1 機無限大母線モデルシステムのロバスト性と安定余裕

正 員 川本 俊治 (大阪府立大学)

学生員 滝野 勝彦 (大阪府立大学)

Robustness and Stability Margin of One-Machine Infinite-Bus Power Model System
Shunji Kawamoto, Member, Katsuhiko Takino, Student member
(University of Osaka Prefecture)

キーワード: 電力系統, 安定化制御, 安定性解析, ロバスト性, 安定余裕

1. まえがき

多機電力系統の安定化制御を行うために、著者らが提案したファジィ分散制御の方法では、多機の問題はロバストな1機の問題に帰着させることができ、研究の第1ステップとしてGOVのみを含む1機無限大母線モデル系統のファジィ型リアプノフ関数による安定領域評価を行ってきた⁽¹⁾。そしてその分散制御での基本的な系統となる(AVR+GOV)を含む1機系統に対しても、著者らの安定性解析法が適用できることを示した⁽²⁾。本レターでは、(AVR+GOV)を含む1機無限大母線モデル系統の安定性解析に基づいて、ロバスト性と安定余裕について得られた検討結果を報告する。

2. モデル系統

(AVR+GOV)を含む1機無限大母線モデル系統で3相短絡故障を想定すると⁽²⁾、故障回線除去後の系統の動揺方程式は、変数として $\{x_1 \triangleq \delta - \delta_s, x_2 \triangleq \omega - \omega_0, x_3 \triangleq P_m - P_{m0}, x_4 \triangleq E'_q - E'_{qs}, x_5 \triangleq E_{fd} - E_{fds}\}$ を導入して、Parkモデルにより(1)~(8)式で表現される。

$$\dot{x}_1 = x_2 \dots\dots\dots(1)$$

$$\dot{x}_2 = \{-Dx_2 + x_3 + P_{m0} - P_e(x_1, x_4)\}/M \dots\dots\dots(2)$$

$$\dot{x}_3 = -\{K_g x_2 / \omega_0 + x_3\}/T_g + u_g / T_g \dots\dots\dots(3)$$

$$\dot{x}_4 = \{-(x_4 + E'_{qs}) + x_5 + E_{fds} - (x_d - x'_d)I_d(x_1, x_4)\}/T'_{d0} \dots\dots\dots(4)$$

$$\dot{x}_5 = -\{x_5 + K_a(V_i(x_1, x_4) - V_{is})\}/T_a + u_a / T_a \dots\dots\dots(5)$$

ただし、

$$P_e(x_1, x_4) = \frac{E_B}{x_i + x'_d} (x_4 + E'_{qs}) \sin(x_1 + \delta_s) \dots\dots\dots(6)$$

$$I_d(x_1, x_4) = \frac{x_4 + E'_{qs} - E_B \cos(x_1 + \delta_s)}{x_i + x'_d} \dots\dots\dots(7)$$

$$V_i(x_1, x_4) = \sqrt{\left\{ \frac{x_q E_B}{x_i + x_q} \sin(x_1 + \delta_s) \right\}^2 + \left\{ \frac{x_i(x_4 + E'_{qs})}{x_i + x'_d} + \frac{x'_d E_B}{x_i + x'_d} \cos(x_1 + \delta_s) \right\}^2} \dots\dots(8)$$

文献(1)に記載されていない諸記号は以下の通りで、系統定数は表1に示す。

x_d :直軸リアクタンス (pu), x_q :横軸リアクタンス (pu), T'_{d0} :直軸回路時定数 (sec), E'_q :界磁電圧 (pu), E'_{q0} :2回線送電時の界磁電圧 (pu), E'_{qs} :1回線送電時の界磁電圧 (pu), E_{fd} :励磁電圧 (pu), E_{fd0} :2回線送電時の界磁電圧 (pu), E_{fds} :1回線送電時の界磁電圧 (pu), T_a :自動電圧調整器時定数 (sec), K_a :自動電圧調整器利得, E_B :無限大母線電圧 (pu), x_i :発電機端子と無限大母線の全リアクタンス (pu)とし、添字"0,s"はそれぞれ故障発生前・故障回線除去後の運転安定平衡点での値、AVR・GOVの各リミットは $-5.0 \leq x_5 \leq 5.0$ および $-0.2P_{m0} \leq x_3 \leq 0.2P_{m0}$ ($P_{m0} = 0.635$)である。

表1 系統定数

Table 1. System parameters.

$M = 0.0138$	$D = 0.0138$	$x'_d = 0.4$	$x_e = 0.9$	$x_t = 0.1$
$x_q = 0.8$	$x_d = 0.8$	$T'_{d0} = 2.0$	$T_a = 0.3$	$T_g = 2.0$
$K_a = 20$	$K_g = 20$	$\delta_0 = \pi/6$	$E'_{q0} = 1.208$	$E_B = 1.0$
$\omega_0 = 120\pi$				

3. ロバスト性と安定余裕

AVRを記述する(4),(5)式には、 $x_4(t)$ および $x_5(t)$ 以外に $x_1(t)$ のみが含まれているため、(4),(5)式の解 $x_4(t)$ および $x_5(t)$ は $x_1(t)$ の関数 $x_4(t) = f(x_1(t))$ および $x_5(t) = g(x_1(t))$ であることがわかる。したがって、AVR

の効果は電氣的出力のみに現れて、 $P_e(x_1, x_4) = P_e(x_1, x_4(x_1)) = P_e(x_1)$ すなわち P_e は AVR の影響を受けた $x_1(t)$ のみの関数とみることができる。(1) ~ (8) 式において、故障回線除去時間 t_c を 0.1(sec) および 0.4(sec) とした場合のシステムの動揺はそれぞれ安定・不安定

図1 電力相差角曲線
Fig.1. Power-angle curve.

(i) 接点 ($T_g = 25.27$)

(ii) 斜線部 ($T_g = 2.0$)

(iii) 接点 ($T_g = 0.0503$)

図2 P-領域

Fig.2. P-region.

図3 制御応答 (u_g = ファジィ制御入力)

Fig.3. Control response (u_g = fuzzy control input).

となり、 P_e を $x_1 - P_e$ 平面に描くと図1の曲線が得られる。前述の通り、この電力相差角曲線は AVR の影響を含んでいるために、GOV のみの場合とは異なる。そして得られた曲線 $P_e(x_1)$ を文献(1)の(11)式に書き直すと、(AVR+GOV)を含む1機系統の安定性解析は GOV のみの場合の解析に帰着する。AVR 補助制御入力 u_a は線形制御入力 $u_a = -[f_4 \ f_5][x_4 \ x_5]^T$, そして GOV の u_g はファジィ制御入力(文献(1)の(13)式)とする。ここで u_a のフィードバックゲインは $\{f_4, f_5\} = \{-2.01, 2.02\}$, u_g については $F_1 = [-3.9 \ 0.11 \ 19.4]$ および $F_2 = [-3.2 \ 0.10 \ 16.5]$ である。そして同様にファジィシステム(文献(1)の(14)式)を構成すると安定性解析が可能となり、リアプノフ不等式に共通な正定対称行列 P が存在すれば、図1の System 1・2 で挟まれる x_1 の範囲内でモデル系統の安定性が保証される⁽¹⁾。例えば図2に示すように、 T_g については $0.0503 \leq T_g \leq 25.27$ の範囲で P-領域⁽¹⁾が存在し、モデル系統のロバスト性およびその安定余裕を定量的に求めることができる。図3には各 T_g の値の場合の制御応答がそれぞれ安定であることを示す。さらに、他の系統定数についても同様に検討できる。

4. あとがき

著者らの分散制御で基本となる (AVR+GOV) 付 1 機無限大母線モデルシステムのロバスト性と安定余裕は、既に報告した GOV 付 1 機系統の安定性解析に基づいて定量的に検討できることを本レターで示した。日頃ご指導頂く近畿大学工学部谷口経雄教授(大阪府立大学名誉教授)、そして卒業研究で御協力頂いた新原淳一氏(現 松下電産(株))に感謝申し上げる。

(平成 7 年 6 月 22 日受付)

文 献

- (1) 川本 他:『ファジィ型リアプノフ関数による電力系統の安定領域評価ー1機無限大母線モデル系統のガバナ制御ー』, 電学論 B, 115, 715 ~ 723 (平7-7)
- (2) 滝野・川本 他:『1機無限大母線モデル系統の安定性解析』, 平成7年電気学会全国大会, No.1317

川本 俊治 (正員)1947年3月25日生まれ。'80年大阪府立大学大学院工学研究科電気工学専攻博士課程修了。'91年同助教授となり現在に至る。ソリトンに関連する非線形偏微分方程式論、電力系統の安定性解析・安定化制御など非線形問題に関する研究に従事。

滝野 勝彦 (学生員)1971年4月29日生まれ。'94年3月大阪府立大学工学部電気工学科卒業。同年4月同大学大学院工学研究科博士前期課程電気工学専攻入学。現在同課程に在学中。電力系統のファジィ制御および安定性解析に関する研究に従事。