リミッタを考慮した1機無限大母線モデル系統の 非線形制御と安定性解析

学生員 黄 欣宇 (大阪府立大学) 学生員 北川 泰弘 (大阪府立大学)
正員 川本 俊治 (大阪府立大学) 正員 西垣内 秀俊 (関西電力)

Nonlinear Control and Stability Analysis
for One-Machine Infinite Bus Model Power System with Limiter
Xinyu Huang, Student member, Yasuhiro Kitagawa, Student member,
Shunji Kawamoto, Member (Osaka Prefecture University),
Hidetoshi Nishigaito, Member (The Kansai Electric Power Co., Inc.)

キーワード: 電力系統, 安定化制御, 非線形制御, 安定性解析, リミッタ

1. まえがき

大規模・複雑化する電力系統の過渡安定化制御を行うために、著者らは非線形分散制御の方法を検討している。その中で、多機系統の問題を複数のロバスト1機系統の問題へ帰着させ、提案手法によって AVR・GOV を含む1機無限大母線モデル系統のロバスト安定性解析ができることを既に報告した⁽¹⁾。しかしながらその方法では、AVR のリミッタにかかるほどの補助制御入力 u_a を加えていないために動揺第1波に対する AVR 効果が低く、むしろ GOV の補助制御入力 u_g に依存する制御応答となっていた。

本レターでは、AVR リミッタに積極的にかかるように u_a を改良して動揺第1波を効果的に抑え、系統に u_a を加えてリミッタの影響を考慮した場合の動揺データによりシステム同定⁽²⁾を行う。そして得られた係数パラメータの推定値による安定性解析に基づいて u_g のフィードバックゲインを決定し、GOV により第2波以降の動揺を速やかに収束させている。

2. リミッタの考慮と改良型 u_a

図1に AVR・GOV を含む1機モデル系統(水力機)を、そして表1に系統定数をそれぞれ示す(諸記号は参考文献(1)に同じ)。F 点での3相短絡故障を想定し、故障回線除去後の系統の動揺方程式を連立微分方程式により Park モデル近似する⁽¹⁾。AVR・GOV の各リミッタは $-5.0 \leq x_5 \leq 5.0(pu)$ および $-0.2P_{m0} \leq x_3 \leq 0.2P_{m0}(P_{m0} = 0.635(pu))$ としている。ただし x_1 = 位相角偏差、 x_2 = 角速度偏差、 x_3 = 機械的入

力偏差、 x_4 = 内部誘起電圧偏差、 x_5 = 励磁電圧偏差である。また一般に、線形システムであってもリミッタを考慮すると非線形システムとなり、その解析は難しい。ここではまず過渡動揺第1波を AVR で抑えるために x_1 および x_2 を考慮した改良型線形 $u_a = -[f_{1a} \ f_{2a} \ f_5] [x_1 \ x_2 \ x_5]^T$ を加え、 u_g はファジィ型非線形⁽¹⁾とする。そして u_g のゲイン $[f_{1a} \ f_{2a} \ f_5] = [-20.0 \ -42.0 \ 30.0]$ は平衡点制御⁽³⁾⁽⁴⁾に基づいて決定し、 u_a のみ加えた場合の x_5 の応答を図2に示す。 x_5 はリミッタにかかっていることが分かる。

3. 安定性解析とシミュレーション

次に u_a のみ加えてリミッタの影響を含む動揺データを

図1 1機無限大母線モデル系統

Fig. 1. One-machine infinite bus model power system.

表1 系統定数

Table 1. System parameters.

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

システム同定⁽²⁾し、モデル方程式の推定係数パラメータを使って安定性解析すると図3の $P_e - \delta$ 曲線およびP-領域が得られ、安定性を保障する条件下での u_g のゲイン $F_1 = [0.0538 \ -0.369 \ 49.1]$ および $F_2 = [0.91 \ -8.38 \ 229]$ を決定することができる。ただし図3(ii)の共通なP-領域が存在することにより、(i)の電氣的出力 P_e が2直線Sys.1・2で挟まれる時間変化の範囲において保証されることを意味している。図4には故障回線除去時間 $t_c = 0.13$ (秒)後の $u_a \cdot u_g$ 有無の制御応答を比較している。 $u_a \cdot u_g$ なしの場合の臨界故障除去時間 $t_{cr} = 0.12$ (秒)は、 $u_a \cdot u_g$ を加えると $t_{cr} = 0.21$ (秒)になった。

図2 x_5 応答とリミッタ
Fig. 2. x_5 response and limiter.

図3 $P_e - \delta$ 曲線とP-領域
Fig. 3. $P_e - \delta$ curve and P-region.

図4 制御応答比較
Fig. 4. Comparison of control responses.

4. あとがき

本レターでは、AVR リミッタに積極的にかかる u_a を加えて第1波を抑え、非線形 u_g により第2波以降を収束させる非線形制御および安定性解析を検討した。その結果、現在使用している $u_a = -[f_4 \ f_5][x_4 \ x_5]^T$ とは異なり、 x_1 および x_2 の急変に対応できる高いAVR効果が現われ、AVR リミッタも考慮した安定性解析の下でGOVは従来通りの補助的な役目を担えることが分かった。提案する制御法とPSSとの比較、多機モデル系統⁽⁵⁾への適用などを今後の課題としたい。本研究の一部は文部省科学研究費基盤研究(C)「多機電力システムの非線形分散制御」(No.09650329)の助成を受けていることを付記する。

(平成9年10月27日受付)

文 献

- (1) 川本・滝野：「1機無限大母線モデル系統のロバスト性と安定余裕」，電学論B，**116**，120～121(平8-1)
- (2) 川本・兼高：「電力系統の分散システム同定」，電学論B，**116**，14～19(平8-1)
- (3) 川本・桑田・山田：「1機無限大母線モデル系統の平衡点制御」，電学論B，**116**，556～562(平8-5)
- (4) 川本・兼高・野尻：「3機モデル系統の平衡点制御に基づく分散制御」，電学論B，**117**，68～74(平9-1)
- (5) X. Huang and S. Kawamoto: "Nonlinear Decentralized Control for Multi-Machine Power System", Proc. of ICEE'97, Matsue, Japan, 314～317(1997-7)

黄 欣 宇 (学生員) 1964年4月26日生まれ。'89年6月中国武漢水利電力大学大学院電力工学部卒業、修士号取得。同年7月雲南工業大学電力工学部電気工学科助手、'91年6月同講師。'95年4月大阪府立大学大学院工学研究科博士後期課程電気・情報系専攻入学。現在同課程に在学中。電力系統の安定性解析、安定化制御など非線形制御問題に関する研究に従事。

北 川 泰 弘 (学生員) 1972年12月2日生まれ。'96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・情報系専攻入学。現在同課程に在学中。電力系統の非線形分散制御に関する研究に従事。平成8年電気関係学会関西支部連合大会奨励賞受賞。

川 本 俊 治 (正員) B部門誌平成9年1月号参照。

西 垣 内 秀 俊 (正員) 1950年3月2日生まれ。'74年3月大阪府立大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了。同年4月関西電力(株)入社。'90年6月関西電力(株)総合技術研究所主任研究員、現在に至る。電力系統解析業務に従事。