可変制御則と可変ゲインを有するファジー理論を用いた SVC による電力系統の安定化制御

准員 大森 尉公 正員 水谷 芳史 正員 岡部 孝継 非会員 的場 誠一
(東 海 大 学) (電 源 開 発) (開 発 計 算 セ ン タ ー)

Power System Stability Control Based on SVC Using Fuzzy Logic with Variable Control Rule and Gain

Yasuyuki Ohmori, Associate, Yoshibumi Mizutani, Member (Tokai University), Takatsugu Okabe, Member (Electric Power Development Co., Ltd.), Seiichi Matoba, Non-member (The Kaihatsu Computing Service Center Ltd.)

キーワード：SVC，ファジー制御，ファジー領域，スイッチングライン。

長距離、大容量化する電力システムの安定度を高めるために、非線形性をそのまま考慮できるファジー制御を用いた静止形無効電力補償装置 (SVC) ^{(1) (2)} が提案されている。しかし、これらの SVC 制御は、大小外乱に対して同時に満足する十分な制御効果について検討されていない。

そこで本レターでは、SVC設置点の有効電力 E_s とそれを積分しリセット回路を通した近似的発電機角速度偏差情報 E_{ω} をファジー制御器の入力信号とし、系統の動揺状態に応じて入力信号の大きさおよび制御の切り換え領域を変化させ、大小外乱に十分適応できる制御手法⁽³⁾を提案する。

本レターでは、図 1 の送電線路の中間地点に図 2 の S V C を設置した一機無限大母線系統モデルを用いる。同期発電機には、調速機、自動電圧調整器、系統安定化装置 (ΔP 形 P S S) が備えられているものとする。

本手法の SVC 制御は、図 3 のように SVC 設置点の有効電力潮流 P_c を測定器、リセット回路を通した出力 E_c とそれを積分しリセット回路を通した近似的発電機角速度偏

図1 一機無限大母線系統モデル

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

図2 静止形無効電力補償装置 (SVC)

Fig. 2. Block diagram of SVC.

図3 有効電力の信号処理

Fig. 3. Block diagram of active power signal.

差情報 E_b をファジー制御器の入力信号として用いる。そして、図4の位相平面上の横軸に $E_a(k)$ を、縦軸に $\alpha_1 \times |E_b(k)|$ を取り、次式の動作点 $p_f(k)$ を得る。

$$p_f(k) = [E_a(k), \alpha_1 | E_b(k) | E_b(k)] \dots\dots(1)$$

图 4 位相平面

Fig. 4. Phase plane.

制御操作量は、位相平面上の $p_r(k)$ の位置から次のように決定する。まず、 $p_r(k)$ が第 1 象限に存在する時は等価誘導性リアクタンス方向に、第 3 象限に存在する時は等価容量性リアクタンス方向に制御を実施する。次に $p_r(k)$ が第 2、第 4 象限に存在する時は、(2) 式に従って変化するスイッチングライン SL の位置において誘導性、容量性の操作量の切り換えを行う。その際、操作量を徐々に切り換えるファジー領域 α_2 も SL を中心に移動する。

$$\theta_{SL} = \theta_{SL0} + \kappa (E_a(k) - \alpha_1 |E_b(k)| E_b(k)) \quad \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 θ_{SL} はSLの角度、 $\theta_{SL0}=135^\circ, 315^\circ$ 。

すなわち、 E_a と E_b 情報を基に容量性領域を広めに取り無効電力量を多く供給する効果は、発電機の安定性とロバスト性を高めることが期待される。また、発電機の角速度偏差情報の大きさ $|E_b(k)|$ によって位相平面の縦軸を調整する効果は、外乱が大きい時に制御ゲインを大きく、外乱が小さい時に制御ゲインを小さくすることで大小外乱に適応した制御が期待される。そして、 $\theta(k)$ と $D(k)$ のメンバシップ関数から荷重平均⁽¹⁾を取り、次式に示す制御操作量を決定しSVCの安定化信号 U_{svc} として用いる。

$$U_{svc} = \frac{\mu_N(k) - \mu_F(k)}{\mu_N(k) + \mu_F(k)} \mu_G(k) U_m \quad \dots\dots\dots (3)$$

ただし、 μ_N, μ_F, μ_G は各々誘導性領域、容量性領域、制御の強さを表すメンバシップ関数のレベルのグレード、 U_m は制御操作量の最大値。

本手法の調整パラメータは、次に示す大小外乱と(4)式の評価関数 J を用いて次のように設計した。

(1)図1のf点で一回線三相地絡後 $t_c=0.1$ (s)で故障回線を開放する大外乱(以下大外乱と略す)。

(2)図1の発電所の機械的入力 P_m をステップ状に0.01(pu)減少させた小外乱(以下小外乱と略す)。

$$J = \sum_{k=1}^m (|\Delta\omega(k)| t_k + |U_{svc}|) \quad \dots\dots\dots (4)$$

ただし、 m はサンプル数、 $t_k = kT$ 、 $U_{svc} = (U_{svc}(k) - U_{svc}(k-1)) / T$ 、 T はサンプル周期。

まず、大外乱時の J を J_b 、小外乱時の J を J_s とし、その和 J_t を最小になるよう $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ (文献(1)参照)を設計する。次に、この $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ を設定し、受電端側リアクタンス x_j を不安定になるまで大きくし、大外乱を用いて、 J を最小にするように κ を設計する。最後に、算出された κ を設定し、大小外乱を用いて $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ を再設計する。

図5は、 x_j が2.89倍になった時の大外乱の特性で、(a)は本手法、(b)は文献(1)、(c)は文献(2)の場合である。本手法は安定でかつ速やかに収束し、他の手法よりロバスト性の高い制御となっている。

図6(a)、(b)、(c)は、各々図5の(a)、(b)、(c)に対応する制御手法の設計点における小外乱時の特性である。本手法は、速やかに収束しており良好な制御効果を得ている。なお、図5、図6の各(a)の α_1 は、縦軸に $|E_b(k)|$ を掛けていることから非常に大きな値となっている。

本レターは、系統の動揺状態に応じて制御ゲインおよび制御の切り換え領域を変化させるファジー制御を開発しSVCに適用した結果、大外乱に対して安定性、ロバスト性が高く、小外乱にも良好な制御効果を得ることができた。

(平成7年3月1日受付)

文 献

(1)佐藤他：電学論B，113(平5-3)

(a) 本手法 ($\alpha_1=420, \alpha_2=90.0, \alpha_3=0.19, \kappa=9.0$)

(b) 文献(1) ($\alpha_1=0.03, \alpha_2=90.0, \alpha_3=0.43$)

(c) 文献(2) ($\alpha_1=0.1, \alpha_2=30.0, \alpha_3=0.005$)

図5 大外乱の特性 ($x_j = 2.89$ 倍)

Fig.5. Responses under large disturbance($x_j=2.89$).

(a) 本手法 ($\alpha_1=420, \alpha_2=90.0, \alpha_3=0.19, \kappa=9.0$)

(b) 文献(1) ($\alpha_1=0.03, \alpha_2=90.0, \alpha_3=0.43$)

(c) 文献(2) ($\alpha_1=0.1, \alpha_2=30.0, \alpha_3=0.005$)

図6 小外乱の特性

Fig.6. Responses under small disturbance.

(2)木原，宮内，檜山：電力技術研究会 PE-93-159

(3)大森，岡部，的場，水谷：電力技術研究会 PE-94-132

大森 尉公(准員) 昭和45年6月30日生。平成4年3月東海大学工学部電気工学科卒業。同年4月同大学院工学研究科博士課程前期進学。現在に至る。主としてSVCを用いた電力系統の安定化制御に関する研究に従事。

水谷 芳史(正員)(電学論B, Vol. 113, No. 8, p. 914参照)

岡部 孝継(正員)(電学論B, Vol. 113, No. 3, p. 282参照)

的場 誠一(非会員)(電学論B, Vol. 113, No. 3, p. 282参照)