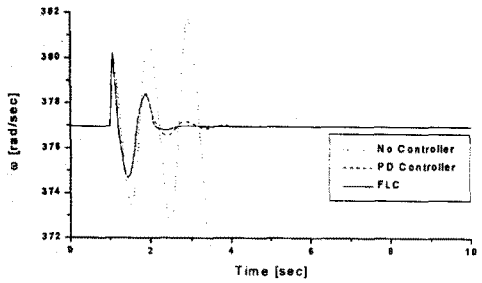


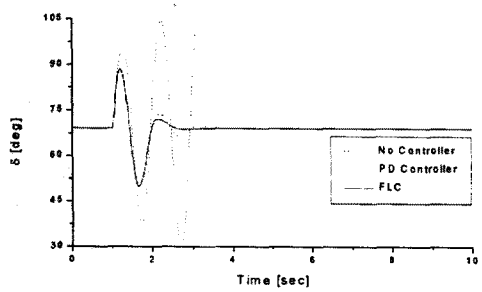
그림 4 성능평가에 사용된 1기 무한대 계통

4. 2 시뮬레이션 결과



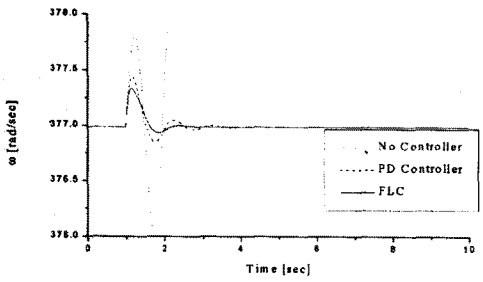
각

(a) 발전기 속도

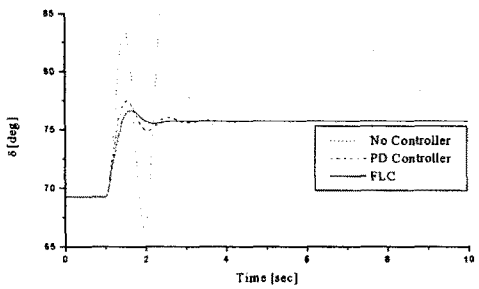


(b) 발전기 위상각

그림 5 정상부하시 3상고장이 발생했을 때 발전기 응답



(a)발전기 각속도



(b) 발전기 위상각

그림 6 정상부하시 기계적인토오크가 0.1[pu]만큼 변화했을 때 발전기 응답

5. 결 론

본 논문에서는 경험적인 탐색방법인 Tabu 탐색법을 이용하여 TCSC 퍼지제어기를 설계하였고, 제안한 방법의 유용성을 입증하기 위해 1기 무한대 계통에 적용하여 비선형 시뮬레이션을 수행하였다.

1기 무한대 계통에 대한 TCSC 퍼지제어기의 튜닝에 사용된 정상부하시의 3상 지락 고장 및 강인성에 평가에서 제안한 퍼지제어기가 PD 제어기보다 정정시간과 제동 효과면에서 더 나은 제어 성능을 보였다.

참고 문헌

[1] N. G. Hingorani, L. Gyugyi, "Understanding FACTS, Concepts and Technology of Flexible AC Tansmission System", IEEE, 2000

[2] W. A. Mittelstadt, B. Furumasu, P. Ferron and J. Paserba, "Planning and Testing for Thyristor Controlled Series Capacitor", EPRI FACTS Conference, 1992.

[3] P. S. Dolan, J. R. Smith and W. A. Mittelstadt, "A Study of Optimal Damping Control Parameters for Different Operating Conditions", IEEE Trans. on Power System, Vol. 10, No. 4, pp. 1972-1977, 1995.

[4] Xiaobo Tan, Luyuan Tong, Zhongdong Yin, Dongxia Zhang, "A Fuzzy Scheme for Thyristor Controller Series Compensation in Transient of Power System" Tsinghua University, Beijing 100084, P.R. of China

[5] N. Christle, etc., "Advanced Series Compensation with Thyristor controlled Impedance", CIGRE Summer 1992; 14/37/38-05.

[6] Fred Glover, Manuel Laguna, "Tabu Search", Kluwer Academic Publishers

[7] P. W. Sauer and M. A. Pai, "Power System Dynamics and Stability", Prentice Hall, 1998