

# 琉球大学学術リポジトリ

## デュアルレートサンプリング適応形負荷周波数制御

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学工学部 公開日: 2008-04-01 キーワード (Ja): キーワード (En): Self-Tuning Regulator, Load Frequency Control, Dual- Rate Sampling, Power Systems 作成者: 山下, 勝己, 平安, 充, 宮城, 隼夫, Yamashita, Katsumi, Hirayasu, Mituru, Miyagi, Hayao メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/20.500.12000/5493">http://hdl.handle.net/20.500.12000/5493</a>

## デュアルレートサンプリング適応形負荷周波数制御

山下 勝己\* 平安 充\*\* 宮城 隼夫\*

A Load Frequency Self-Tuning Regulator  
Based on Dual-Rate Sampling

Katsumi YAMASHITA\*, Mituru HIRAYASU\*\* Hayao MIYAGI\*

## Summary

This paper presents a new method of designing a load frequency self-tuning regulator for power system based on dual-rate sampling. The method is applied to a two-area power system provided with reheat type turbines and then the control effect of the proposed regulator is compared with that of standard sampling self-tuning regulator using digital simulations.

Key Words : Self-Tuning Regulator, Load Frequency Control, Dual-Rate Sampling, Power Systems

## 1. まえがき

プラントの動特性は、種々の原因により予測できない変化をするが、その変動分が比較的小さいときには通常の固定ゲインのフィードバック制御方式でも満足な制御性能を得ることができる。しかしながら、プラントの動特性の情報が不十分であったり、プラントの動特性が環境の変化により変動する場合には、固定ゲインのフィードバック制御では必ずしも良好な制御特性を保証することはできない。

近年、この問題に対処するため電力システムの負荷周波

数制御問題に対しても、プラントの動特性の変動に応じ制御装置をオンライン的に自動調整し得る適応形負荷周波数制御器の研究が数多く報告されている<sup>(1)-(6)</sup>。しかしながら、制御器の多くは観測と制御のサンプリング周期が同一であるため、実用的サンプリング周期 $(1.5 \leq T_s \leq 2.5)$ <sup>(6)</sup>においては同定に際して劣化モデルを生じる傾向にある。一方、短いサンプリング周期に対しては、頻繁な制御動作により制御器の劣化を生じる傾向にある。

本論では、この問題に対処するため観測と制御のサンプリング周期が異なるデュアルレートサンプリング

受付：1991年5月13日

\* 工学部電子・情報工学科 Dept. of Electronics and Information Eng., Fac. of Eng.

\*\*大学院工学研究科 電気・情報工学専攻 Graduate Student, Electrical and Information Eng.

適応形負荷周波数制御器を文献(1)を基盤に構築するとともに、本制御器を再熱式火力系からなる2地域電力システムモデルに適用し、本制御方式の有効性を周波数偏差および連系線潮流偏差などの時間応答波形より検証する。

## 2. 制御則の決定

再熱式火力システムからなる2地域電力システムの第*i*地域の動特性式は、地域制御誤差  $\beta_i \Delta f_i(t) + \Delta P_{tiei}(t)$  を  $y_i(t)$  に、スピードチェンジャ位置の基準値からの偏差を  $u_i(t)$  にとることにより次式のように与えることができる。

$$A(q^{-1})y(t) = B(q^{-1})u(t) + C(q^{-1})\omega(t) \quad (1)$$

但し、

$$A(q^{-1}) = 1 + a_1 q^{-1} + a_2 q^{-2} + \dots + a_n q^{-n}$$

$$B(q^{-1}) = b_1 q^{-1} + b_2 q^{-2} + \dots + b_m q^{-m}$$

$$C(q^{-1}) = C_0 + C_1 q^{-1} + C_2 q^{-2} + \dots + C_p q^{-p}$$

上式において、 $u(t)$  および  $y(t)$  は時刻  $t$  でのプラントの入出力を表し、 $\omega(t)$  は  $n_d$  次の時間多項式の負荷外乱を表す。なお、記述の煩雑さをさけるため添字  $i$  を省略している。

今、(1)式に  $t=t+j$  を代入して得られる関係式と(1)式との差の  $n_d$  階差分をとることにより、次式のような負荷外乱項が除去された入出力関係式が得られる。

$$A(q^{-1})\Delta^{n_d}y(t+j) = B(q^{-1})\Delta^{n_d}u(t+j) \quad (2)$$

但し、

$$\Delta^{n_d} = (1 - q^{-j})^{n_d}$$

更に、文献(1)の考え方に基づき次式で示す

$$P(q^{-1}) = 1 + p_1 q^{-1} + p_2 q^{-2} + \dots + p_{j-1} q^{-(j-1)} \quad (3)$$

を(2)式の両辺に乘以  $\Delta^{n_d}y(t+j-1)$ ,  $\Delta^{n_d}y(t+j-2)$ , ...,  $\Delta^{n_d}y(t+1)$  の項を除去すると共に、制御入力を

$j$  毎に次のようにまとめる。

$$\Delta^{n_d}u\{t-(k-1)j-1\} = \dots = \Delta^{n_d}u(t+kj) \quad (4)$$

$$(k=1, 2, \dots, s)$$

但し、 $s$  は  $(m+j-1)/j$  を切り上げた整数値である。このとき、(2)式に対するデュアルレートサンプリングモデルが次式のように得られる。

$$\tilde{A}(q^{-1})\Delta^{n_d}y(t+j) = \tilde{B}(q^{-1})\Delta^{n_d}u(t) \quad (5)$$

但し、

$$\tilde{A}(q^{-1}) = 1 + \tilde{a}_1 q^{-1} + \tilde{a}_2 q^{-2} + \dots + \tilde{a}_n q^{-n-j+1}$$

$$\tilde{B}(q^{-1}) = \tilde{b}_1 + \tilde{b}_2 q^{-1} + \tilde{b}_3 q^{-2} + \dots + \tilde{b}_s q^{-(s-1)}$$

次に、(5)式に対する評価関数を次式で定義する。

$$J = y(t+j)^2 + r \{ \Delta^{n_d}u(t) \}^2 \quad (6)$$

但し、 $r$  は制御量に対する重みを示す。

なお、上記の評価関数は制御入力に代りに制御入力の変化率を抑えることにより、間接的に大きな制御入力の抑制をはかっている。

このとき、評価関数  $J$  を最小にする最適制御入力は、評価関数  $J$  を制御入力  $\Delta^{n_d}u(t)$  で偏微分した、

$$\frac{\partial J}{\partial \Delta^{n_d}u(t)} = 2\tilde{b}_1 \{ 1 - \tilde{A}(q^{-1})\Delta^{n_d} \} y(t+j) + 2\tilde{b}_1 \{ \tilde{B}(q^{-1})\Delta^{n_d}u(t) \} + 2r\Delta^{n_d}u(t) \quad (7)$$

を零と置き、 $\Delta^{n_d}u(t)$  について解くことにより、次式のように求められる。

$$\Delta^{n_d}u(t) = \frac{-\tilde{b}_1 \{ 1 - \tilde{A}(q^{-1})\Delta^{n_d} \} y(t+j)}{r + \tilde{b}_1 \tilde{B}(q^{-1})} \quad (8)$$

なお、上記のパラメータ  $\tilde{a}_1, \tilde{a}_2, \dots, \tilde{a}_n, \tilde{b}_1, \tilde{b}_2, \dots, \tilde{b}_s$  は各サンプリング周期毎にオンラインでオン定され、同定されたパラメータ  $\hat{a}_1, \hat{a}_2, \dots, \hat{a}_n, \hat{b}_1, \hat{b}_2, \dots, \hat{b}_s$  を用いて(8)式の制御則を計算することになる。それ故、パラメータ推定計算を実施するため(5)式を

次式のように変形する.

$$\Delta^{nd}y(t) = \Theta^T \xi(t-j) \quad (9)$$

但し,

$$\Theta^T = [\hat{a}_1, \hat{a}_2, \dots, \hat{a}_n, \hat{b}_1, \hat{b}_2, \dots, \hat{b}_s]$$

$$\xi(t-j)^T =$$

$$[-\Delta^{nd}y(t-j) \dots -\Delta^{nd}y(t-n-j+1) \\ \Delta^{nd}u(t-j) \dots \Delta^{nd}y(t-sj)]$$

このとき, 未知パラメータ  $\Theta$  は次式の繰返し形パラメータ推定アルゴリズムにより同定される.

$$\hat{\Theta}(t) = \hat{\Theta}(t-j) + \frac{\Gamma(t-j)\xi(t-j)}{1+\xi(t-j)^T\Gamma(t-j)\xi(t-j)} \\ \times [\Delta^{nd}y(t) - \hat{\Theta}(t-j)\xi(t-j)] \quad (10)$$

但し,

$$\Gamma(t) = \Gamma(t-j) - \frac{\Gamma(t-j)\xi(t-j)\xi(t-j)^T\Gamma(t-j)}{1+\xi(t-j)^T\Gamma(t-j)\xi(t-j)}$$

$$0 < \lambda_1(t) \leq 1, \quad 0 \leq \lambda_2(t) < 2, \quad \Gamma(0) > 0$$

### 3. シミュレーション結果

本制御方式の有効性を検証するために, 図1に示す再熱式火力系からなる2地域電力系統を対象モデルとする. なお, 各パラメータ値については表1に示す. また, シミュレーションに用いる負荷外乱を次式で示すステップ負荷外乱とする.

$$\Delta P(t) = \begin{cases} 0.01 \text{ puMW} & (0 \leq t < 40) \\ 0.02 \text{ puMW} & (40 \leq t) \end{cases} \quad (11)$$

このとき, 最適制御則は(8)式に  $n_d = 1$  を代入した次式となる.

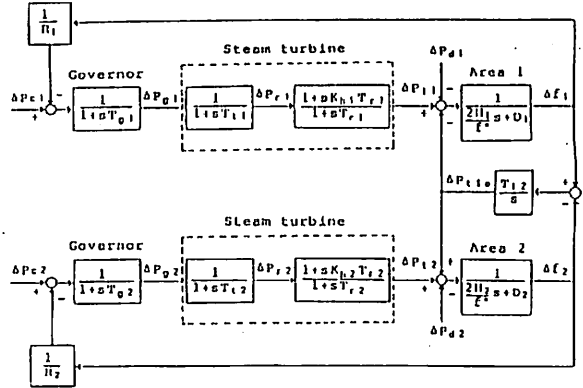


Fig. 1 Block diagram of a two-area power system.

Table 1 System parameters.

$H_1 = 5.0 \text{ s}$	$D_1 = 8.33 \times 10^{-3} \text{ puMW/Hz}$
$R_1 = 2.4 \text{ Hz/puMW}$	$T_{r1} = 10.0 \text{ s}$
$T_{g1} = 0.08 \text{ s}$	$K_{h1} = 0.5$
$T_{12} = 0.54 \text{ puMW/Hz}$	$\beta_1 = D_1 + 1/R_1 = 0.425 \text{ puMW/Hz}$
(i = 1, 2)	

$$\Delta u(t) = -\frac{\hat{b}_1}{r + \hat{b}_1^2} \left[ y(t) - \sum_{i=1}^n \hat{a}_i q^{-i+1} \Delta y(t) \right. \\ \left. + \sum_{i=2}^s \hat{b}_i q^{-(i+1)} \Delta u(t) \right] \quad (12)$$

但し,

$$\Delta y(t) = y(t) - y(t-j), \quad \Delta u(t) = u(t) - u(t-j)$$

なお, 推定パラメータの初期値は  $\hat{b}_1 = 1$  とし, それ以外は零とした. また, 行列  $\Gamma$  の初期値は  $\Gamma(0) = I \times 10^3$ ,  $\lambda_1(t)$  および  $\lambda_2(t)$  の値をそれぞれ 1 と

した。

まず、観測と制御のサンプリング周期が同一であるシングルレートサンプリング [No. 1] およびサンプリング周期が異なるデュアルレートサンプリング [No. 2] の適応形負荷周波数制御器を  $n=m=3$  および  $r=1$  に対して構築する。このとき観測サンプリング周期  $T_s$  に対する制御器 No. 1 および No. 2 の制御効果を調べるため、次式の 2 乗積分を定義する。

$$PI = \int_{20}^{100} [(\Delta f_1(t))^2 + \{\Delta P_{110}(t)\}^2] dt \quad (3)$$

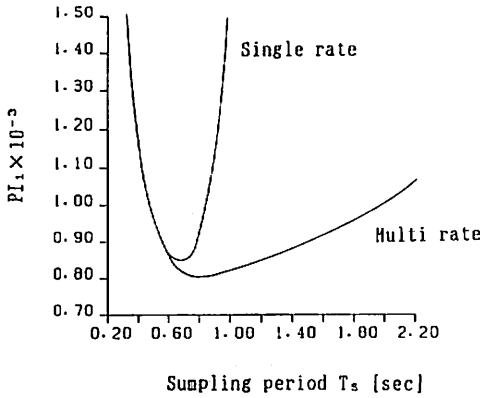


Fig. 2  $T_s$ -PI characteristic

図2は、制御サンプリング周期  $T_1$  を 2.1 秒に固定し、観測サンプリング周期  $T_s$  をパラメータに上記の 2 乗積分値を描いたものである。同図より、No. 2 の実用的サンプリング周期における最適値が No. 1 の最適値と同程度の値となり、No. 2 の本制御方式が No. 1 制御方式に十分代替えし得ることが明らかになった。また、図3～図6は図2の No. 1 および No. 2 に対するそれぞれの最適値  $T_s$  を用いたときの  $\Delta f_1$ 、 $\Delta f_2$ 、 $\Delta P_{110}$  および  $\Delta P_c$  を示したものであり、同図からも明らかのように本制御方式の有効性が見られる。

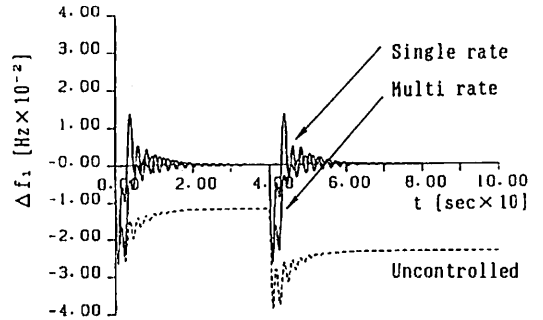


Fig. 3 Responses of  $\Delta f_1$ .

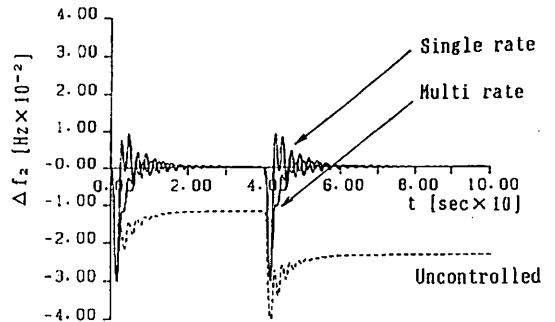


Fig. 4 Responses of  $\Delta f_2$ .

4. むすび

本論では、観測と制御のサンプリング周期が異なるディアルレートサンプリング適応形負荷周波数制御器を構築すると共に、本制御器を再熱式火力系からなる2地域電力系統モデルに適用し、本制御方式の有効性を検証した。

参考文献

- [1] COMMITTEE on LOAD DISPATCHING, IEE., JAPAN: "Load frequency control of power system", Technical Report, IEE, Japan, Div. II, No. 40 (1976)
- [2] ELGERD, O. I., and FOSHA, C. E.: "Optimum megawatt-frequency control of multiarea electric energy systems", IEEE Trans., 1970, PAS-89, pp. 556-562
- [3] CABIN, R. K., BUDGE, M. C., and RASMUSSEN, P.: "An optimal linear systems approach to load-frequency control", *ibid.*, 1971, PAS-9
- [4] SHEIRAH, M. A., MALIK, O. P., and HOPE, G. S.: "Minimum variance strategy for load-frequency control" *Int. J. of Electr. Power & Energy Ssyst.*, 1986, 8, (2), pp. 120-126.
- [5] CHENG, S. J., MALIK, O. P., and HOPE, G. S.: "Self-tuning stabiliser for a multi-machine power system", *Proc. IEE*, 1986, 133, (4), pp. 176-185.
- [6] CHANDRA, A., MALIK, O. P., and HOPE, G. S.: "A self-tuning controller for the control of multimachine power systems", *IEEE Trans.*, 1988, 3, pp. 1065-1071.
- [7] ROSTAMKOLAI, N., PHADKE, A. G., LONG, W. F., and THORP, J. S.: "An adaptive optimal control strategy for dynamic stability enhancement of ac/dc power systems", *ibid.*, 1988, 3, pp. 1139-1145.
- [8] YAMASHITA, K., and MIYAGI, H.: "Multivariable self-tuning regulator for

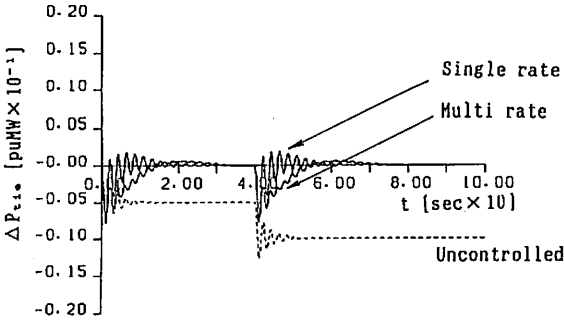


Fig. 5 Responses of  $\Delta P_{tie}$ .

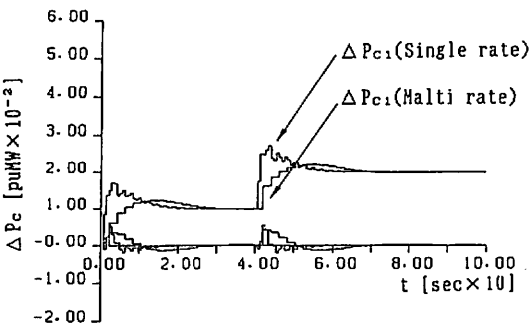


Fig. 6 Responses of  $\Delta P_c$ .

- load frequency control with interaction of voltage on load demand", IEE Proc., 1991, 138, pp. 177-183.
- [9] YAMASHITA, K., and MIYAGI, H. : " Load frequency self-tuning regulator for interconnected power systems with unknown deterministic load disturbances", Int. J. of Control, 1989, 49, pp. 1555-1568
- [10] M. L. Kothari, P. S. Satsangi, J. Nanda : " Sampled-data automatic generation control of interconnected reheat thermal systems considering generation rate constants, IEEE Trans., PAS-100, 2334 (1981)
- [11] J. Kanniah, O. P. Malik, G. S. Hope : " Self-tuning regulator based on dual-rate sampling, IEEE Trans., AC-29, 755 (1984)