

전력계통 안정화장치용 퍼지제어기 설계 및 적용에 관한 연구

*김태유,*황기현,*박준호,**김국현,**이종무,**김석주,**안종보,**전영환

*부산대학교 전기공학과, **한국전기연구소, ***도쿄대학교 전기공학과

A Study on Design and Application of Fuzzy Logic Power System Stabilizer

*T.Y. Kim, *G.H. Hwang, *J.H. Park, **K.H. Kim, **J.M. Lee, **S.J. Kim, **J.B. Ahan, ***Y.H. Chun

*Dep. of Elec. Eng. Pusan Nat. Univ., **Korea Electric Research Int., ***Dep. of Elec. Eng. Tokyo Univ.

Abstract : This paper presents a design of self_tuning fuzzy logic controller using Genetic Algorithms for power system stabilization. FPSS(Fuzzy Logic Power System Stabilizer) is applied to the KER(Korea Electric Research Int.) power system simulator so that its efficiency can be investigated in real time control. Genetic Algorithms are used to determine fuzzy membership functions. Experiment results show the better performances with FPSS in comparison to no PSS

1. 서론

최근 전력수요의 급증으로 인하여 전력계통의 규모가 대형화되고 복잡해짐으로써 계통의 안전운용 및 안정성 유지에 어려움이 증대되고 있다. 전력계통은 정상시 운전중에 갑작스런 부하변동이나 발전기, 송전선로에서의 크고, 작은 교란이 빈번히 발생함으로써 이러한 교란에 대응하여 새로운 평형점을 찾아야 동기상태를 유지하면서 운전할 수 있는 능력을 안정도라 한다 [1,2]. 전력계통 안정도에 대한 연구는 지난 수십여년간 많이 진행되었는데 특히, 대용량 발전설비 증가, 전력공급 및 수요의 지역적 편재에 따라 전력계통에 발생하는 지주파 진동을 감쇠하기 위하여 동기발전기의 여자계통에 보조제어 입력을 인가하는 전력계통 안정화장치(Power System Stabilizer)에 대한 연구가 많이 수행되었다. 그리고 최근에는 퍼지제어기와 신경망제어기등과 같은 인공지능기법이 전력계통 안정화장치에 적용되고 있다[3,4].

본 논문에서는 시스템에 대한 정확한 수학적인 모델링이 필요없고 얻어지는 정보가 불확실한 경우에 뛰어난 제어성을 나타내는 퍼지제어기를 전력계통 안정화장치로 사용하였다. 퍼지변수의 소속함수의 모양을 조정하기 위해서 자연의 유전학과 진화이론에 바탕을 둔 화물적인 최적화 알고리즘인 진화연산중에서 해집단의 다양성과 수렴속도면에서 뛰어난 특성을 나타내는 유전알고리즘을 이용하여 자기동조하였다.

제시한 방법의 유용성을 입증하기 위해서 한국전기연구소에서 개발한 디지털 여자시스템을 가진 1기 무한대 모선의 전력계통 시뮬레이터에 적용하였다.

2. 유전알고리즘을 이용한 퍼지제어기 설계

퍼지제어기는 제어시스템의 특성이 복잡하여 기존의 정량적인 방법으로 해석할 수 없거나, 얻어지는 정보가 정성적이고 불확실한 경우에 기존의 제어기들보다 우수한 제어성을 나타낸다. 그러나 퍼지제어기가 뛰어난 제어성을 얻기 위해서 퍼지규칙과 퍼지변수의 소속함수 모양을 조정해야하는데, 본

논문에서는 자연의 유전학과 자연도태의 원리에 근거한 화물적인 알고리즘으로 개체간의 정보교환을 통해 탐색공간을 조사해 나감으로써 주위환경에 가장 적절한 해를 얻고자 하는 최적화 알고리즘인 유전알고리즘을 사용하였다.

유전알고리즘을 사용하여 퍼지변수의 소속함수를 자기동조하기 위해서 그림 1과 같은 제어기 모델을 구성하였고 전력계통안정화장치용 퍼지제어기의 입력으로 발전기의 출력편차(ΔP)와 출력편차의 미분치($\Delta \dot{P}$)를 사용하였다. 각 스트링의 적합도를 평가하기 위하여 유전알고리즘의 입력으로 발전기의 유효출력편차와 속도편차를 사용하였다.

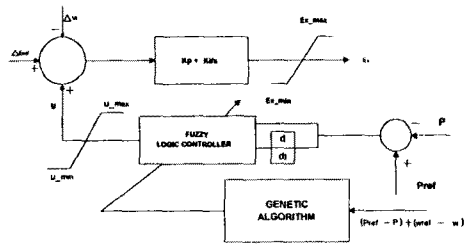


그림 1 유전알고리즘을 이용한 퍼지제어기

본 논문에서는 유전알고리즘을 이용하여 퍼지변수의 소속함수 모양을 자기동조하기 위해 퍼지제어기의 전진부 및 후진부에 대해 각각 7개의 퍼지변수를 사용하였고, 제로(zero)소속함수에 대해서 대칭을 사용하였으므로 총 퍼지변수의 수는 17개이다. 따라서, 유전알고리즘을 이용하여 퍼지변수의 소속함수 모양을 동조하기 위해서 그림 2와 같이 초기해집단을 구성하였으며, 각 스트링을 평가하기 위해서 본 논문에서는 T시간 동안에 취득한 발전기 속도편차 절대치와 발전기 유효전력 절대치 합을 이용하여 식 (1)과 같이 선정하였다.

$$\begin{aligned} \text{string1} &: [P_{11} \ P_{12} \ P_{13} \ \dots \ P_{1k} \ W_{11} \ W_{12} \ \dots \ W_{17}] \\ \text{string2} &: [P_{21} \ P_{22} \ P_{23} \ \dots \ P_{2k} \ W_{21} \ W_{22} \ \dots \ W_{27}] \\ &\vdots \\ \text{stringn} &: [P_{n1} \ P_{n2} \ P_{n3} \ \dots \ P_{nk} \ W_{n1} \ W_{n2} \ \dots \ W_{n7}] \end{aligned}$$

여기서, P_{ik} : 삼각형 소속함수의 꼭지점
 W_{ij} : 삼각형 소속함수의 폭
 n : 스트링 개수

그림 2 초기해집단

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

여기서, W_{ref} : 발전기의 기준속도
 W_k : 발전기의 실제속도
 P_{ref} : 발전기의 기준유효전력
 P_k : 발전기의 실제유효출력
 N : T시간 동안에 취득한 데이터의 수

3. 안정도 해석을 위한 문제의 형식화

본 논문에서는 제한한 전력계통 안정화장치의 성능을 실험하기 위해 한국전기연구소에서 개발한 디지털 여자기 모델을 가진 그림 3과 같은 계통모델을 사용하였다.

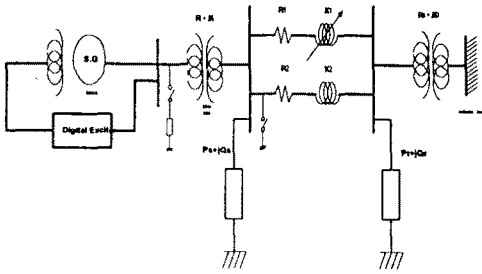


그림 3 계통모델

전력계통 안정화장치용 퍼지제어기를 설계하기 위해 그림 3에 보여준 1기 무한대모선의 동기발전기 부분을 그림 4와 같이 간략화된 선형화모델을 표현하였다.

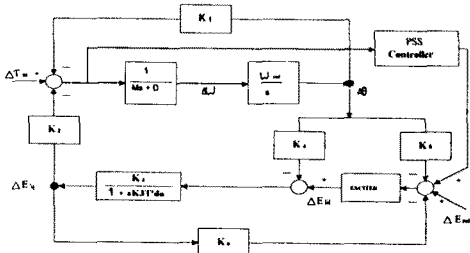


그림 4 발전기 선형화 모델

발전기 파라메타(K1, K2, K3, K4, K5, K6)는 발전기의 설계사양에 따라 그 값이 다르지만, 본 논문에서는 파라메타 추종방법으로 표 1의 발전기 각종 상수 및 초기치를 이용하여 발전기 파라메타를 구하였다.

표 1 발전기 상수 및 초기치

발전기 정수	H=2.12, D=1, T'do=0.6458 Xd=0.3523, Xq=0.3343, X'd=0.2726,
여자기 정수	Kp=6, Ki=6
선로 정수	X=0.5619 @100km/line
초기 상태	Pco=1.0, Qco=0.04, Vto=1.0, Vm=1.05

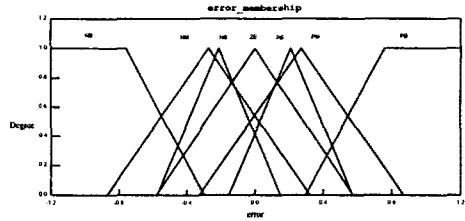
4. 전력계통 안정화장치(PSS)의 성능평가

4.1 컴퓨터 시뮬레이션

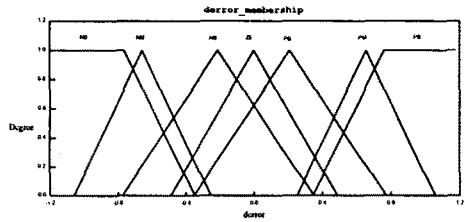
발전기 간략화 모델을 이용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 실시하였고 이때 전력계통 안정화장치로 유전알고리즘을 이용하여 퍼지변수의 소속함수 모양을 자기동조한 퍼지제어기를 사용하였다. 자기동조에 사용된 퍼지제어기의 퍼지규칙은 표 2, 유전 알고리즘에 의해 자기동조된 퍼지제어기의 소속함수 모양은 그림 5와 같다.

표 2 퍼지규칙

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



(a) 오차의 소속함수



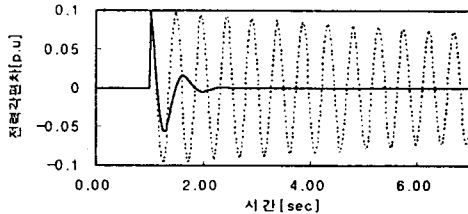
(b) 오차 변화율의 소속함수

그림 5 자기동조된 퍼지변수의 소속함수

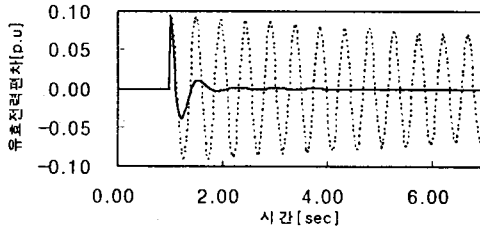
자기동조시에 사용된 계통운전조건은 발전기 출력 P, Q는 각각 0.9[p.u], 0.1[p.u] 인 상태에서 1[sec]초 후에 $\Delta\delta$ 가 0.0[p.u]에서 0.1[p.u]로 변한 경우를 사용하였다. 그림 6은 자기동조시에 사용된 계통조건에서 전력계통 안정화장치가 있는 경우와 없는 경우에 대해서 얻은 전력각 편차 및 발전기 유효전력편차를 나타내었다.

4.2 실험 결과

4.1절에서 유전알고리즘에 의해 자기동조된 전력계통 안정화장치용 퍼지제어기를 한국전기연구소의 전력계통 시뮬레이터를 이용하여 실제실험을 실시하였다. 실제실험에 사용된 계통운전조건은 0.1초간 1선 지락고장, 변압기탭 변화등을 이용하였다.

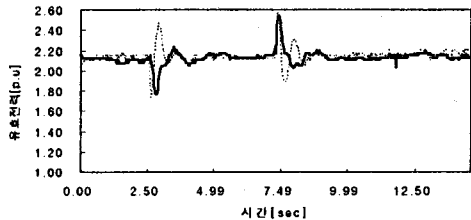


(a) 전력각 편차

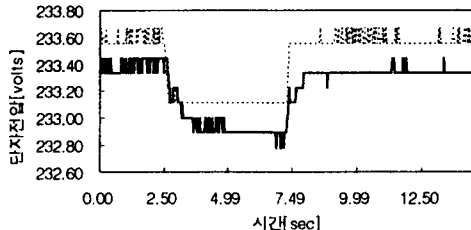


(b) 유효전력 편차

그림 6 자기동조시의 발전기 응답특성



(a) 발전기 유효전력

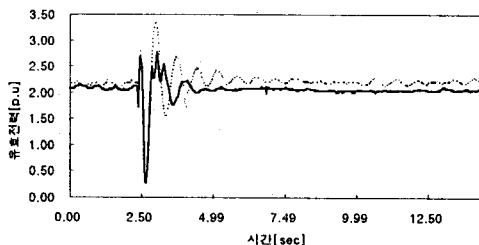


(b) 단자전압

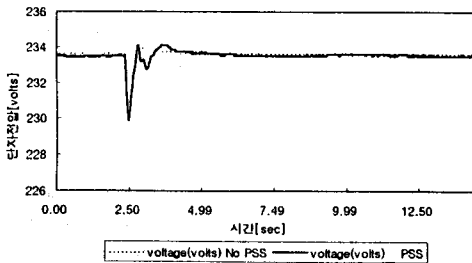
그림 8 변압기 탭(5%)변화의 발전기 응답특성

그림 7은 두 개의 송전선로중 한 선로를 0.1초 동안 1선 지락사고를 가했을 때 전력계통 안정화장치가 있는 경우와 없는 경우에 대해서 발전기의 응답특성을 나타내었다. 그림 7에서 보는 바와같이 전력계통 안정화장치가 있는 경우가 진동(oscillation)과 오버슈트(overshoot), 그리고 정정시간(settling time)측면에서 없는 경우보다 더 양호한 성능을 나타내었다.

그림 8은 변압기 탭을 5초동안 5% 변화시켰을 경우의 발전기 응답특성을 나타내었다. 그림 8에서도 마찬가지로 전력계통 안정화장치가 없는 경우보다 오버슈트(overshoot), 정정시간(settling time)측면에서 더 좋은 제어성능을 나타내었다.



(a) 발전기 유효전력



(b) 단자전압

그림 7 1선 지락(0.1초 동안)시 발전기 응답특성

5. 결론

본 논문에서는 전력계통의 저주파 진동 및 외란시 동기 발전기의 여차시스템에 보조제어신호를 제공하여 소신호안정도를 개선하는 전력계통 안정화장치로 유전알고리즘을 이용한 자기동조한 퍼지제어기를 한국전기연구소의 전력계통 시뮬레이터에 적용하여 전력계통 안정화장치용 퍼지제어기의 성능을 검증하였다.

자기동조된 전력계통 안정화장치용 퍼지제어기를 한국전기연구소의 1기 무한대모선을 가진 전력계통 시뮬레이터에 적용해 본 결과, 전력계통 안정화장치용 퍼지제어기가 있는 경우가 없는 경우보다 계통운전조건이 1선 지락사고, 변압기탭(5%)변화와 같은 외란에 대해서도 오버슈트와 정정시간면에서 좋은 제어성능을 나타냄을 확인할 수 있었다.

참고문헌

- [1] P.Kundur, "Power system Stability and Control", 1994, McGraw-Hill
- [2] "Excitation System Models for Power System Stability Studies", IEEE Committee Report, IEE Trans. on Power Apparatus and System, vol.pas-100, pp.494-504, 1981
- [3] K.A El-Metwally, O.P Malik, "Fuzzy Logic Power System Stabilizer", IEE Proc-Gener. Trans. Distrib., Vol.142, May 1995
- [4] T.Hiyama, "Real Time Control of Micro-Machine System Using Micro-Computer Based Fuzzy Logic Power System Stabilizer", IEEE Trans. on Energy Con., Vol.9, No.4, Dec. 1994