

저주파 진동 감쇠를 위한 TCSC제어에 유전알고리즘을 이용한 퍼지제어기 설계

*임 승욱, *김 태유, *송 명근, *황 기현, ** 박 준호
* 부산대학교 전기공학과 대학원, ** 부산대학교 전기공학과 교수

A Design Method for a Fuzzy Logic Controller of TCSC Using Genetic Algorithm for Damping Power System Oscillation

*S. U. Lim, *T. Y. Kim, *M. G. Song, *G. H. Hwang, **J. H. Park
Dept. of Electrical Engineering Pusan National University

Abstract : This paper presents a design method for fuzzy logic controllers of TCSC using genetic algorithm. Fuzzy logic controllers are applied to damp the dynamic disturbances such as sudden changes of AC system loads. The dynamic performances of fuzzy logic controllers are compared with those of PI controllers. The simulation results show that dynamic performances of fuzzy controllers have better response than those of PI controllers when the AC system load changes.

록 하려면 퍼지변수의 소속함수 모양을 조정해야 하는데, 기존에는 전문가의 경험과 지식 혹은 시행착오법으로 시스템에 적합한 퍼지변수의 소속함수 모양을 결정하였다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해서 자연의 진화를 모의한 확률적인 최적화 알고리즘인 유전알고리즘을 이용하여 퍼지제어기의 소속함수 모양을 자기동조(self-tuning)하였다. 제안한 방법의 유용성을 검증하기 위해서 모의제통에 적용하였으며, PI 제어기와 그 성능을 비교·분석하였다.

1. 서 론

기존의 송전설비 이용율을 극대화하기 위하여 유연송전시스템(FACTS)에 관한 연구가 전세계적으로 활발히 진행되고 있다. 특히 FACTS분야 중에서 TCSC는 송전선로의 리액턴스를 변화시켜 선로의 조류제어, SSR과 같은 이상진동현상의 감소 및 계통의 안정도를 향상시킬 수 있는 장치로서, 현재 다양한 분야에서 연구되고 있다. 이러한 TCSC에 사용되고 있는 제어기는 기존의 선형제어이론을 바탕으로 설계되었다[1-3]. 그러나 전력계통은 매우 비선형이고 다양한 외란을 가지고 있기 때문에 선형제어이론을 바탕으로 설계된 TCSC제어기는 좋은 제어성능을 기대하기 어렵다. 따라서, 본 논문에서는 지능제어중에서 실시간으로 제어가 가능하고, 시스템의 특성이 복잡하여 기존의 정량적인 방법으로는 해결할 수 없거나 얻어지는 정보가 정성적인 경우에 뛰어난 제어성능을 나타내는 퍼지제어기를 이용하였다. 그러나 퍼지규칙들이 시스템에 제대로 반영되도

2. 전력시스템 및 TCSC

1) 전력시스템

본 논문에서는 제어기의 성능평가를 위하여 그림 1과 같은 IEEE BENCHMARK 모델계통을 선정하였다. 송전단측은 발전중심지로 고려하였으며 여기서 발전된 전력은 2개의 송전선로를 통하여 원거리의 수전단측으로 공급된다. 그리고 수전단측의 AC계통을 대규모 복잡계통으로 가정하여 무한대모션으로 두었다.

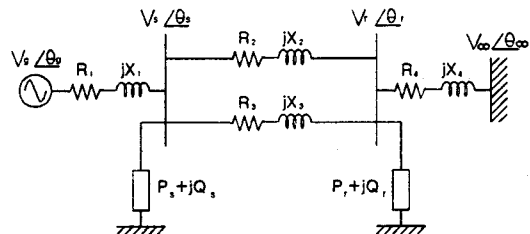


그림 1 IEEE BENCHMARK 모델계통

2) TCSC

TCSC는 정상상태에서의 선로조류제어를 위한 기준입력신호($X_{reference}$)와 다양한 외란에 의해 발생하는 과도상태에서의 계통의 안정도 향상을 위한 부가입력신호($X_{modulation}$)로 구성되어 있으며, 부가입력단에 적절한 제어를 설치함으로써 과도상태에서 좋은 제어성능을 얻을 수 있다. 그리고 TCSC는 제어신호가 다이리스터의 점호신호로 변환되는 시간을 고려하여 일차지연요소로 모델링하였다[2-4]. 그림 2는 TCSC의 구성 및 유전알고리즘을 이용한 제어기의 자기동조를 나타낸다.

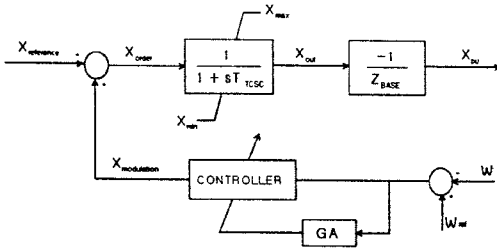


그림 2 제어기의 자기동조 및 TCSC의 구성

3. 유전알고리즘을 이용한 제어기 설계

유전알고리즘을 이용하여 퍼지제어기를 자기동조하기 위해서 제어기 입력으로 발전기 속도편차와 편차의 변화량을 사용하였으며, 유전알고리즘의 적합도를 평가하기 위해 발전기의 속도오차를 이용하였다. 또한 유전알고리즘의 해집단을 그림 3과 같이 구성하였으며, 각 스트링을 평가하기 위해 식(1)과 같이 적합도 함수를 선정하였다. 이때, 자기동조에 사용된 퍼지제어기의 언어적인 변수는 7개, 추론방법은 max-min방법, 비퍼지화 방법은 무게중심법을 사용하였다.

$$M_{11} \quad \dots \quad M_{1k} \quad W_{11} \quad \dots \quad W_{1k}$$

$$M_{n1} \quad \dots \quad M_{nk} \quad W_{n1} \quad \dots \quad W_{nk}$$

여기서 M_{ij} : 소속함수의 꼭지점
 W_{ij} : 소속함수의 폭
 k : 소속함수 개수
 n : 스트링 개수

그림 3 해집단의 구성

$$Fitness = \frac{1}{1 + \sum_{k=0}^N \frac{|\omega_k - \omega_{ref}|}{N}} \quad (1)$$

여기서, N : T시간 동안에 취득한 테이타의 수

ω_k : 발전기의 속도

ω_{ref} : 발전기의 기준속도

4. TCSC제어기 성능평가

제어기의 자기동조에 사용된 유전알고리즘의 시뮬레이션 계수로 교배확률은 0.6, 돌연변이 확률은 0.05, 해집단은 30개, 세대수는 50을 사용하였으며, 동조에 사용된 퍼지규칙은 표 1과 같다.

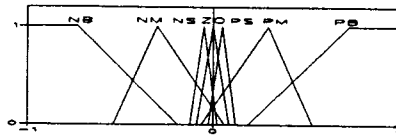
표 1 퍼지규칙

		$s\Delta\omega$							
		NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB	
$\Delta\omega$	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZO
	NM	NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZO	PS
	NS	NB	NB	NB	NM	NS	ZO	PS	PM
	ZO	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB	PB
	PS	NM	NS	ZO	PS	PM	PB	PB	PB
	PM	NS	ZO	PS	PM	PB	PB	PB	PB
	PB	ZO	PS	PM	PB	PB	PB	PB	PB

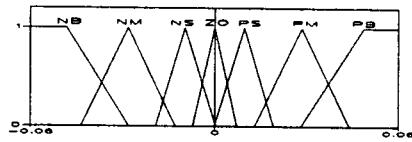
경우 1) 수전단측 부하시험

제안한 방법의 유용성을 입증하기 위해 그림 1의 모의계통에 적용하였으며, 이때 TCSC의 최대 보상량을 선로 리액턴스의 30%, 최소 보상량을 -5%, 정상상태에서는 선로조류제어를 위하여 10%로 설정하였다. 그리고 제어기의 자기동조에 사용된 계통운전조건은 수전단의 부하가 0.5[PU]에서 1.5[PU]로 0.5초 동안 급변한 경우를 사용하였다. 그림 4는 유전알고리즘을 이용하여 자기동조된 퍼지변수의 소속함수 모양을 나타낸다.

그림 5의 a)는 자기동조에 사용된 계통운전조건에 대한 발전기의 속도응답을 나타내었고, 그림 5의 b)는 수전단측 부하를 0.5초 동안 0.5[PU]에서 0.2[PU]로 감소했을 때 발전기의 속도응답을 나타내었다. 그림 5로부터 자기동조 및 자기동조에 사용되지 않은 계통상태에 대해서도 퍼지제어기가 PI제어기보다 더 나은 제어성능을 나타내는 것을 알 수 있다.

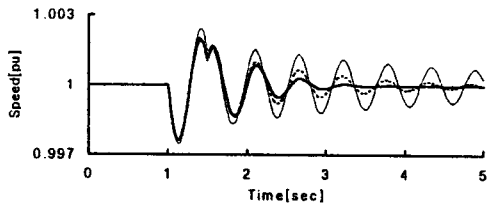


(a) 오차의 소속함수

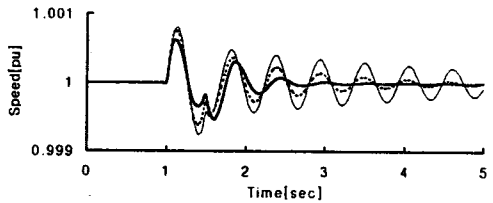


(b) 오차 변화율의 소속함수

그림 4 자기동조된 퍼지변수의 소속함수 모양



a) 0.5(PU) → 1.5(PU)



b) 0.5(PU) → 0.2(PU)

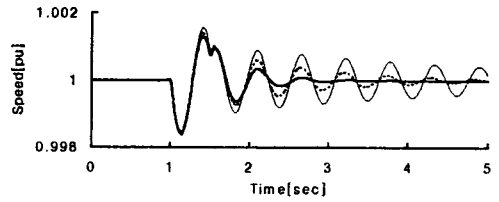
그림 5 수전단축 부하시험

경우 2) 송전단축 부하시험

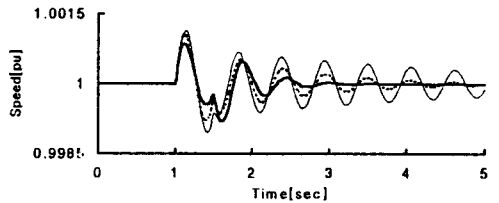
그림 6은 송전단축 부하를 0.5초 동안 0.2(PU)에서 0.5(PU)로 증가했을 때와 0.2(PU)에서 0(PU)로 감소했을 때 발전기의 속도응답을 나타낸다. 그림 6의 송전단축 부하시험에서도 퍼지제어기가 PI제어기보다 더 좋은 제어성능을 나타내는 것을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 송전선로의 리액턴스를 조정하여 계통의 안정도를 개선하는 TCSC에 유전알고



a) 0.2(PU) → 0.5(PU)



b) 0.2(PU) → 0(PU)

그림 6 송전단축 부하시험

리즘을 이용한 퍼지제어기의 설계방법을 제안하였다. 제안한 방법의 유용성을 입증하기 위해 모의계통에 적용하여 성능을 평가해본 결과, 제안한 방법이 유전알고리즘을 이용하여 자기동조한 PI제어기보다 더 나은 제어성능을 나타내었다.

향후에는 퍼지규칙의 자기동조와 적응퍼지제어기법을 TCSC에 적용할 것이다.

[참고 문헌]

- [1] E. Larsen, C. Bowler, B. Damsky, S. Nilsson, "BENEFITS OF THYRISTOR CONTROLLED SERIES COMPENSATION", CIGRE Paper 14/37/38-04, 1992
- [2] Glauco N. Taranto, Joe H. Chow, "A Robust Frequency Domain Optimization Technique for Tuning Series Compensation Damping Controllers", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 10, No. 3, 1995
- [3] J. J. Paserba, N. W. Miller, E. V. Larsen, R. J. Ptewko, "A THYRISTOR CONTROLLED SERIES COMPENSATION MODEL FOR POWER SYSTEM STABILITY ANALYSIS", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 10, No. 3, pp. 1471-1478, 1995
- [4] J. J. Paserba, E. V. Larsen, "A Stability Model for Thyristor-Controlled Series Compensation", EPRI FACTS Conference, 1992