

琉球大学学術リポジトリ

地域分割手法を用いたLQI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: 2008-04-02 キーワード (Ja): キーワード (En): Control Systems, Optimal Control, Power Systems 作成者: 山下, 勝己, 宮城, 隼夫 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/5577

地域分割手法を用いた LQI形負荷周波数制御

山下 勝己* 宮城 隼夫*

LQI-Type Load-Frequency Control Using
Area-Decomposition Method

Katsumi YAMASHITA* and Hayao MIYAGI*

Summary

This paper presents a new method of designing decentralised discrete-type load-frequency regulator for interconnected power systems. Within the framework of this method, the interconnected multi-area electric energy system is decomposed into several subsystems, each of which is controlled separately by a decentralised regulator. An especially attractive feature of the proposed control scheme is that it requires as input signals accumulative quantities of area control error. An additional feature is that it needs no information exchanges (telemeterings) among areas. The realization of such a regulator may be easy and of low cost because of its simple construction.

In this paper, we apply the above method to 2-5 area systems provided with nonreheat type turbins. The results show that the proposed decentralised discrete-type regulator can act satisfactorily for improving dynamic responses of the load-frequency control.

Key Words : Control Systems, Optimal Control, Power Systems

1. まえがき

電力系統の発展とともに、連系線による電力融通はますます重要性を増し、経済性および信頼性の向上に大きな役割を果している。しかし、一方では連系によって運用の対象が広範囲、かつ複雑なものになるので、周波数・電圧・連系線潮流などの制御が困難になってきた。特に、連系線潮流については、周波数とともに負荷周波数制御

(LFC) によって規定された値に維持されることになっているが、現実には、連系線における常時変動潮流が大きくなりすぎたり、運用誤差の補正に起因すると考えられる特異な潮流現象が生じるなど様々な問題が表面化してきている。⁽¹⁾ そのため、最適制御理論などを応用した効果的な負荷周波数制御方式の研究が報告されるようになってきているが、その多くは連続的な制御情報の伝送に対して考えられた、いわゆる連続形負荷周波数制御方式である。^{(2), (3)} ところが、制御情報の伝送

受付 1986年5月10日

*琉球大学工学部電子・情報工学科

方式が離散形情報伝送に移行しつつあることから、また、制御装置のデジタル化が急速に進みつつあることから、離散形 LFC の研究が重要な課題となりつつある。筆者らも先に、LFC の基本特性を満たし、また離散データを直接利用しうるデジタル制御方式として、地域制御誤差の積算値を用いる LQI 形負荷周波数制御方式を展開した。そして、それを 2 地域電力システムモデルに適用するとともに、⁽⁴⁾、⁽⁵⁾ より一般的な n 地域串形電力システムモデルにも適用した。⁽⁶⁾ しかし、これらの報告では、制御方式を集中制御方式としているので、制御を行うには各地域のすべての情報量を必要とし、情報伝達量の多さ、制御の即時性などから考えると、実用化には問題がある。ここでは、以下の点に留意し地域分散形の LQI 形負荷周波数制御方式を提案するものである。

- (a) 主に地理的、経済的理由から各地域間の情報伝達はほとんどない。
- (b) 入手できる情報は各地域で異なり、各地域の制御者は自地域の情報のみを十分に利用したローカル制御を実施しなければならない。
- (c) 制御目標は周波数および連系線潮流を規定値に維持することである。

本論文では、以上の構成法を非再熱式火力システムより構成される実用規模の 2～5 地域串形電力システムモデルの最適制御に適用するとともに、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関係図を用いて明らかにしている。

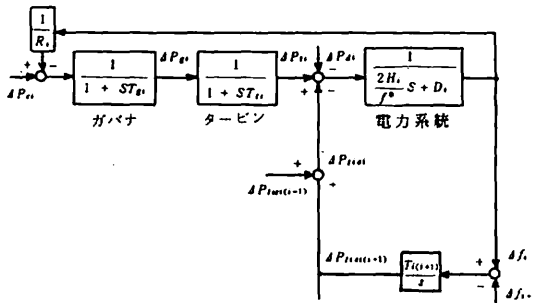


Fig 1. Block diagram of n-area longitudinal power system.

2. 制御方式の決定

2.1 集中制御方式による LQI 形負荷周波数制御

図 1 のブロック線図に示される n 地域串形電力システムモデルに対して、状態変数 x および制御変数 u を

$$x = [\Delta f_1 \ \Delta P_{11} \ \Delta P_{g1} \ \Delta P_{tie12} \ \Delta f_2 \ \Delta P_{12} \ \dots \ \Delta P_{tie(n-1)n} \ \Delta f_n \ \Delta P_{1n} \ \Delta P_{gn}]^T$$

$$u = [\Delta P_{c1} \ \Delta P_{c2} \ \dots \ \Delta P_{cn}]^T \quad (1)$$

と定義すれば、状態方程式は次式のように与えられる。

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (2)$$

但し、A は $(4n-1) \times (4n-1)$ 次元の状態定数行列、B は $(4n-1) \times n$ 次元の制御定数行列とする。

このとき、上式をサンプリング周期 T でサンプルし零次ホールド回路を用いれば、次式の離散形状態方程式が得られる。

$$x(k+1) = \Phi x(k) + \Psi u(k) \quad (3)$$

但し、

$$\Phi = \exp(AT), \quad \Psi = (\exp(AT) - I)A^{-1}B$$

ここでは、ステップ負荷外乱に対する周波数偏差および連系線潮流偏差の定常誤差を除去するために、新しく地域制御誤差の積算

$$\bar{x}(k) = [x_{4n}(k) \ x_{4n+1}(k) \ \dots \ x_{5n-2}(k) \ x_{5n-1}(k)]^T \quad (4)$$

但し、

$$x_{4n}(k+1) = \sum_{m=0}^{k+1} \{\beta_1 \Delta f_1(m) + \Delta P_{tie12}(m)\}$$

$$x_{4n+1}(k+1) = \sum_{m=0}^{k+1} \{\beta_2 \Delta f_2(m) - \alpha_{12} \Delta P_{tie12}(m) + \Delta P_{tie23}(m)\}$$

$$\dots$$

$$x_{5n-2}(k+1) = \sum_{m=0}^{k+1} \{\beta_{n-1} \Delta f_{n-1}(m) - \alpha_{(n-2)(n-1)} \times \Delta P_{tie(n-2)(n-1)}(m) + \Delta P_{tie(n-1)n}(m)\}$$

$$x_{5n-1}(k+1) = \sum_{m=0}^{k+1} \{\beta_n \Delta f_n(m) - \alpha_{(n-1)n} \times \Delta P_{tie(n-1)n}(m)\}$$

を導入する。行列形式で示すと

$$\bar{x}(k+1) = \bar{x}(k) + Cx(k+1) = \bar{x}(k) + C\Phi x(k) + C\Psi u(k) \quad (5)$$

但し、

この制御は分散制御方式であることから、制御操作量は各地域の状態量のみを用いて決定することができる。

3. 例題計算および結果の考察

前章で提案した手法の有効性を立証するため、2地域および3地域串形電力系統モデルを用いる。まず、2地域モデルの動特性式は、各地域に対してそれぞれ以下の様にと与えられる。

[地域1]

$$\begin{aligned} \frac{2H_1}{f^*} \frac{d\Delta f_1}{dt} + D_1 \Delta f_1 + \Delta P_{tie12} &= \Delta P_{t1} + \Delta P_{d1} \\ T_{t1} \frac{d\Delta P_{t1}}{dt} + \Delta P_{t1} &= \Delta P_{g1} \end{aligned} \quad (20)$$

$$T_{g1} \frac{d\Delta P_{g1}}{dt} + \Delta P_{g1} = -\frac{1}{R_1} \Delta f_1 + \Delta P_{c1}$$

[地域2]

$$\begin{aligned} \frac{2H_2}{f^*} \frac{d\Delta f_2}{dt} + D_2 \Delta f_2 - \alpha_{12} \Delta P_{tie12} &= \Delta P_{t2} - \Delta P_{d1} \\ T_{t2} \frac{d\Delta P_{t2}}{dt} + \Delta P_{t2} &= \Delta P_{g2} \end{aligned} \quad (21)$$

$$T_{g2} \frac{d\Delta P_{g2}}{dt} + \Delta P_{g2} = -\frac{1}{R_2} \Delta f_2 + \Delta P_{c2}$$

但し、

$$\Delta P_{tie12} = T_{12} \left(\int \Delta f_1 dt - \int \Delta f_2 dt \right) \quad (22)$$

このとき、状態変数 x および制御変数 u を

$$\begin{aligned} x &= [\Delta f_1 \ \Delta P_{t1} \ \Delta P_{g1} \ \Delta P_{tie12} \ \Delta f_2 \ \Delta P_{t2} \ \Delta P_{g2}]^T \\ u &= [\Delta P_{c1} \ \Delta P_{c2}]^T \end{aligned} \quad (23)$$

と定義すると、(2)式で示す状態方程式が得られる。なお、行列 A 、 B はそれぞれ以下の様な 7×7 、 7×2 次元の定係数行列となる。

$$A = \begin{bmatrix} \frac{f^* D_1}{2H_1} & \frac{f^*}{2H_1} & 0 & -\frac{f^*}{2H_1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{T_{t1}} & \frac{1}{T_{t1}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{T_{g1} R_1} & 0 & -\frac{1}{T_{g1}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ T_{t2} & 0 & 0 & 0 & -T_{t2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{f^* \alpha_{12}}{2H_2} & \frac{f^* D_2}{2H_2} & \frac{f^*}{2H_2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{T_{t2}} & \frac{1}{T_{t2}} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{T_{g2} R_2} & 0 & -\frac{1}{T_{g2}} \end{bmatrix} \quad (24)$$

$$B^T = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{1}{T_{g1}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{T_{g2}} \end{bmatrix}$$

一方、地域制御誤差の積算量に関する方程式は、(4)式より以下の様にと与えられる。

$$\begin{aligned} x_8(k+1) &= \sum_{m=0}^{k+1} \{\beta_1 \Delta f_1(m) + \Delta P_{tie12}(m)\} \\ x_9(k+1) &= \sum_{m=0}^{k+1} \{\beta_2 \Delta f_2(m) - \alpha_{12} \Delta P_{tie12}(m)\} \end{aligned} \quad (25)$$

このとき、行列 C は次式となる。

$$C = \begin{bmatrix} \beta_1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\alpha_{12} & \beta_2 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (26)$$

上記で示される行列 A 、 B 、 C を対象に最適制御則を決定したものが、集中制御方式による LQI 形負荷周波数制御となる。

次に、分散制御方式による LQI 形負荷周波数制御を構築する。地域1に対する状態変数 x_1 および制御変数 u_1 を

$$x_1 = [\Delta f_1 \ \Delta P_{t1} \ \Delta P_{g1} \ \Delta P_{tie1}]^T \quad u_1 = \Delta P_{c1} \quad (27)$$

また、地域2に対する状態変数 x_2 および制御変数 u_2 を

$$x_2 = [\Delta f_2 \ \Delta P_{t2} \ \Delta P_{g2} \ \Delta P_{tie2}]^T \quad u_2 = \Delta P_{c2} \quad (28)$$

と定義すると、(12)式で示す状態方程式が得られ、行列 A_1 、 A_2 、 B_1 、 B_2 はそれぞれ以下の様になる。

$$\begin{aligned} A_1 &= \begin{bmatrix} -\frac{f^* D_1}{2H_1} & \frac{f^*}{2H_1} & 0 & -\frac{f^*}{2H_1} \\ 0 & -\frac{1}{T_{t1}} & \frac{1}{T_{t1}} & 0 \\ -\frac{1}{T_{g1} R_1} & 0 & -\frac{1}{T_{g1}} & 0 \\ T_{t2} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ A_2 &= \begin{bmatrix} -\frac{f^* D_2}{2H_2} & \frac{f^*}{2H_2} & 0 & -\frac{f^*}{2H_2} \\ 0 & -\frac{1}{T_{t2}} & \frac{1}{T_{t2}} & 0 \\ -\frac{1}{T_{g2} R_2} & 0 & -\frac{1}{T_{g2}} & 0 \\ \alpha_{12} T_{t2} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ B_1^T &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{1}{T_{g1}} & 0 \end{bmatrix} \\ B_2^T &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{1}{T_{g2}} & 0 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (29)$$

一方, 地域制御誤差の積算量に関する方程式は, (14) 式よりそれぞれ各地域に対して以下の様に見える。

$$\begin{aligned} \tilde{x}_1(k+1) &= \sum_{m=0}^{k+1} (\beta_1 \Delta f_1(m) + \Delta P_{tie12}(m)) \\ \tilde{x}_2(k+1) &= \sum_{m=0}^{k+1} (\beta_2 \Delta f_2(m) - \alpha_{12} \Delta P_{tie12}(m)) \end{aligned} \quad (30)$$

このとき, 行列 C_i は次式となる。

$$\begin{aligned} C_1 &= [\beta_1 \quad 0 \quad 0 \quad 1] \\ C_2 &= [\beta_2 \quad 0 \quad 0 \quad 1] \end{aligned} \quad (31)$$

上記の行列 $A_i, B_i, C_i (i=1, 2)$ を対象に最適制御則を決定したものが, 分散制御方式による LQI 形負荷周波数制御となる。

次に, 3 地域モデルを対象とする。このモデル系統の動特性式は, 各地域に対してそれぞれ以下の様に見える。

[地域 1]

$$\begin{aligned} \frac{2H_1}{f^*} \frac{d\Delta f_1}{dt} + D_1 \Delta f_1 + \Delta P_{tie12} &= \Delta P_{t1} - \Delta P_{d1} \\ T_{t1} \frac{d\Delta P_{t1}}{dt} + \Delta P_{t1} &= \Delta P_{g1} \\ T_{g1} \frac{d\Delta P_{g1}}{dt} + \Delta P_{g1} &= -\frac{1}{R_1} \Delta f_1 + \Delta P_{c1} \end{aligned} \quad (32)$$

[地域 2]

$$\frac{2H_2}{f^*} \frac{d\Delta f_2}{dt} + D_2 \Delta f_2 - \alpha_{12} \Delta P_{tie12} + \Delta P_{tie23}$$

$$= \Delta P_{t2} - \Delta P_{d2}$$

$$\begin{aligned} T_{t2} \frac{d\Delta P_{t2}}{dt} + \Delta P_{t2} &= \Delta P_{g2} \\ T_{g2} \frac{d\Delta P_{g2}}{dt} + \Delta P_{g2} &= -\frac{1}{R_2} \Delta f_2 + \Delta P_{c2} \end{aligned} \quad (33)$$

[地域 3]

$$\begin{aligned} \frac{2H_3}{f^*} \frac{d\Delta f_3}{dt} + D_3 \Delta f_3 - \alpha_{23} \Delta P_{tie23} &= \Delta P_{t3} - \Delta P_{d3} \\ T_{t3} \frac{d\Delta P_{t3}}{dt} + \Delta P_{t3} &= \Delta P_{g3} \\ T_{g3} \frac{d\Delta P_{g3}}{dt} + \Delta P_{g3} &= -\frac{1}{R_3} \Delta f_3 + \Delta P_{c3} \end{aligned} \quad (34)$$

但し,

$$\begin{aligned} \Delta P_{tie12} &= T_{12} \left(\int \Delta f_1 dt - \int \Delta f_2 dt \right) \\ \Delta P_{tie23} &= T_{23} \left(\int \Delta f_2 dt - \int \Delta f_3 dt \right) \end{aligned} \quad (35)$$

このとき, 状態変数 x および制御変数 u を

$$\begin{aligned} x &= (\Delta f_1 \quad \Delta p_{t1} \quad \Delta p_{g1} \quad \Delta p_{tie12} \quad \Delta f_2 \quad \Delta p_{t2} \quad \Delta p_{g2} \\ &\quad \Delta p_{tie23} \quad \Delta f_3 \quad \Delta p_{t3} \quad \Delta p_{g3})^T \\ u &= (\Delta p_{c1} \quad \Delta p_{c2} \quad \Delta p_{c3})^T \end{aligned} \quad (36)$$

と定義すると, (2) 式で示す状態方程式および (4) 式で示す地域制御誤差の積算量に関する方程式が得られる。なお, 行列 A, B, C はそれぞれ以下の様な定係数行列となる。

$$A = \begin{bmatrix} \frac{f^* D_1}{2H_1} & \frac{f^*}{2H_1} & 0 & -\frac{f^*}{2H_1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{T_{t1}} & \frac{1}{T_{t1}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{T_{g1} R_1} & 0 & -\frac{1}{T_{g1}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ T_{t2} & 0 & 0 & 0 & -T_{t2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{f^* \alpha_{12}}{2H_2} & \frac{f^* D_2}{2H_2} & \frac{f^*}{2H_2} & 0 & -\frac{f^*}{2H_2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{T_{t2}} & \frac{1}{T_{t2}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{T_{g2} R_2} & 0 & -\frac{1}{T_{g2}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & T_{23} & 0 & 0 & 0 & -T_{23} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{f^* \alpha_{23}}{2H_3} & \frac{f^* D_3}{2H_3} & \frac{f^*}{2H_3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{T_{t3}} & \frac{1}{T_{t3}} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{T_{g3} R_3} & 0 & -\frac{1}{T_{g3}} \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{1}{T_{g1}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{T_{g2}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{T_{g3}} \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} \beta_1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -a_{12} & \beta_2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -a_{23} & \beta_3 & 0 \end{bmatrix} \quad (37)$$

上記で示される行列 A, B, C を対象に最適制御則を決定したものが、集中制御方式による LQI 形負荷周波数制御となる。

次に、分散制御方式による LQI 形負荷周波数制御を構築する。(37 式)の行列 A から明らかなように、状態変数の要素として連系線潮流を用いると A の第 2 ブロックに関する行列が特異行列となり、可制御性を失った零の固有値をもつことになる。ここでは、これを避けるため、状態変数の要素に融通電力を採用する。すなわち、地域 1 に対する状態変数 x_1 および制御変数 u_1 を

$$x_1 = (\Delta f_1 \Delta p_{11} \Delta p_{g1} \Delta p_{11e2})^T \quad u_1 = \Delta p_{c1} \quad (38)$$

地域 2 に対する状態変数 x_2 および制御変数 u_2 を

$$x_2 = (\Delta f_2 \Delta p_{12} \Delta p_{g2} \Delta p_{11e2})^T \quad u_2 = \Delta p_{c2} \quad (39)$$

また、地域 3 に対する状態変数 x_3 および制御変数 u_3 を

$$x_3 = (\Delta f_3 \Delta p_{13} \Delta p_{g3} \Delta p_{11e2})^T \quad u_3 = \Delta p_{c3} \quad (40)$$

と定義すると、(12 式)で示す状態方程式および(14)式で示す地域制御誤差の積算量に関する方程式が得られる。なお、行列 $A_i, B_i, C_i (i = 1, 3)$ はそれぞれ以下の様になる。

$$A_1 = \begin{bmatrix} -\frac{f^* D_1}{2H_1} & \frac{f^*}{2H_1} & 0 & -\frac{f^*}{2H_1} \\ 0 & -\frac{1}{T_{i1}} & \frac{1}{T_{i1}} & 0 \\ -\frac{1}{T_{g1} R_1} & 0 & -\frac{1}{T_{g1}} & 0 \\ T_{12} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} -\frac{f^* D_2}{2H_2} & \frac{f^*}{2H_2} & 0 & -\frac{f^*}{2H_2} \\ 0 & -\frac{1}{T_{i2}} & \frac{1}{T_{i2}} & 0 \\ -\frac{1}{T_{g2} R_2} & 0 & -\frac{1}{T_{g2}} & 0 \\ a_{12} T_{12} + T_{23} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} -\frac{f^* D_3}{2H_3} & \frac{f^*}{2H_3} & 0 & -\frac{f^*}{2H_3} \\ 0 & -\frac{1}{T_{i3}} & \frac{1}{T_{i3}} & 0 \\ -\frac{1}{T_{g3} R_3} & 0 & -\frac{1}{T_{g3}} & 0 \\ a_{23} T_{23} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B_1^T = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{1}{T_{g1}} & 0 \end{bmatrix}$$

$$B_2^T = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{1}{T_{g2}} & 0 \end{bmatrix}$$

$$B_3^T = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{1}{T_{g3}} & 0 \end{bmatrix}$$

$$C_1 = [\beta_1 \ 0 \ 0 \ 1]$$

$$C_2 = [\beta_2 \ 0 \ 0 \ 1]$$

$$C_3 = [\beta_3 \ 0 \ 0 \ 1] \quad (41)$$

このとき、 $A_i (i = 1, 3)$ はすべて正則な行列になる。

上記の行列 $A_i, B_i, C_i (i = 1, 3)$ を対象に最適制御則を決定したものが、分散制御方式による LQI 形負荷周波数制御となる。

Table 1. Parameter values of model system.

- $H_i = 5 \text{ s}$
 - $D_i = 8.33 \times 10^{-3} \text{ puMW/Hz}$
 - $R_i = 2.4 \text{ Hz/puMW}$
 - $T_{ti} = 0.3 \text{ s}$
 - $T_{gi} = 0.08 \text{ s}$
 - $\beta_i = D_i + 1/R_i = 0.425 \text{ puMW/Hz}$
 - $P_{ri} = 2000 \text{ MW}$
- $(i = 1, 3)$

- $f = 60 \text{ Hz}$
- $T_{12} = T_{23} = 0.545 \text{ puMW/Hz} \cdot \text{s}$
- $T = 2 \text{ s}$

Table 2. Comparison of decentralised control and centralised control.

	地域数	2 地域	3 地域	4 地域	5 地域
制算 御出 操時 作間 量 (s)	集中制御 方 式	2.499	7.446	16.895	32.758
	分散制御 方 式	0.648	0.648	0.648	0.648

表1は、このモデル系統のパラメータを一括して示したもので、その値は文献(2)に基づくものである。また、表2は、分散制御方式および集中制御方式の最適制御利得を決定するのに要した時間を示したものである。なお、(7)式で示される行列QおよびRおよび(17)式で示される行列QiおよびRiはそれぞれ単位行列とした。

図2, 図3には、 $\Delta Pd1 = 0.01$ puMWのステップ負荷変動に対する周波数偏差 Δf_1 および連系線潮流偏差 ΔP_{tie12} の応答波形を示している。なお、(a)は地域分散形の本制御方式(b)は文献(6)で示す集中制御方式、(c)は無制御の応答波形である。図2の周波数偏差および図3の連系線潮流偏差から明らかな様に、(a)、(b)の応答波形は制

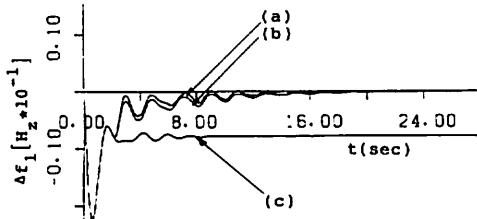


Fig 2. Response of Δf_1

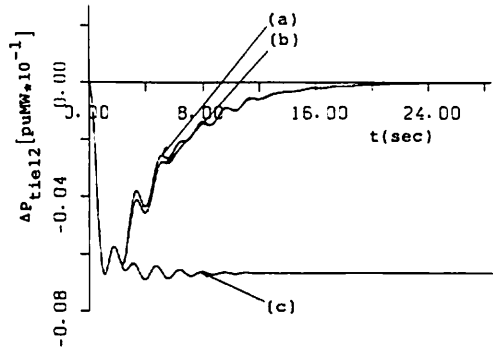


Fig 5. Response of ΔP_{tie12}

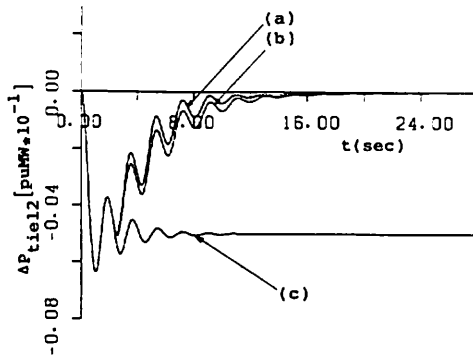


Fig 3. Response of ΔP_{tie12}

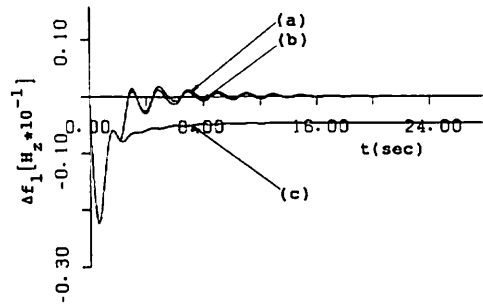


Fig 6. Response of Δf_1

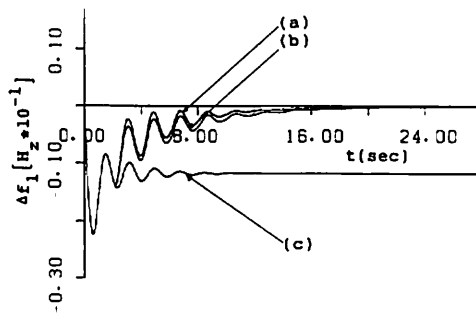


Fig 4. Response of Δf_1

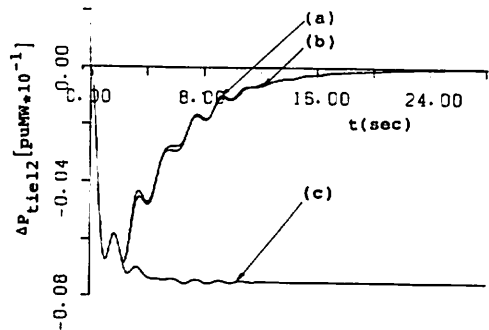
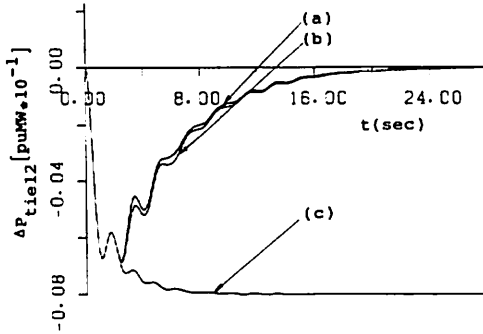
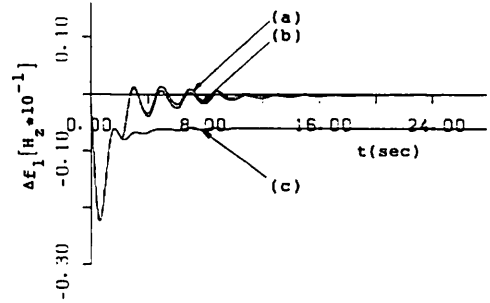


Fig 7. Response of ΔP_{tie12}

Fig 8. Response of Δf_1 Fig 9. Response of Δp_{tie12}

御方式が異なるにもかかわらず非常に似た応答波形が得られている。これは、各地域間の結合が比較的弱いことによるものである。なお、参考のため、地域を3~5地域からなる実規模系統に拡張し、その場合の周波数偏差および連系線潮流偏差を示したものが図4~図9である。これらの場合も2地域と同様な特性が得られている。

以上より、分散制御方式である本制御方式は、非常に短時間で集中制御方式による動特性と同様な特性を得ることができ、実用的な一制御方式となる。

4. む す び

本論文では、地域分割手法を用いた LQI 形負荷周波数制御方式を提案した。また、本構成法を非再熱式火力システムより構成される2~5地域串形電力システムモデルの最適制御に適用し、その有効性については、周波数偏差および連系線潮流偏差などの時間関係図を用いて示した。

今後の課題としては、直流送電、超電導エネルギー貯蔵装置などを考慮した系への拡張などが考えられる。

最後に、計算に多大な協力戴いた富士通株式会社 榎田隆君に感謝の意を表します。

なお、本研究に関する数値計算は、本学科の計算機 FACOM M-160F で行ったことを付記する。

文 献

- 1) 給電常置専門委員会:「電力系統の負荷周波数制御」電気学会技術報告(Ⅱ)部, 40号, (昭51)
- 2) C. E. Fosha & O. I. Elgerd: "The Megawatt-Frequency Control Problem: A New Approach Via Optimal Control Theory", IEEE Trans. Power Apparatus Syst., PAS-89, 4, 563 (1970)
- 3) K. Yamashita & T. Taniguchi: "Optimal Observer Design for Load-Frequency Control", Int. J. of Electrical Power & Energy Systems (to appear)
- 4) 山下・榎田・谷口:「積算形制御器を用いた負荷周波数制御法」昭59電気五学会九州支部連大 No. 541
- 5) 山下・谷口:「地域制御誤差の積算値を用いた LQI 形負荷周波数制御」電学論 B, 105, 634 (昭60)
- 6) 山下・宮城:「多地域電力システムを対象とした LQI 形負荷周波数制御」琉球大学工学部紀要, 第32号(昭61)(掲載予定)
- 7) 水谷:「地域分割手法を用いた LFC の準最適制御」電学論 B, 98, 971 (昭53)
- 8) 水谷:「地域分割・出力フィードバック手法を用いた LFC の準最適制御」電学論 B, 101, 17 (昭56)