

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11)特許番号

特許第3447549号
(P3447549)

(45)発行日 平成15年9月16日(2003.9.16)

(24)登録日 平成15年7月4日(2003.7.4)

(51)Int.Cl.⁷

H 0 2 J 3/14
3/24

識別記号

F I

H 0 2 J 3/14
3/24

D

請求項の数4(全 8 頁)

(21)出願番号 特願平10-38846

(22)出願日 平成10年2月20日(1998.2.20)

(65)公開番号 特開平11-234904

(43)公開日 平成11年8月27日(1999.8.27)

審査請求日 平成13年8月7日(2001.8.7)

(73)特許権者 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72)発明者 高橋 孝広

東京都千代田区大手町二丁目6番2号

三菱電機エンジニアリング株式会社内

(72)発明者 押田 秀治

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

三菱電機株式会社内

(74)代理人 100073759

弁理士 大岩 増雄 (外3名)

審査官 河合 弘明

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 電力系統の周波数安定化法

1

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】 発電機や負荷を接続する複数の母線、各母線間、あるいは、系統間を連系し、電力系統を構成する送電路、系統内において上記各発電機の運転情報を入力し、系統の電源脱落時に系統の周波数を許容最低値以内に制御する中央演算装置を用いた電力系統の周波数安定化法において、上記中央演算装置が電源脱落に対応して系統に残った発電機の定格出力とガバナフリー設定値とから瞬動予備力を求めると共に、この瞬動予備力と需給アンバランス率とから過渡的な周波数最低値を求め、この周波数最低値を許容値以内にするための負荷制限量を演算して記憶しておき、電源脱落時には脱落量に対応する負荷制限量を選択して負荷制御を行うことを特徴とする電力系統の周波数安定化法。

【請求項2】 中央演算装置が電源脱落時に系統に残っ

2

た発電機の定格出力とガバナフリー設定値とから瞬動予備力を求め、この瞬動予備力と需給アンバランス率とにより落ち着き先周波数値を求め、この落ち着き先周波数値を許容値以内にするための負荷制限量を演算して記憶しておき、電源脱落時には脱落量に対応する負荷制限量を選択して負荷制御を行うことを特徴とする請求項1記載の電力系統の周波数安定化法。

【請求項3】 発電機や負荷を接続する複数の母線、各母線間、あるいは、系統間を連系し、電力系統を構成する送電路、系統内において上記発電機の運転情報を入力し、系統間分離事故発生時に自系統の周波数を許容最低値以内に制御する中央演算装置を用いた電力系統の周波数安定化法において、上記中央演算装置が系統分離時に自系統内に残った発電機の定格出力とガバナフリー設定値とから瞬動予備力を求めると共に、この瞬動予備力

と需給アンバランス率とから過渡的な周波数最低値を求め、この周波数最低値を許容値以内とするための負荷制限量を演算して記憶しておき、電源脱落時には脱落量に対応する負荷制限量を選択して負荷制御を行うことを特徴とする電力システムの周波数安定化法。

【請求項4】 中央演算装置が系統分離時に系統内に残った発電機の定格出力とガバナフリー設定値とから瞬動予備力を求め、この瞬動予備力と需給アンバランス率とにより落ち着き先周波数値を求め、この落ち着き先周波数値を許容値以内にするための負荷制限量を演算して記憶しておき、電源脱落時には脱落量に対応する負荷制限量を選択して負荷制御を行うことを特徴とする請求項3記載の電力システムの周波数安定化法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、電力システムにおいて電源の脱着、もしくは、系統分離が発生した場合における周波数安定化法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来の電力システムの周波数安定化の方法については、例えば、文献、電気書院発行・太田宏次氏著の「電力システムの保護制御システム」に開示されている。図6は、この文献による周波数異常制御装置を構成図化したものである。図において1ないし4は電力システムの母線、5は母線1から本系統に接続する送電路、6ないし

$$QL = \frac{P - KL \times \Delta fL \times WO}{1 - KL \times \Delta fL} \dots (1)$$

QL：必要負荷制限量

P：受電を正とする送電路の事故前潮流値

WO：系統容量

KL：負荷制限時の系統特性定数

fL：周波数低下の許容値

【0004】中央演算装置21は、電源脱落などの事故により系統の周波数が異常に低下した場合、(1)式で得た必要負荷制限量QLに相当する負荷量を電力系統の各負荷から選定し、例えば、図6の負荷9が制限量QLに見合うものであればこれを選定の上、制御端末22にトリップ信号を出力して遮断器13を作動せしめ、負荷9を系統から切り離すことにより、系統の周波数を適正値に制御し、系統の周波数は、周波数低下の許容値fL内の変動に抑えられる。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】以上のように、従来の周波数安定化の方法によれば、安定化させるための入力要素として、送電路の事故前潮流値Pと、系統容量WOと、負荷制限時の系統特性定数KLのみにより必要負荷制限量を決定していたため、系統の状態に適応した最適な周波数安定化制御を行い、電力システムを安定させること

8は各母線1ないし4の間を連系する送電路、9は母線1に接続された負荷、10は母線2に接続された負荷、11は母線3に接続された発電機、12は母線4に接続された発電機、13ないし16は各母線1ないし4と各負荷9及び10、あるいは、発電機11及び12との間に接続された遮断器である。17は送電路5の電流を検出するための変流器、18は送電路5の電圧を検出する変成器、19はこの電流と電圧とにより送電路5の電力潮流値を計測し、併せて系統の周波数を計測する計測用端末、20は発電機11及び12の系統容量の情報を収集する中央給電指令所、21は電力潮流値と系統の周波数と系統容量(負荷量)とに基づいて制御量を演算し、この制御量に基づいてトリップ信号を出力して制御を行う中央演算装置、22ないし25は中央演算装置21よりトリップ信号を受け、遮断器13ないし16を操作する制御端末である。

【0003】以上の構成を持つ従来の周波数安定化法において、計測用端末19は常時変流器17と変成器18の出力に基づき送電路5の電力潮流値を計測すると共に系統の周波数を計測して中央演算装置21に伝達し、中央演算装置21はさらに中央給電指令所20より常時系統容量の情報を取り込み、例えば電力系統の電源脱着などの事故が生じた場合において、負荷量を制限して電力系統の周波数を適正値に制御するために制限すべき負荷量を次の式にて演算する。

ができていたとは言い難いものであった。

【0006】この発明は、このような課題を解決するためになされたものであって、系統の電源脱着などにおいて、系統に残った発電機のガバナフリー巾から瞬動予備力を求め、この瞬動予備力を加味して必要負荷制限量を算出し、算出結果に応じた負荷制限を行うことにより、発電機の安定運転領域内に周波数を維持し、系統をより安定化させる周波数安定化法を得ることを目的とするものである。

【0007】この発明に係わる電力システムの周波数安定化法は、発電機や負荷を接続する複数の母線と、各母線間、あるいは、系統間を連系し、電力システムを構成する送電路と、系統内において発電機の運転情報を入力し、系統の電源脱着時に系統の周波数を許容最低値以内に制御する中央演算装置とを有する電力システムの周波数安定化法において、中央演算装置が電源脱着に対応して系統に残った発電機の定格出力とガバナフリー設定値とから瞬動予備力を求めると共に、この瞬動予備力と需給アンバランス率とから過渡的な周波数最低値を求め、この周波数最低値を許容値以内にするための負荷制限量を演算して記憶しておき、電源脱着時には脱着量に対応する負荷制

限量を選択して負荷制御を行うようにしたものである。

【0008】また、中央演算装置が電源脱落時に系統に残った発電機の定格出力とガバナフリー設定値とから瞬動予備力を求め、この瞬動予備力と需給アンバランス率とにより落ち着き先周波数値を求め、この落ち着き先周波数値を許容値以内にするための負荷制限量を演算して記憶しておき、電源脱落時には脱流量に対応する負荷制限量を選択して負荷制御を行うようにしたものである。

【0009】さらに、発電機や負荷を接続する複数の母線と、各母線間、あるいは、系統間を連系し、電力系統を構成する送電路と、系統内において発電機の運転情報を入力し、系統間分離事故発生時に自系統の周波数を許容最低値以内に制御する中央演算装置とを有する電力系統の周波数安定化法において、中央演算装置が系統分離時に自系統内に残った発電機の定格出力とガバナフリー設定値とから瞬動予備力を求めると共に、この瞬動予備力と需給アンバランス率とから過渡的な周波数最低値を求め、この周波数最低値を許容値以内とするための負荷制限量を演算して記憶しておき、電源脱落時には脱流量に対応する負荷制限量を選択して負荷制御を行うようにしたものである。

【0010】さらにまた、中央演算装置が系統分離時に系統内に残った発電機の定格出力とガバナフリー設定値とから瞬動予備力を求め、この瞬動予備力と需給アンバランス率とにより落ち着き先周波数値を求め、この落ち着き先周波数値を許容値以内にするための負荷制限量を演算して記憶しておき、電源脱落時には脱流量に対応する負荷制限量を選択して負荷制御を行うようにしたものである。

【0011】

【発明の実施の形態】実施の形態1．図1、ないし、図4はこの発明の実施の形態1の電力系統の周波数安定化法を説明するためのもので、図1は電力系統の周波数安定化法の構成図、図2は動作を説明するフローチャート、図3は系統の電源脱落時における周波数変化特性図、図4(a)は電力変化量と周波数偏差の特性図、図4(b)は発電機の瞬動予備力と需給アンバランス率との積に対する周波数低下量の特性図であり、図1の構成図において上記従来例と同一部分には同一符号を付している。図1において、1ないし4は電力系統の母線、5は母線1から本系統に接続する送電路、6ないし8は各母線1ないし4の間を連系する送電路、9は母線1に接続された負荷、10は母線2に接続された負荷、11は母線3に接続された発電機、12は母線4に接続された

発電機、13ないし16は各母線1ないし4と各負荷9及び10、あるいは、発電機11及び12との間に接続された遮断器、17は送電路5の電流を検出するための変流器、18は送電路5の電圧を検出する変成器、19はこの電流と電圧とにより送電路5の電力潮流値を計測し、併せて系統の周波数を計測する計測用端末である。

【0012】26は電力系統に接続された発電機11及び12の発電量などの運転情報を収集する中央給電指令所、27は中央給電指令所26から発電機11及び12の運転状況などの情報入力を受け、発電機のガバナフリー巾及びこれにより決まる瞬動予備力などの要素を折り込み、電源脱落などの事故を想定して事故発生時の最低周波数値を許容値以内に制御するための負荷制限量を演算・保持し、演算結果によるトリップ信号を送出する中央演算装置、22、23は中央演算装置27よりトリップ信号を受け、遮断器13及び14を操作して負荷の制御を行う制御端末、28及び29は電源の脱落を検出して中央演算装置27に信号を送出する検出端末である。

【0013】図3は系統の電源脱落時における周波数変化特性図であり、時間t fにおいて急激な需給アンバランスが発生し発電力の不足が生じた場合、系統の周波数は図に示すように過渡的に周波数最低値を示した後、発電機の调速機の時定数に従って所定時間後に一定の落ち着き先周波数に至り安定する。この時の周波数最低値は図4Aに示すように電力変化量により変化するが、発電機の瞬動予備力P_μまでの周波数低下量はf₀₁となり、これを越えると低下の傾斜が大になる。また、周波数低下量f₀₁は図4(b)に示すように発電機の瞬動予備力P_μと需給アンバランス率R_uとの積により変化し、それぞれの変化は図に記入した式により表される。

【0014】この発明の実施の形態1の電力系統の周波数安定化法は、発電機のガバナフリー巾から求まる瞬動予備力と需給アンバランス率とを用いて電源脱落時の過渡的な周波数最低値を許容値以内に精度良く制御するもので、以下図1と、図2のフローチャートに基づき説明する。中央演算装置27は、まず、図2のフローチャートのステップ1において中央給電指令所26が収集する発電機11及び12の運転情報を取り込む。この運転情報は発電量やガバナフリー設定値などの情報である。

【0015】ステップ2では電源脱落の事故想定に対し、周波数最低値を許容値以内に制御するための必要負荷制限量を、図4(a)及び図4(b)の周波数低下特性をもとにして計算する。その計算は次式による。

$$P_{L1} = \frac{(Pg - P_{\mu}) - KL1 \times (\Delta f_{L1} - \Delta f_{01}) \times W0}{1 - KL1 \times (\Delta f_{L1} - \Delta f_{01})} \dots (2)$$

P_{L1}：周波数最低値を許容値以内に制御するための必要負荷制限量

P_g : 電源脱流量 (脱落発電機の事前出力の合計)
 P_μ : 系統に残った発電機の瞬動予備力の合計 = $(P_n \times GF)$
 P_n : 系統に残った発電機の定格出力
 GF : 各発電機のカバナフリー設定値
 $KL1$: 負荷制限時の系統特性定数
 $fL1$: 周波数最低目標値
 $f01$: 瞬動予備力と需給アンバランス率とによる周波数低下値 = $a1 \times Ru \times P_\mu + b1$
 Ru : 需給アンバランス率 = $P_g \times 100 / W0$
 $a1$ 、 $b1$: 係数
 $W0$: 系統容量 (総発電量)

なお、定数 $KL1$ と係数 $a1$ 及び $b1$ は、予めシミュレーションにて設定した値を使用するものである。

【0016】ステップ3では上記(2)式の演算結果から負荷制限パターンを選択し、安定化テーブルに当該想定電源脱落事故が発生したときの事故処理パターンとして登録する。負荷制限パターンは、登録された各負荷から必要制限負荷量を上回る最小の負荷の組み合わせとして選択されるものである。ステップ4は、以上の演算と負荷制限パターンの登録を、想定される全ての電源脱落事故に対して行われる迄繰り返し、全ての演算と登録が完了すればステップ5にて待機すると共に、電力系統の状態変化に対処するために、以上の演算・登録のサイクルを所定の時間間隔で実行して登録内容を更新する。

【0017】ステップ5にて検出端末28または29からの電源脱落の信号が受信されるとステップ6にてその内容を特定し、ステップ7にて安定化テーブルに登録された電源脱落に対する負荷制限パターンの全想定値の中から一致するパターンを選択して取り込み、ステップ8

$$\begin{aligned}
 & (P_g - P_\mu) - KL2 \times (\Delta fL2 - \Delta f02) \times W0 \\
 P_{L2} = & \frac{\quad}{1 - KL2 \times (\Delta fL2 - \Delta f02)} \quad \dots \quad (3)
 \end{aligned}$$

ここに、 P_{L2} : 落ち着き先周波数値を許容値以内にするための必要負荷制限量

P_g : 電源脱流量 (脱落発電機の事前出力の合計)
 P_μ : 系統に残った発電機の瞬動予備力の合計 = $(P_n \times GF)$
 P_n : 系統に残った発電機の定格出力
 GF : 各発電機のカバナフリー設定値
 $KL2$: 負荷制限時の系統特性定数
 $fL2$: 落ち着き先周波数目標値
 $f02$: 需給アンバランス率による周波数低下値 = $a2 \times Ru + b2$
 Ru : 需給アンバランス率 = $P_g \times 100 / W0$
 $a2$ 、 $b2$: 係数
 $W0$: 系統容量 (総発電量)

定数 $KL2$ と係数 $a2$ 及び $b2$ は、実施の形態1と同様

にて選択された負荷制限パターンに基づき該当する制御端末にトリップ信号を送信して必要量の負荷を遮断する。

【0018】このように、この発明の実施の形態1の電力系統の周波数安定化法によれば、電力系統の電源脱落事故時の需給アンバランスにより低下する周波数の最低値を適正值以内に制御するための負荷制限量を、発電機のカバナフリー設定値から求まる瞬動予備力と需給アンバランス率とを用いて算出するようにしたので、より精度の高い安定化制御が可能となり、常に状態の変化がある電力系統に対しても全ての発電機を安定に維持しながら系統の周波数最低値を適正值以内に保つことができるものである。

【0019】実施の形態2. この実施の形態による電力系統の周波数安定化法は、電力系統の電源脱落時に落ち着き先周波数を許容値以内に制御するためのものである。図5(a)は、電力変化量 P に対する落ち着き先周波数の偏差 $f2$ を示す特性図、図5(b)は、需給アンバランス率 Ru に対する落ち着き先周波数の周波数低下値 $f02$ の特性図である。この実施の形態においては、中央演算装置27は中央給電指令所26から発電機11及び12の運転状況などの情報入力を受け、発電機のカバナフリー巾から求まる瞬動予備力と需給アンバランス率とを用い、電源脱落などの事故を想定して事故発生時の落ち着き先周波数値を許容値以内に制御するのに必要な負荷制限量を図5(a)及び図5(b)の周波数低下特性をもとに算出し、制御するものである。

【0020】中央演算装置27の動作は実施の形態1と同様であるが、ステップ2における演算は次の式によ

に予めシミュレーションにて設定されたものである。

【0021】このように演算を行うこの発明の実施の形態2の電力系統の周波数安定化法によれば、電力系統の電源脱落が発生したとき、電力需給のアンバランスにより低下する周波数の落ち着き先周波数値を適正值に制御するための必要負荷制限量を、発電機のカバナフリー設定値から求まる瞬動予備力と需給アンバランス率とを用いて算出し制御するので、より精度の高い安定化制御が可能となり、常に状態の変化がある電力系統に対しても全ての発電機を安定に維持しながら系統の落ち着き先周波数値を適正值に保つことができることになる。

【0022】実施の形態3. 以上は、系統内の電源脱落事故に対する周波数安定化法であるが、この実施の形態は、送電路(連系線)により結合された各系統間において、事故により連系線が遮断され、系統が分離された場

合に、分離系統内における過渡的な周波数最低値を許容範囲内に制御するための必要負荷制限量を演算し、負荷制御を行うものであり、中央演算装置27は、実施の形態1と同様に中央給電指令所26から発電機11及び12の運転状況などの情報入力を受けると共に、連系線の

$$PL3 = \frac{(Pf - P\mu) - KL1 \times (\Delta fL1 - \Delta f01) \times W1}{1 - KL1 \times (\Delta fL1 - \Delta f01)} \quad \dots \quad (4)$$

ここに、PL3：周波数最低値を許容値以内に制御するための必要負荷制限量

Pf：受電を正とする連系線の事故前潮流

Pμ：分離された系統内に残った発電機の瞬動予備力の合計 = (Pn × GF)

Pn：分離された系統内に残った発電機の定格出力

GF：各発電機のカバナフリー設定値

KL1：負荷制限時の系統特性定数

fL1：周波数最低目標値

f01：瞬動予備力と需給アンバランス率とによる周波数低下値 = a1 × Ru × Pμ + b1

Ru：需給アンバランス率 = Pg / W0 × 100

a1、b1：係数

W1：分離された系統の容量（総発電量 - 連系線潮流）

【0024】この実施の形態によれば、電力系統の系統分離による需給アンバランスが生じた場合、中央演算装置27が過渡的な周波数低下の最低値を適正值に保つた

$$PL4 = \frac{(Pf - P\mu) - KL2 \times (\Delta fL2 - \Delta f02) \times W1}{1 - KL2 \times (\Delta fL2 - \Delta f02)} \quad \dots \quad (5)$$

ここに、

PL4：落ち着き先周波数値を許容値以内にするための必要負荷制限量

Pg：受電を正とする連系線の事故前潮流

Pμ：分離された系統内に残った発電機の瞬動予備力の合計 = (Pn × GF)

Pn：分離された系統内に残った発電機の定格出力

GF：各発電機のカバナフリー設定値

KL2：負荷制限時の系統特性定数

fL2：落ち着き先周波数目標値

f02：需給アンバランス率による周波数低下値 = a2 × Ru + b2

Ru：需給アンバランス率 = Pg / W0 × 100

a2、b2：係数

W0：分離された系統の容量（総発電量 - 連系線潮流）

【0027】以上のように中央演算装置27が演算し制御することにより、この実施の形態によれば、電力系統の系統分離時において、需給アンバランスによる周波数

潮流の状況が入力され、発電機のカバナフリー巾から求まる瞬動予備力と需給アンバランス率とを用いて次の演算を行う。

【0023】

めの負荷制限量を、発電機のカバナフリー設定値から求まる瞬動予備力と需給アンバランス率とを用いて算出し制御するので、より精度の高い安定化制御が可能となり、常に状態の変化がある電力系統に対しても全ての発電機を安定に維持しながら系統の最低周波数値を適正值に抑制することができる。

【0025】実施の形態4．この実施の形態は、連系線により結合された各系統間において、事故により連系線が遮断され、系統が分離された場合において、分離系統内における落ち着き先周波数値を許容範囲内に制御するための必要負荷制限量を演算し、負荷制御を行うもので、中央演算装置27は、実施の形態1と同様に中央給電指令所26から発電機11及び12の運転状況などの情報入力を受けると共に、連系線の潮流の状況が入力され、発電機のカバナフリー巾から求まる瞬動予備力と需給アンバランス率とを用いて次の演算を行う。

【0026】

低下の落ち着き先周波数値を適正值に保つための負荷制限量を、発電機のカバナフリー設定値から求まる瞬動予備力と需給アンバランス率とを用いて算出し制御するので、より精度の高い安定化制御が可能となり、常に状態の変化がある電力系統に対しても全ての発電機を安定に維持しながら系統の最低周波数値を適正值に保つことができるものである。

【0028】

【発明の効果】以上に説明したようにこの発明によれば、電力系統内において電源の脱落事故が発生した場合、または、系統間の分離事故が生じた場合において、系統に残った発電機のカバナフリー巾から瞬動予備力を求め、瞬動予備力と需給アンバランス率とを用いて、発電電力不足時の過渡的に低下する周波数最低値を許容値以内に制御するための必要負荷制限量を求め、また、周波数低下の落ち着き先周波数を許容値以内に制御するための必要負荷制限量を求めて負荷の制御を行うようにしたので、事故時の系統周波数を発電機の安定運転のための

適正値に精度良く維持することができ、電力系統の安定化が可能な周波数安定化法が得られるものである。

【図面の簡単な説明】

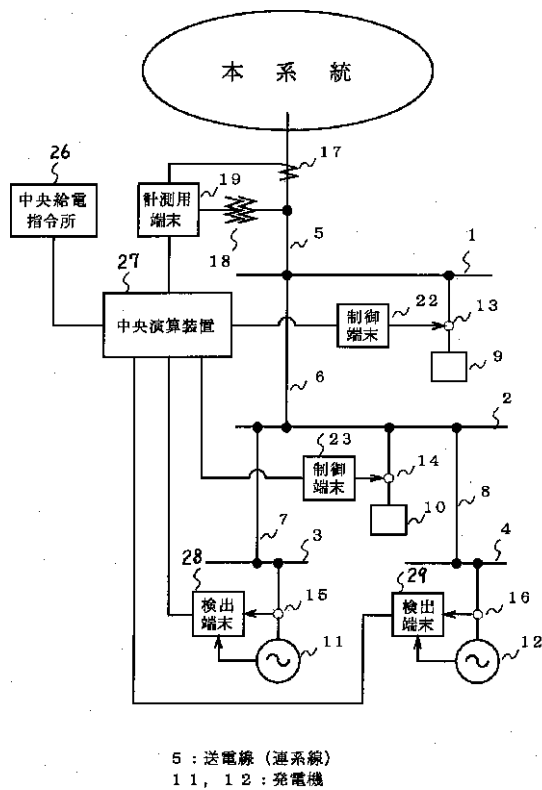
【図1】 この発明の実施の形態1の周波数安定化法を説明する構成図である。

【図2】 この発明の実施の形態1の周波数安定化法の動作を説明するフローチャートである。

【図3】 電源脱落時における周波数変化を説明する特性図である。

【図4】 この発明の実施の形態1を示す特性図で、
(a) は電力変化量と周波数偏差を説明する特性図、
(b) は発電機の瞬動予備力と需給アンバランス率に対する周波数低下量の関係を示す特性図である。

【図1】



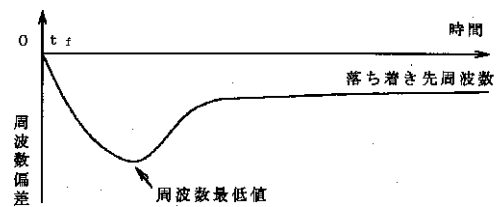
【図5】 この発明の実施の形態2を示す特性図で、
(a) は電力変化量と周波数偏差を説明する特性図、
(b) は需給アンバランス率と周波数低下量の関係を示す特性図である。

【図6】 従来の周波数安定化法を説明する構成図である。

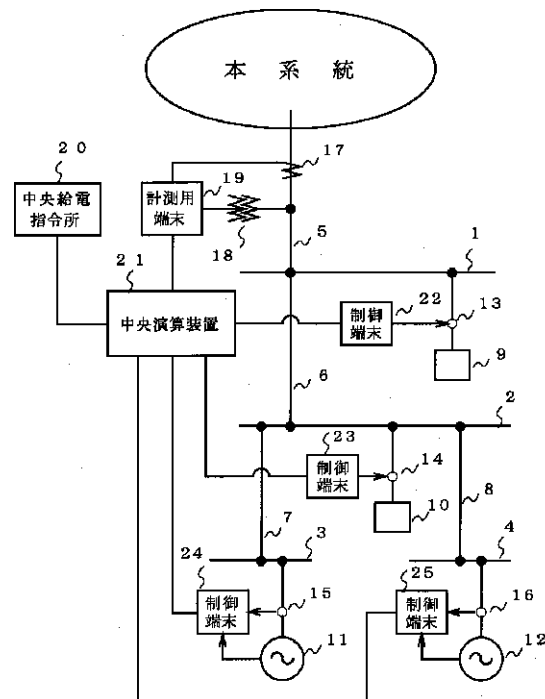
【符号の説明】

1～4 母線、5～8 送電路、9、10 負荷、11、12 発電器、13～16 遮断器、17 変流器、18 変成器、19 計測用端末、22、23 制御端末、26 中央給電指令所、27 中央演算装置、28、29 検出端末。

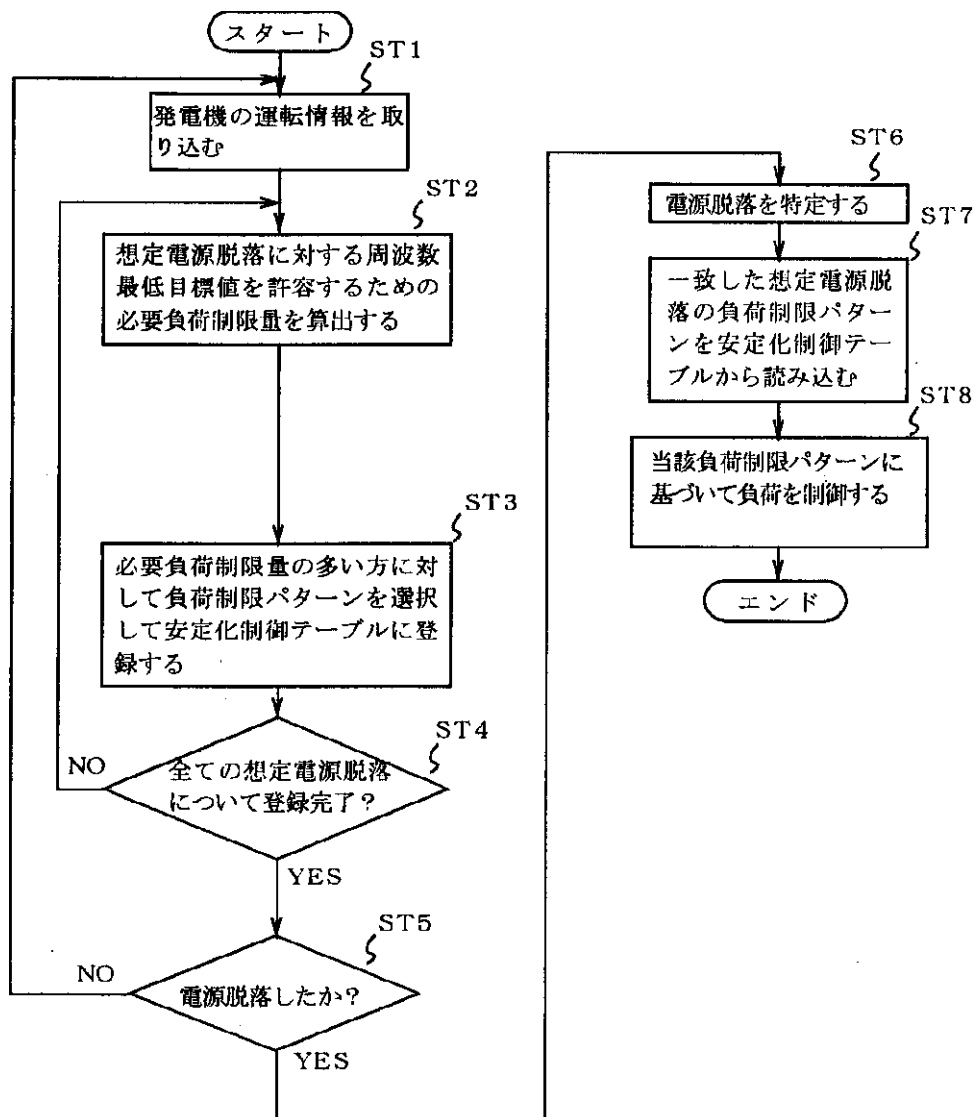
【図3】



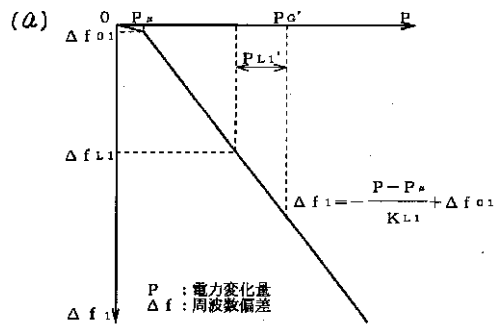
【図6】



【図2】

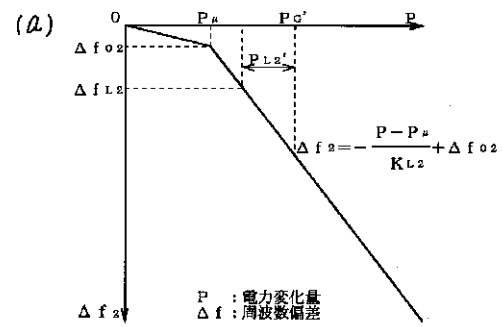


【図4】

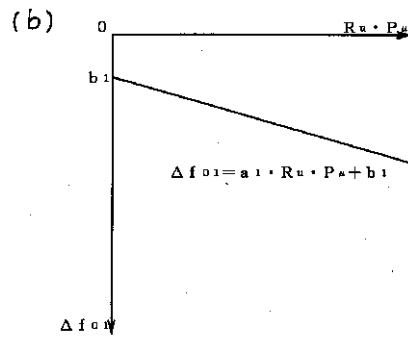
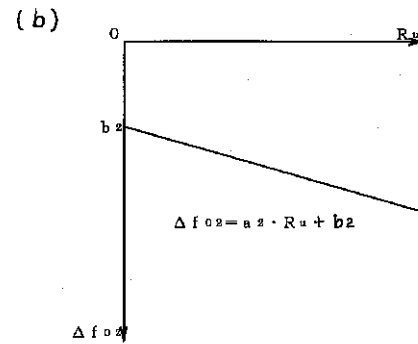


周波数最低値の特性

【図5】



落ち着き先周波数の特性

 Δf_{01} の特性 Δf_{02} の特性

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開 平10 - 32927 (JP, A)
 特開 平7 - 184324 (JP, A)
 特開 平11 - 127538 (JP, A)
 坪内元孝、小島正道、佐藤康生、他、
 次世代ローカル系統SSCのための制御
 方式の開発と検証、電気学会研究会資料
 電力技術/電力系統技術合同研究会、
 日本、社団法人電気学会、1997年10月
 6日、PE/PSE-97-1~10・12~
 15, p. 31-36
 太田宏次、電力系統の保護制御システ
 ム、日本、電気書院、1975年 5月15
 日、第1版第1刷, p. 122-124

- (58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)
 H02J 3/00 - 5/00