負荷推定とファジー制御による負荷周波数制御

正員 上 田 昭 彦 (東海大) 正員 V. Avatchanakorn (東海大)
正員 M. A. Iskandar (東海大) 正員 水 谷 芳 史 (東海大)

Load Frequency Control Via Power Demand Estimation and Fuzzy Control
Akihiko Ueda, Member, Marzan Aziz Iskandar, Member, Vichit Avatchanakorn, Member,
Yoshibumi Mizutani, Member (Tokai University)

キーワード：負荷周波数制御，発電電力の増加率制限，負荷推定，ファジー制御

電力系統の負荷周波数制御(LFC)問題に対して，著者らは負荷推定とファジー制御による制御手法を提案し，良好なLFC特性をあげることを示した⁽¹⁾。しかしながら，この手法におけるファジー制御は，複数の制御規則とメンバシップ関数を必要とし，更に系のすべての動作点に対して制御できず，不連続な制御となり，応答特性が振動的となる。

これらの問題に対して，本報告では，位相平面を利用してメンバシップ関数を簡略化すると共に連続的な制御を与えるファジー制御⁽²⁾と，負荷推定を用いた新しいLFC手法を提案する。そして，文献(3)で用いた各地域において発電電力の増加率制限を考慮した非再熱・再熱火力発電所を有する2地域系を，4地域系に拡張した図1に示す4地域くし形非線形LFCモデルに適用しその有効性を検証する。

本手法は，まずLFCの目標を満足させるために，文献(1)で論じた負荷推定に基づく出力設定制御を実施する。次に，系の最適化を図るために，位相平面を利用してメンバシップ関数を簡略化し，連続的な制御が行えるファジー制御を実施する。

すなわち，地域*i*のファジー制御器に対する第一，第二の入力変数としては，各々次式に示す自地域の地域制御誤差 e_i とその変化分 Δe_i を用いる。

$$e_i(k) = \beta_i \Delta f_i(k) + \sum_{j=1}^l a_{ij} \Delta P_{i \text{ load}}(k) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\Delta e_i(k) = e_i(k) - e_i(k-1) \quad \dots\dots\dots (2)$$

ただし， $\beta_i = D_i + (1/R_{ti}^* + 1/R_{ei}^*)$ ， l ：地域数

(1)式と(2)式を各々次式に示す大きさ $D_{ei}(k)$ ，位相

図1 4地域くし形非線形LFCモデル
Fig. 1. 4-area longitudinal non-linear LFC model.

図2 位相平面
Fig. 2. Phase plane.

角 $\theta_i(k)$ に変換し，図2に示す位相平面上に動作点 $p_i(k) = D_{ei}(k)/\theta_i(k)$ をとる。

$$D_{ei}(k) = \sqrt{e_i(k)^2 + \{S_{ti} \Delta e_i(k)/T_k\}^2} \quad \dots\dots\dots (3)$$

図 3 メンバシップ関数

Fig. 3. Membership function.

$$\theta_i(k) = \cos^{-1} \left\{ \frac{e_i(k)}{D_{ei}(k)} \right\} \quad \dots\dots\dots (4)$$

ただし, S_{fi} : スケーリングファクタ

ここで, 変数 $\theta_i(k)$ に対して, $p_i(k)$ が領域 A に存在するときは操作量を負方向に, $p_i(k)$ が領域 B に存在するときは操作量を正方向にとるように制御を実施する。また, 操作量の切換えは, 第 2, 第 4 象限におけるパラメータ $\gamma_i = 135^\circ, 315^\circ$ によって行われる。すなわち, 変数 $\theta_i(k)$ に対するメンバシップ関数は図 3(a) のように構成される。ただし, α_i はファジー領域を示すパラメータである。変数 $D_{ei}(k)$ に対し, (b) 図に示すメンバシップ関数を用いて制御ゲイン $G_i(k)$ を求める。ただし, D_{bi} は不感帯を意味する。

これらより, ファジー制御操作量 $v_{Fi}^*(k)$ は, 次式のように算出される⁽⁴⁾。

$$v_{Fi}^*(k) = \frac{N\{\theta_i(k)\} - P\{\theta_i(k)\}}{N\{\theta_i(k)\} + P\{\theta_i(k)\}} \eta_i G_i(k) \quad \dots\dots\dots (5)$$

ただし, η_i : ファジー制御操作量の最大値を表すパラメータ, $P\{\theta_i(k)\} = 1 - N\{\theta_i(k)\}$

更に, 本手法では, ファジー制御操作量の決定において演算時間遅れを 1 サンプル周期と仮定し, k 時刻の制御操作量 $u_{Fi}(k)$ を次式のように表す。

$$u_{Fi}(k) = v_{Fi}^*(k-1) \quad \dots\dots\dots (6)$$

この結果, 制御入力 u_i は次式のようにになる。

$$u_i(k) = r_i(k) + u_{Fi}(k) \quad \dots\dots\dots (7)$$

ただし, r_i : 負荷推定による出力設定値

本報告では, 文献(5)に基づき上述のファジー制御器を設計した。すなわち, 基準となる負荷外乱としては, 朝の立上りなどに見られる大きな負荷変動 $\Delta P_{dmax} = 0.03 \text{ pu MW}$ を用いる。パラメータ α_i は, ファジー領域を最大限に利用する意図から $\alpha_i = 90^\circ$ に設定する。 D_{ri} は各地域で基準となる負荷外乱を与えたとき, D_{ei} の最大値とする。 η_i は, 次式の評価関数を最小化し, 更に全系で協調をとりながら最適化をはかるように決定した。

$$J_i = \sum_{j=1}^i \left[\int \{ (e_j(t))^2 + (u_{Fi}(t))^2 \} dt \right] \quad \dots\dots\dots (8)$$

図 4 は, 図 1 のモデルシステムに対して 0.03 pu MW

 (a) 本手法 ($S_{fi}=2.0, D_{bi}=0.005 D_{ri}$)

(b) 従来法

 図 4 応答比較 (サンプル周期 $T_k=0.02 \text{ s}$)

 Fig. 4. Response comparison ($T_k=0.02 \text{ s}$).

のステップ状負荷外乱を地域 3 に与えた場合の応答特性である。ただし, (a) 図は本手法, (b) 図は文献(1)に基づく従来法を適用した場合である。これらより, 本手法の特性は速やかに収束し, 振動が抑えられ, 良好な応答特性を示している。

(平成 3 年 3 月 27 日受付)

文 献

- (1) Avatchanakorn・上田・後藤・水谷: 電学論 B, 110, 841(平 2-10)
- (2) 樽山・鯨島: 電気学会電力技術研資, PE-89-133(平元)
- (3) 上田・Avatchanakorn・Iskandar・水谷: 電気学会電力技術研資, PE-90-139(平 2)
- (4) 菅野: ファジィ制御(昭 63) 日刊工業新聞社
- (5) 上田・Iskandar・Avatchanakorn・水谷: 平 3 電学会全大, No.1184

上 田 昭 彦 (正員)

昭和 40 年 5 月 1 日生。平成 3 年 3 月東海大学大学院修士課程修了。同年 4 月(株)東芝入社, 現在に至る。

(M. A. Iskandar 以下, 写真・略歴省略)