発電機速度の比例・微分・積分情報を基にした ファジー制御による電力系統安定化装置

正 員 檜 山 隆 (熊本大)

准 員 藤 木 俊 弘 (熊本大)

Fuzzy Logic Power System Stabilizer using PID Information of Generator Speed

Takashi Hiyama, Member, Toshihiro Fujiki, Associate (Kumamoto University)

An advanced fuzzy logic control scheme has been proposed for micro-computer based power system stabilizer (PSS) to enhance the stability of power systems. In the proposed control scheme, additional integral information of generator speed is taken into account to enlarge the stability region together with propotional and differential information of generator speed. Namely, the advanced control rules are based on the PID information of generator speed. Various simulations have been performed subject to several types of large and small disturbances using a one-machine and an infinite-bus model system. In addition, comparison studies have been made between a conventional analog-type PSS and the fuzzy logic PSS. The results show that the stable region of the study system is highly enlarged up to the physically stabilizable boundary by the proposed fuzzy logic control scheme.

キーワード：電力系統安定化装置，ファジー制御，ディジタル制御，実時間制御

1. はじめに

大規模、複雑化する電力系統において、その安定化問題は重要な研究課題となってきた。安定化装置に特に求められることは、優れた応答特性とロバスト性である。著者は、速度・加速度情報を用いたディジタル型ファジー制御装置を提案し、シミュレーション・実験によって、その優れた制御性能について確認してきた^{(1)~(4)}。ほかに、この手法に基づいた種々の報告がなされている⁽⁶⁾⁽⁷⁾。提案するファジー制御規則は非線形制御則であり、ロバスト性の高いものであったが、特定動作点で設計した制御パラメータを用いて、物理的に安定化可能なすべての動作点で、その制御性能を保持するまでにはいたっていなかった。その原因は、位相差角が平衡点から大きくずれている場合でも、速度・加速度が平衡点近傍にあれば、制御信号が小さくなるため安定化に必要な制御量の確保が困難

となっていたことにある。そこで本論文では、位相差角に相当する速度の積分情報を加味したファジー制御規則を提案し、その有効性について検討を行っている⁽⁶⁾⁽⁹⁾。この手法を用いることで、物理的に安定化が可能である全領域において、提案する安定化装置の制御性能を大幅に改善することが可能であると考えられる。

本論文では、提案する制御手法のアルゴリズムについて述べ、その有効性を調べるために一機無限大母線システムを用いたシミュレーションを行っている。その結果、従来の制御に比べ優れた応答特性、ロバスト性を有することを確認した。

2. 制御手法

今回提案する制御手法は、励磁系に対する速度・加速度情報を利用した従来型ファジー制御^{(1)~(5)}を拡張したものであり、新たに速度の積分情報を加えてい

る。すなわち、速度の比例・微分・積分情報を用いた制御手法である。従来型ファジー制御は、安定領域内の優れた応答特性と通常アナログ型 PSS に比べてかなり広い安定領域を有することがわかっている。しかし、物理的に安定化可能な限界点までの安定化にはいたっていない。このような場合でも、速度の積分情報を用いることで安定化が可能となると考えられる。

〈2・1〉 信号処理 A/D 変換により、計算機内に取り込まれる発電機状態量としては、角速度 ω 、有効出力 P_e の 2 ケースを考慮している。図 1 (a), (b) にこれら 2 ケースに対する測定情報のフィルタリング手法を示している。ここで、 H は慣性定数、 f_0 は定格周波数である。

これらのデジタルフィルタによって発電機角速度偏差信号に相当する $Z_s(k)$ および、角加速度信号、位相差角信号に相当する $Z_a(k)$, $Z_p(k)$ が求められる。図において、 H_{DRi} ($i=1, 2, 3, 4, 5$), H_{DI} はリセットフィルタ、積分器であり、それぞれ (1), (2) 式のように周波数領域で表現されたものを双一次変換 [(3) 式] を用いて離散化したものである [(4), (5) 式]。電力系統における外乱には種々のものがあり、外乱印可前後の系統状態は必ずしも同一とはいえない。従って、図 1 に示すように、リセットフィルタによる定状態のカットが必要となってくる。最終の定状態では、加速度、速度偏差、位相差角に相当する信号 Z_a , Z_s および Z_p はすべて零となる。

$$H_{Ri}(s) = \frac{s T_{Ri}}{1 + s T_{Ri}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$H_I(s) = 1/s \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$s = \frac{2}{\Delta T} \frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$H_{DRi}(z^{-1}) = \frac{B_i(1 - z^{-1})}{(1 + B_i) + (1 - B_i)z^{-1}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$H_{DI}(z^{-1}) = \frac{\Delta T}{2} \frac{1 + z^{-1}}{1 - z^{-1}} \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここで、 ΔT はサンプリング間隔、 T_{Ri} はリセットフィルタの時定数であり、以下の計算ではそれぞれ

0.02, 3.0 s と設定している。また $B_i = 2T_{Ri}/\Delta T$ である。それぞれの観測信号に対して、 $Z_s(k)$, $Z_a(k)$, $Z_p(k)$ は次のように求められる。

(i) 速度信号を用いた場合

$$Z_s(k) = H_{DR1} \omega(k) \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$Z_a(k) = \frac{Z_s(k) - Z_s(k-1)}{\Delta T} \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$Z_p(k) = H_{DI} H_{DR2} Z_s(k) \quad \dots\dots\dots (8)$$

(ii) 有効出力信号を用いた場合

$$Z_a(k) = -H_{DR3} P_e(k) \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$Z_s(k) = H_{DI} H_{DR4} Z_a(k) \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$Z_p(k) = H_{DI} H_{DR5} Z_s(k) \quad \dots\dots\dots (11)$$

〈2・2〉 従来型ファジー制御^{(1)~(5)} 従来型ファジー

制御は、位相平面上 (図 2) の動作点 $p(k) = \{(Z_s(k), A_s Z_a(k))\}$ に応じて、ファジー論理的に制御信号を決定するものである。ただし、 A_s は加速度情報 $Z_a(k)$ に対するスケーリングファクタである。発電機の動作点 $p(k)$ が領域 A にある場合は発電機に対して減速制御が要求され、領域 B にある場合には逆に発電機に対して加速制御が要求される。減速制御、加速制御の切り換えは第 2・第 4 象限にある切換線によって行われる。A と B の二つの領域は単調な台形型メンバシッ

図 2 位相平面図 A
Fig. 2. Phase plane A.

図 1 フィルタリング
Fig. 1. Filtering.

図 3 メンバシップ関数
Fig. 3. Membership functions.

ブ関数を用いて図3のように表現できる。ここで、 $N\{\theta(k)\}$ が減速領域A、また $P\{\theta(k)\}$ が加速領域Bのメンバシップ関数である。以上より、系統安定化信号 $U(k)$ は重み付き平均により次式で与えられる。

$$U(k) = \frac{N\{\theta(k)\}U_{\max} - P\{\theta(k)\}U_{\max}}{N\{\theta(k)\} + P\{\theta(k)\}}G(k) \quad \dots\dots\dots (12)$$

$U_{\max}$ は安定化信号の制約であり、また $G(k)$ は原点から $p(k)$ までの距離に関するゲインで、パラメータ D_r を用いて次式により表される。

$$D(k) \leq D_r \quad \text{のとき} \quad G(k) = D(k)/D_r \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$D(k) > D_r \quad \text{のとき} \quad G(k) = 1.0 \quad \dots\dots\dots (14)$$

ただし、 $D(k)$ は原点から動作点までの距離 $|p(k)|$ を表している。

〈2・3〉 三次元情報を用いたファジー制御⁽⁸⁾⁽⁹⁾

提案する制御は図4の位相空間によって表せるよう

図4 位相空間
Fig. 4. Phase space.

図5 位相平面B
Fig. 5. Phase plane B.

図6 位相平面C
Fig. 6. Phase plane C.

な三次元型ファジー制御である。同図では三次元空間における切換線を切換面として示している。図に示されるように、速度の積分情報 Z_p が大きくなるにつれて、切換線を速度偏差 Z_s 軸に沿って負の方向に、 Z_p が小さくなるにつれて正の方向に移動させている。従来型制御では、速度の積分情報 Z_p の状態にかかわらず、位相平面A(図2参照)によって制御信号が決定され、加減速領域の調整ができなかった。それに対して、提案する制御においては Z_p に応じたシフト量ZSSを用いて切換線をシフトすることで、加減速領域を変化させることができる。この加減速領域の変更により、従来は十分な制御量が得られずに不安定になっていたケースの安定化が可能となる。図5、図6は位相空間における位相平面B、Cを表している。 Z_p が正のときの位相平面Bでは減速領域(sector A)が、 Z_p が負のときの位相平面Cでは加速領域(sector B)がそれぞれ広がっていることがわかる。また、アルゴリズム的にみても、従来のファジー制御装置への入力が次のように変わるだけで簡潔である。

$$\begin{matrix} \text{従来型} & \text{提案型} \end{matrix} \quad (Z_s, Z_a) \rightarrow (Z_s + ZSS, Z_a) \quad \dots\dots\dots (15)$$

ただし、シフト量ZSSは以下のように Z_p にゲイン S_g を乗じたものである。ただし、 Z_{pmin} は安定領域内の制御の行き過ぎを防ぐために設けた不感帯である。

$$|Z_p| \geq Z_{pmin} \quad \text{のとき} \quad ZSS = S_g \cdot Z_p \quad \dots\dots\dots (16)$$

$$|Z_p| < Z_{pmin} \quad \text{のとき} \quad ZSS = 0.0 \quad \dots\dots\dots (17)$$

3. 例題系統

提案する制御手法の有効性を確認するために、図7に示す一機無限大母線系統を用いて計算機シミュレーションを行っている⁽¹⁰⁾。

図7 一機無限大母線系統
Fig. 7. One-machine infinite-bus system.

図8 通常アナログ型安定化装置
Fig. 8. Conventional analog-type PSS.

また、比較検討のために使用した通常アナログ型 PSS の構成図を図 8 に示す。

4. パラメータ設定

今回のシミュレーションに用いた制御装置のパラメータは、順序付最適化手法により個々のパラメータを順番に最適化することで、次の離散型評価関数 Index を最小にするものを選んだ。

$$\text{Index} = \sum_k [\{\Delta\omega(k)^2 + U(k)^2\} \{k\Delta T\}^2] \dots\dots\dots (18)$$

なお、パラメータ設定を行う際の観測信号には速度信号を用いたが、ここで設定されたパラメータ値は有効出力信号を観測信号とした場合でもそのままの値で使うことができる。

(1) 従来型ファジー制御のパラメータ設定

三相地絡事故自然消滅外乱 (0.1 秒継続、発電機有効出力 $P=1.0$ pu, 発電機無効出力 $Q=0.3$ pu) のもとで、調整可能なパラメータ A_s , D_r および α の設定を行った。設定にあたっては、これら三つのパラメータのうち順次一つのパラメータを選択し、シミュレーションにより評価関数を最小とするパラメータ値を求めている。以後の繰返しにおいて、パラメータ値の変更がなくなったところで、これらのパラメータの繰返し修正を終了している。

- 〔ステップ 1〕 $D_r=1$, $\alpha=90$ に固定
 A_s の最適化 $\rightarrow 0.2$
- 〔ステップ 2〕 $A_s=0.2$, $\alpha=90$ に固定
 D_r の最適化 $\rightarrow 1.1$
- 〔ステップ 3〕 $A_s=0.2$, $D_r=1.1$ に固定
 α の最適化 $\rightarrow 35$
- 〔ステップ 4〕 $D_r=1.1$, $\alpha=35$ に固定
 A_s の最適化 $\rightarrow 0.2$

〔ステップ 4〕での各パラメータ値が〔ステップ 3〕での各値と一致するため、以後の繰返しではパラメータ値の変更はなくなる。従って、〔ステップ 4〕で求めたパラメータが最適パラメータとなる。各パラメータの初期値、繰返し順序を変更して最適化を行った場合も同様の結果が得られた。従って、これらのパラメータ値は評価関数の大域的極小値を与えるものであるといえる。

(2) 提案型ファジー制御のパラメータ設定

ゲイン S_g は事故後回線遮断外乱 (三相地絡事故 0.1 秒継続, $P=1.08$ pu, $Q=0.3$ pu) に対して最適化を行った。この外乱に対して発電機の安定化が可能となる従来型ファジー制御のパラメータを (1) 項と同様の

手法で探索したが、存在しなかった。すなわち、従来型ファジー制御ではこの外乱に対する安定化は不可能であった。この外乱に対する安定化のため、提案型ファジー制御のパラメータの設定を以下の手順で行った。ただし、 A_s , D_r , α の設定値としては (1) 項で求めたパラメータ値を用いている。更に、安定領域内での制御の行き過ぎによる応答特性の劣化を防ぐために、(1) 項と同じ外乱のもとで不感帯 Z_{pmin} を最適化している。

- 〔ステップ 1〕 $A_s=0.2$, $D_r=1.1$, $\alpha=35$, $Z_{pmin}=0$ に固定
 S_g の最適化 $\rightarrow 4.2$
- 〔ステップ 2〕 $A_s=0.2$, $D_r=1.1$, $\alpha=35$, $S_g=4.2$ に固定
 Z_{pmin} の最適化 $\rightarrow 0.35$

(3) アナログ型 PSS のパラメータ設定

(1) 項と同じ外乱に対して評価関数値を最小とするパラメータの設定を行った。ただし、位相進み補償器に含まれる時定数 T_2 は 0.02 秒に固定している。

- 〔ステップ 1〕 $T_1=0.5$ に固定
 K_s の最適化 $\rightarrow 50$
- 〔ステップ 2〕 $K_s=50$ に固定
 T_1 の最適化 $\rightarrow 0.33$
- 〔ステップ 3〕 $T_1=0.33$ に固定
 K_s の最適化 $\rightarrow 62$
- 〔ステップ 4〕 $K_s=62$ に固定
 T_1 の最適化 $\rightarrow 0.33$

5. シミュレーションによる制御性能の検証

前章で求めた制御パラメータを用いて、各制御装置の制御性能を検証した。なお、シミュレーション 1 ~ 4 は観測信号として速度を用いている。有効出力を観測信号とした場合も同等の制御が可能であり、シミュレーション 5 でそのことを示す。

表 1 安定限界極限電力 (事故後回線遮断の場合)
Table 1. Critical power output (isolation of faulted line).

事故時間 (s)	安定限界極限電力 (pu)			
	通常型	従来型 ファジー	提案型 ファジー	運用可能 最大出力
0.00	1.11	1.16	1.17	1.20
0.02	1.10	1.14	1.17	1.20
0.04	1.07	1.12	1.17	1.20
0.06	1.05	1.08	1.15	1.16
0.08	1.01	1.06	1.12	1.12
0.10	0.98	1.03	1.08	1.08
0.12	0.94	0.99	1.04	1.04

事故後回線遮断, 事故 0.1 s

図 9 Index の変化 (出力を上げた場合)

Fig. 9. Performance index vs. power output (isolation of faulted line after 0.1 s).

(1) シミュレーション 1 事故後回線遮断 (三相地絡事故 0~0.12 秒継続) において発電機出力を増加していったときの安定限界極限出力の比較を行った。表 1 は事故時間を変えたときに各制御で安定化可能な安定限界極限電力を示している。ここで運用可能最大出力というのは、100%の制動をかけた場合に角速度偏差が零点を交差し (第 1 波における安定)、かつ定常動作点の存在する最大有効電力のことである。同表を見ると、提案型の制御により運用可能最大出力近くまで制御可能であることがわかる。

出力の増加に伴う Index の変化を図 9 に示す (事故継続時間 0.1 s)。同図からも、提案型制御が応答特性、ロバスト性に優れていることがわかる。また、図 10, 図 11 に運用可能最大出力点 (事故 0.1 秒継続, $P=1.08$ pu, $Q=0.3$ pu) における応答波形, 制御信号を示している。提案型制御は速度の積分情報を考慮して十分な制御量を確保しており、その結果、従来型ファジー制御, 通常アナログ型制御では制御不可能な動作点での安定化がなされている。

図 12, 図 13 はアナログ型 PSS の安定限界極限電力点 (事故 0.1 秒継続, $P=0.98$ pu, $Q=0.3$ pu) でのシミュレーション結果である。このケースでは提案型ファジー制御を用いた場合、動揺の整定時間が他の制御方式よりも短くなっており、その優れた制御性能が確認される。

図 14(a), (b) は、従来型ファジー制御の安定限界極限電力近傍点 (事故 0.1 s 継続, $Q=0.3$ pu, $P=1.03$ または 1.04 pu) でのシミュレーション結果を位相平面上にプロットしたものである。(a) 図では従来型ファジー制御が、切換線上に沿って動作点を運んでおり、制御の行き過ぎもなく良好な制御であるように見えるが、整定時間に関しては提案型制御のほうが早い。このケースより出力を 0.01 pu 増加させると、(b) 図のように従来型ファジー制御では安定化信号の不足により不安定になってしまうが、提案型制御では

事故後回線遮断, 事故 0.1 s, 出力 1.08 pu

図 10 制御信号

Fig. 10. Stabilizing signal (isolation of faulted line after 0.1 s, power output = 1.08 pu).

事故後回線遮断, 事故 0.1 s, 出力 1.08 pu
上から速度偏差, 位相差角, 有効出力

図 11 応答波形

Fig. 11. Time responses (isolation of faulted line after 0.1 s, power output = 1.08 pu).

安定化が可能である。なお、これらの図に示されるように、いずれの場合も通常アナログ型制御での安定化は不可能である。

(2) シミュレーション 2 事故回線を遮断した場合において出力を 1 pu に固定し、事故時間を延長していった場合の安定化可能な限界故障除去時間と各制御での Index を調べた。安定化可能な限界故障除

事故後回線遮断, 事故 0.1 s, 出力 0.98 pu

図 12 制御信号

Fig.12. Stabilizing signal (isolation of faulted line after 0.1 s, power output = 0.98 pu).

事故後回線遮断, 事故 0.1 s, 出力 0.98 pu
上から速度偏差, 位相差角, 有効出力

図 13 応答波形

Fig.13. Time responses (isolation of faulted line after 0.1 s, power output = 0.98 pu).

去時間は, 通常アナログ型制御では 0.09 s, 従来型ファジー制御では 0.11 s, 提案型制御では 0.14 s となった。また, Index の変化を図 15 に示す。この場合も, 提案型ファジー制御の優れた応答特性とロバスト性が確認できる。

(3) シミュレーション3 事故自然消滅(三相地絡事故 0.02~0.12 s)において出力を増加していっ

(a) 事故後回線遮断

(b) 事故後回線遮断

事故 0.1 s, 出力 1.03 pu

事故 0.1 s, 出力 1.04 pu

(I): 提案型ファジー制御, (II): 従来型ファジー制御,
(III): 通常アナログ型制御

図 14 位相平面上の動作点軌跡

Fig.14. Phase plane trajectories.

事故後回線遮断, 出力 1 pu

図 15 Index の変化 (事故時間延長)

Fig.15. Performance index vs. duration time of fault (isolation of faulted line, power output=1.0 pu).

表 2 安定限界極限電力 (自然消滅外乱の場合)

Table 2. Critical power output vs. fault duration time.

事故時間 (s)	安定限界極限電力 (pu)		
	従来型 ファジー	提案型 ファジー	運用可能 最大出力
0.02	2.01	2.01	2.01
0.04	2.01	2.01	2.01
0.06	1.94	1.94	1.94
0.08	1.75	1.75	1.75
0.10	1.60	1.60	1.60
0.12	1.47	1.47	1.47

たときの安定限界極限出力の比較を行った。結果をまとめたものが表 2 である。従来型, 提案型ともに運用可能最大出力までの制御が可能であった。

図 16, 図 17 は事故時間 0.02, 0.1 s の各ケースで, 出力を増加させた場合の Index の変化を示している。事故時間が 0.02 s のときは不感帯の効果により, 両ファジー制御が同等の制御を行っていることがわかる。事故時間を延ばして 0.1 s にすると, 提案型ファジー制御の Index 値がやや大きくなるが, ほぼ同等

自然消滅, 事故時間 0.02 s

図 16 Index の変化 (出力を上げた場合)
Fig. 16. Performance index vs. power output
(fault duration time=0.02 s).

自然消滅, 事故時間 0.10 s

図 17 Index の変化 (出力を上げた場合)
Fig. 17. Performance index vs. power output
(fault duration time=0.1 s).

の制御が行われている。

図 18, 図 19 に事故時間 0.1 s, 出力 1.58 pu における応答波形と制御信号を示している。応答波形より両ファジー制御の整定時間に差がないことがわかる。提案する制御が大きく動作点を動かす性質上, Index 値も若干大きくなっているが, 整定時間に差がなく,むしろ大きく動作点を動かすことで, 事故回線遮断外乱における顕著なロバスト性が実現されていると考えられる。なお, 表 2 において通常アナログ型制御での安定限界をのせていないが, これは発電機出力を上げた場合に持続振動が発生し, 安定限界が確定できなかったことによる。

(4) シミュレーション 4 一般にバンバン型制御では, 小信号外乱に十分適応できないことが指摘されている。今回提案しているファジー制御規則も, バンバン制御をベースとした制御規則であるので, 小信号外乱に対する制御性能を検討する必要がある。ここでは, 1 秒間継続するパルス状外乱, ステップ状外乱 (ともに外乱サイズ 0.1 pu) を機械的入力に与えシミュレーションを行った。いずれの場合も提案型ファジー制御, 従来型ファジー制御により同等の制御効果が得られており, 通常アナログ型制御に比べて優れた応答特性を有している。

事故自然消滅, 事故 0.1 s, 出力 1.58 pu

図 18 制御信号
Fig. 18. Stabilizing signal (fault duration time=0.1 s, power output=1.58 pu).

事故自然消滅, 事故 0.1 s, 出力 1.58 pu
上から速度偏差, 位相差角, 有効出力

図 19 応答波形
Fig. 19. Time responses (fault duration time=0.1 s, power output=1.58 pu).

(5) シミュレーション 5 ここでは, 観測信号に有効出力信号を用いた場合のシミュレーション結果を示している。信号処理に用いるディジタルフィルタを図 1 (b) のようにすることで, 制御装置のパラメータ設定は観測信号に速度信号を用いた場合と同じ値とすることができる。図 20 は外乱として三相地絡事故 (事故後回線遮断) を与えたときの応答波形である。ただし, 事故時間 0.1 s, 有効出力は運用可能最大出

表 3 小信号動作における Index
Table 3. Performance index subject to small disturbance.

制御方式	Index	
	パルス状外乱 (1 秒間継続)	ステップ状外乱
提案型ファジー制御	3.291	0.1991
従来型ファジー制御	3.291	0.1991
通常アナログ型制御	4.482	0.5681

$P=1.0$ pu, $Q=0.3$ pu, 外乱サイズ 0.1 pu

事故後回線遮断, 事故 0.1 s, 出力 1.08 pu
上から速度偏差, 位相差角, 有効出力

図 20 応答波形

Fig. 20. Time responses (isolation of faulted line after 0.1 s, power output = 1.08 pu).

力 (1.08 pu) である。これからわかるように、観測信号として有効出力を用いた場合でも、速度を観測した場合と同等の制御が可能である。観測信号として有効出力を用いることにより、加速度信号 Z_a を得るときの微分処理がなくなり、測定雑音対策として有効であると考えられる⁽³⁾。

6. ま と め

発電機速度の比例・微分・積分情報を用いて制御信号を決定する新しいファジー制御規則を提案した。この制御装置は、従来型ファジー制御の位相平面を速度の積分情報に応じてシフトすることで、加減速領域を変更できるような構成となっている。制御器のパラメ

ータの決定は、まず通常動作点で応答特性に優れた制御性能を有する従来型ファジー制御のパラメータを最適化し、次に従来型の制御では安定化が不可能となる動作点で、新しく導入した切換線をシフトするためのパラメータを最適化している。この結果、得られる制御装置は従来のファジー制御に比べてほぼ同等な応答特性と、より大きなロバスト性をもっている。

提案する手法の制御性能を検討するために、一機無限大母線系統を例題系統とした計算機シミュレーションを行い、その有効性を確認した。特に、事故回線遮断を外乱として与えた場合、提案型制御は運用可能最大出力近傍の動作点まで安定化が可能であり、その有効性が顕著であった。また、制御の行き過ぎによる応答特性の劣化を防ぐために不感帯を設けたが、それによって安定領域内の動作点でも従来型ファジー制御とほぼ同等の制御を行うことができた。

今後は、提案する制御方式を多機系統へ適用したシミュレーション、小型発電機を用いた実験的考察を行い、その制御性能の検証を行う予定である。

(平成 4 年 12 月 16 日受付, 同 5 年 6 月 22 日再受付)

文 献

- (1) T. Hiyama & T. Nakano: "Application of fuzzy control for stabilization of electric power system", Proc. International Workshop on Fuzzy System Applications, Iizaka, Japan, p. 71 (1988)
- (2) T. Hiyama & T. Sameshima: "Fuzzy logic control scheme for on-line stabilization of multi-machine power system", *Fuzzy Sets & Systems*, 39, No. 2, 181 (1991)
- (3) T. Hiyama, et al.: "Fuzzy logic stabilizer with digital compensation for stability enhancement of multi-machine power system", Proc. 3rd Symposium on Expert System Application of Power System, p. 455 (1991)
- (4) 檜山 隆・釘宮政彦: 「ファジー制御則を用いたデジタル型 PSS による実時間制御実験」, 電気学会電力技術研資, PE-92-85 (平 4)
- (5) T. Hiyama: "Real time control of micro-machine system using micro-computer based fuzzy logic power system stabilizer", 1993 IEEE PES Winter Meeting, No. WM128-9EC.
- (6) M. A. Iskander・石関光男, 他: 「測定雑音を考慮したファジー制御を用いた電力系統の安定化制御」, 平 4 電気学会電力・エネルギー部門大会, I, p. 43
- (7) M. A. Iskander・佐藤仁志, 他: 「角速度と電力を測定したファジー制御を用いた系統安定化装置」, 電気学会電力技術研資, PE-92-83 (平 4)
- (8) 檜山 隆・藤木俊弘: 「ファジー制御則の切りかえによる過渡安定度の改善」, 平 4 電気学会電力・エネルギー部門大会, II, p. 19
- (9) 檜山 隆・藤木俊弘: 「位相差角情報を加味したファジー制御による過渡安定度の改善」, 電気学会電力技術研資, PE-92-81 (平 4)
- (10) Yao-nan Yu: *Electric Power System Dynamics* (1983) Academic Press, Inc., Canada

榎 山 隆 (正員)

昭和22年3月14日生。46年3月京都大学大学院工学研究科修士課程電気専攻修了。同年4月熊本大学工学部電気工学科助手, 54年1月同講師, 57年1月同助教授, 平成元年6月同電気情報工学科教授, 現在に至る。工学博士。60年5月~61年9月文部省在外研究員(長期)として, アメリカ・ニューヨーク州クラークソン大学へ出張。この間, 配電系統における高調波分布の実測および解析に関するプロジェクトに参加。主として, 電力系

統の安定化制御に関する研究に従事。日本計測自動制御学会, 日本太陽エネルギー学会, IEEE 会員。

藤 木 俊 弘 (准員)

昭和42年8月13日生。平成5年3月熊本大学大学院工学研究科電気情報工学専攻修了。同年4月九州松下電器(株)入社, 現在に至る。