

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5730833号
(P5730833)

(45) 発行日 平成27年6月10日(2015.6.10)

(24) 登録日 平成27年4月17日(2015.4.17)

(51) Int.Cl.

F I

FO1D 17/00 (2006.01)
 FO1D 17/04 (2006.01)
 FO1D 17/20 (2006.01)
 FO1D 25/00 (2006.01)

FO1D 17/00 M
 FO1D 17/00 S
 FO1D 17/04
 FO1D 17/20 D
 FO1D 25/00 W

請求項の数 7 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2012-207843 (P2012-207843)
 (22) 出願日 平成24年9月21日(2012.9.21)
 (65) 公開番号 特開2014-62491 (P2014-62491A)
 (43) 公開日 平成26年4月10日(2014.4.10)
 審査請求日 平成26年7月25日(2014.7.25)

(73) 特許権者 000005108
 株式会社日立製作所
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
 (74) 代理人 110000925
 特許業務法人信友国際特許事務所
 (72) 発明者 井上 翔大
 茨城県日立市大みか町五丁目2番1号 株
 式会社日立製作所 情報制御システム事業
 部内
 (72) 発明者 河野 有亮
 茨城県日立市大みか町五丁目2番1号 株
 式会社日立製作所 情報制御システム事業
 部内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 タービン制御装置、タービン制御方法及びタービン制御プログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

発電プラントが繋がれている電力系統の運転状況に関する系統情報を取得する系統情報取得部と、

前記系統情報に基づいて、系統の運転状況の変動に対応する調定率の第1の変動成分値を算出し、前記発電プラント内のタービンの回転速度の調整パラメータとして、予め設定されたベース調定率と前記第1の変動成分値とから可変調定率を算出する調速制御部と、を備え、

前記調速制御部は、前記可変調定率を用いて前記タービンの回転速度を調整するタービン制御装置。

【請求項 2】

さらに、前記タービンの回転速度の情報を取得する回転速度取得部を備え、

前記調速制御部は、前記タービンの回転速度に基づいて、系統周波数の変動に対応する調定率の第2の変動成分値を算出し、前記調整パラメータとして、前記ベース調定率と前記第1の変動成分値と前記第2の変動成分値とから前記可変調定率を算出する

請求項 1 に記載のタービン制御装置。

【請求項 3】

前記系統情報が、前記電力系統の需要予測データを含む

請求項 1 又は 2 に記載のタービン制御装置。

【請求項 4】

10

20

前記系統情報が、気象情報を含む
請求項 2 に記載のタービン制御装置。

【請求項 5】

前記系統情報が、さらに気象情報を含む
請求項 3 に記載のタービン制御装置。

【請求項 6】

発電プラントが繋がれている電力系統の運転状況に関する系統情報を取得することと、
前記系統情報に基づいて、系統の運転状況の変動に対応する調定率の第 1 の変動成分値
を算出することと、

前記発電プラント内のタービンの回転速度の調整パラメータとして、予め設定されたベ
ース調定率と前記第 1 の変動成分値とから可変調定率を算出することと、

前記可変調定率を用いて前記タービンの回転速度を調整すること
を含むタービン制御方法。

【請求項 7】

発電プラントが繋がれている電力系統の運転状況に関する系統情報を取得する処理と、
前記系統情報に基づいて、系統の運転状況の変動に対応する調定率の第 1 の変動成分値
を算出する処理と、

前記発電プラント内のタービンの回転速度の調整パラメータとして、予め設定されたベ
ース調定率と前記第 1 の変動成分値とから可変調定率を算出する処理と、

前記可変調定率を用いて前記タービンの回転速度を調整する処理と
をタービン制御装置に実装して実行させるタービン制御プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、発電用タービンのタービン制御装置、タービン制御方法、及び、タービン制御プログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

本技術分野の背景技術としては、例えば、特開平 5 - 3 4 0 2 0 4 号公報（特許文献 1）がある。この特許文献 1 には、タービンの無負荷域、特に低回転域でのタービン回転数の制御が不安定となる場合に、安定な制御を可能にするタービン制御装置が記載されている。

【0003】

具体的には、特許文献 1 のタービン制御装置は、タービンの実回転数を検出する回転数検出装置と、回転数に対応して非線形関数を入力する非線形関数器とを備える。また、特許文献 1 のタービン制御装置は、回転数設定器からの回転数設定信号と回転数信号との偏差を演算する加算器と、回転数偏差信号と非線形関数出力を演算する非線形調定率演算器とを備える。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開平 5 - 3 4 0 2 0 4 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

上記特許文献 1 には、タービンの無負荷域、特に低回転域での安定制御を可能にする技術が記載されているが、タービンの定格回転数近傍（負荷運転中）におけるタービンの安定制御については議論されていない。しかしながら、本技術分野では、負荷運転中においても、柔軟に系統周波数の安定制御を可能にする技術の開発が求められている。そこで、本発明は、負荷運転中であっても柔軟に、系統周波数を安定制御できるタービン制御装置

10

20

30

40

50

、タービン制御方法及びタービン制御プログラムを提供する。

【課題を解決するための手段】

【0006】

上記課題を解決するために、本発明のタービン制御装置は、タービンの回転速度の調整パラメータを、電力系統の運転状況に関する系統情報に基づいて調節する調速制御部を備える。

【発明の効果】

【0007】

本発明によれば、発電プラントが繋がれた電力系統（以下、単に、系統という）の運転状況に関する系統情報に基づいてタービンの回転速度を制御することができるので、負荷運転中であっても柔軟な系統周波数の安定制御が可能になる。

10

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】一般的なタービン制御装置（比較例）で実施される蒸気タービンの調速負荷制御の制御アルゴリズムを示す図である。

【図2】本発明の実施例1に係る発電システムの概略ブロック構成図である。

【図3】実施例1における系統情報供給源の概略構成図である。

【図4】実施例1におけるタービン制御装置の概略構成図である。

【図5】実施例1における蒸気タービンの調速負荷制御の制御アルゴリズムを示す図である。

20

【図6】実施例1における蒸気タービンの調速負荷制御の処理手順を示すフローチャートである。

【図7】実施例1における調定率の可変アルゴリズムを示す図である。

【図8】系統周波数の変動特性と、それに対応する調定率の変動成分値（後述の第1寄与値R1）の変化特性との関係の一例を示す図である。

【図9】系統情報の変動特性と、それに対応する調定率の変動成分値（後述の第2寄与値R2）の変化特性との関係の一例を示す図である。

【図10】実施例1のタービン制御装置における調速負荷制御の結果例を示す図（模式図）である。

【図11】実施例2のタービン制御装置における蒸気タービンの調速負荷制御の制御アルゴリズムを示す図である。

30

【図12】実施例2における調定率の可変アルゴリズムを示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0009】

以下に、本発明の各種実施例に係るタービン制御装置及びタービン制御方法を、図面を参照しながら説明する。

【実施例1】

【0010】

まず、本発明の実施例1に係るタービン制御装置について説明する前に、現在、発電プラントにおいて一般的に実施されている蒸気タービンの調速制御方式（比較例）、及び、その方式において想定される各種課題について説明する。

40

【0011】

火力発電プラントは、ボイラーで発生した蒸気を蒸気タービンに供給し、その蒸気によって蒸気タービン及び蒸気タービンに軸で直結された発電機を駆動する。また、火力発電プラントは、中央給電所からの発電指令値に応じて、発電設備である蒸気タービンに供給される蒸気流量を調整し、蒸気タービンの回転速度（系統周波数）を制御する。

【0012】

この際、調定率（速度調定率：調整パラメータ）と呼ばれる系統寄与率に基づいて、蒸気タービンに流入する蒸気量を調整して、タービン回転速度（系統周波数：50Hz又は60Hz）を制御する。そして、この調定率に基づく蒸気流量（蒸気タービンの回転速度

50

）の安定制御により、系統の電力の総負荷量及び総供給量の変動に応じて発生する系統周波数の変動を抑制している。このような蒸気タービンの回転速度（系統周波数）の制御は、調速負荷制御又はガバナフリー制御と呼ばれている。

【 0 0 1 3 】

なお、調定率は、系統周波数の変動に対してどの程度の負荷（電力量）の調節を行うかを示すパラメータである。また、系統周波数は、発電機の回転数と同期しているため、発電機に直結された蒸気タービンの回転数と等しくなる。

【 0 0 1 4 】

図 1 は、現在、発電プラントにおいて一般的に実施されている蒸気タービンの調速負荷制御の制御アルゴリズムを示す図である。この制御アルゴリズムでは、まず、例えば蒸気タービンの軸に取り付けられた速度センサにより検出された回転速度（系統周波数）の実測値（実回転速度）と、定格回転速度との速度偏差 ΔV が算出される。次いで、調定率 R の逆数（以下、ゲイン G という）が、速度偏差 ΔV に乗算される。そして、ゲイン G が乗算された偏差信号 ΔS （ $= G \cdot \Delta V$ ：以下、速度調整信号 ΔS という）は、発電機において必要とする電力量（負荷）に応じて設定されたガバナ設定信号 S_0 に加算される。

【 0 0 1 5 】

次いで、ガバナ設定信号 S_0 に速度調整信号 ΔS が加算された信号 S （以下、調速負荷制御信号 S という）に基づいて加減弁の開度要求量が計算され、該開度要求量がボイラー及び蒸気タービン間を繋ぐ配管に設けられた加減弁に出力される。そして、加減弁に入力された開度要求量に基づいて、加減弁の開度が調整され、蒸気タービンに供給される蒸気流量が調節される。なお、上述した蒸気タービンの調速負荷制御方式を採用した火力発電プラントでは、通常、調定率 R は、一定値（約 5 ～ 7 % 程度）である。

【 0 0 1 6 】

このような調速負荷制御方式において、いま、例えば、調定率 R が 5 % である場合を考える。この場合には、 ± 5 % の範囲の系統周波数変動に対して、 $- 100\% \sim 100\%$ の範囲で速度調整信号の調節が行われる。それゆえ、この場合、系統周波数が 1 % 変動すると、定格蒸気流量の 20 % の蒸気流量に対応する速度調整信号 ΔS が、予め設定されたガバナ設定信号 S_0 に加算又は減算される。

【 0 0 1 7 】

また、調速負荷制御では、系統周波数の安定化を図るとともに、系統事故等により蒸気タービンの回転速度が急上昇した場合には蒸気供給量を絞り込むので、調速負荷制御は、蒸気タービン又は発電機の過速度防止の作用も備える。例えば、発電プラントの調定率 R が 5 % である場合には、蒸気タービンの回転速度が定格速度の 105 % になった時点で、速度調整信号 ΔS は $- 100\%$ となり、調速負荷制御信号 S が 0 % 以下となるので、加減弁は全閉され、蒸気タービンの回転速度が調整される。一方、タービンの回転速度が定格速度の 95 % となった場合には、速度調整信号 ΔS は 100 % となり、100 % 負荷分の蒸気流量に対応する調速負荷制御信号 S が加減弁に出力され、蒸気タービンの回転速度が調整される。

【 0 0 1 8 】

上述した蒸気タービンの調速負荷制御方式において調定率 R が低い場合、系統周波数のわずかな変動で大きな蒸気流量の調整が行われる。すなわち、この場合には、蒸気タービンの調速負荷制御は、高ゲインの調速負荷制御（高速応答制御）となる。しかしながら、高ゲインの調速負荷制御では、調速負荷制御信号 S （ $S_0 + \Delta S$ ）の変化が急激になったり、頻繁に発生したりする。この場合に発生する発電機出力の突変や加減弁の急激な開閉動作は、発電プラントの安定性を低下させる要因となる。また、蒸気の供給量が急激に増大して上限値を超える温度上昇や熱応力などが発生すると、蒸気タービンの熱ストレスが増大し、蓄積される。この熱ストレスは、蒸気タービンのロータやブレードなどの機械設備の劣化の主要因となり、設備の寿命が短くなる可能性がある。

【 0 0 1 9 】

一方、調速負荷制御方式において調定率 R を高くすると、蒸気タービンの調速負荷制御

10

20

30

40

50

は、低ゲインの調速負荷制御となる。しかしながら、この場合には、発電プラントの安定性は向上するが、系統周波数の変動を発電プラントで吸収することが難しくなり、系統の安定性が低下する可能性がある。

【 0 0 2 0 】

さらに、実際の火力発電プラントでは、上述した調定率 R の値は、該火力発電プラントと系統内で繋がる他の発電システムの運転状況や、系統の電力需給に関係なく、一定値である。それゆえ、例えば天候等により供給電力量が大きく変動する発電システム（例えば太陽光発電システム、風力発電システム等）が多く繋がる系統においては、系統が不安定となっても、調定率 R を変更することができず、系統の安定性を制御することが難しくなる。

10

【 0 0 2 1 】

本発明では、上述した各種課題を解決できる蒸気タービンの調速負荷制御手法、及び、その手法を採用したタービン制御装置を提案する。

【 0 0 2 2 】

[発電プラントの構成及び動作]

(1) 構成

図 2 は、実施例 1 に係るタービン制御装置を備える発電プラントの概略ブロック構成図である。なお、図 2 には、説明の便宜上、タービン制御装置と関連する構成部のみを示す。また、本実施例では、発電プラントが火力発電プラントである例を説明する。

【 0 0 2 3 】

20

発電プラント 1 0 は、ボイラー 1 と、蒸気タービン 2 と、発電機 3 と、加減弁 4 と、配管 5 と、速度センサ 6 と、タービン制御装置 7 とを備える。

【 0 0 2 4 】

ボイラー 1 は、配管 5 を介して蒸気タービン 2 に接続され、配管 5 の途中には、加減弁 4 が設けられる。蒸気タービン 2 のタービン軸は、発電機 3 の回転軸に接続され、蒸気タービン 2 は発電機 3 に直結される。また、蒸気タービン 2 の回転速度を検出するための速度センサ 6 は、蒸気タービン 2 に取り付けられる。

【 0 0 2 5 】

タービン制御装置 7 は、速度センサ 6 に電氣的に接続され、蒸気タービン 2 の回転速度を常時検出する。また、タービン制御装置 7 は、加減弁 4 と油圧を介して接続され、加減弁 4 の開度を制御して、ボイラー 1 から蒸気タービン 2 に流入する蒸気流量を調節する。

30

【 0 0 2 6 】

なお、図 2 には示さないが、発電プラント 1 0（発電機 3）は、送電線を介して他の各種発電システムに接続され、これにより、系統が構築される。また、発電プラント 1 0（タービン制御装置 7）は、例えばネットワーク等の通信網を介して、系統情報供給源 2 0 と接続され、発電プラント 1 0 が含まれる系統の運転状況に関する系統情報を系統情報供給源 2 0 から取得する。

【 0 0 2 7 】

図 3 は、本実施例における系統情報供給源 2 0 の概略構成図である。本実施例では、系統情報供給源 2 0 は、発電プラント 1 0 が含まれる系統の運転状況に関する系統情報として、発電プラント 1 0 の外部施設（例えば中央給電所等）で算出されるリアルタイムの需給予測情報 2 1 を、タービン制御装置 7 に供給する。この際、本実施例では、系統情報供給源 2 0 は、リアルタイムの需給予測情報 2 1（系統情報）を、VPN（Virtual Private Network）2 2、ルータ 2 3 及びプラントネットワーク 2 4 を介してタービン制御装置 7 に供給する。

40

【 0 0 2 8 】

(2) 動作

上記構成の発電プラント 1 0 では、まず、ボイラー 1 は、例えば石油、石炭等の燃料を燃やして水を熱し、その際に発生する高温高压の蒸気を、配管 5 を介して蒸気タービン 2 に供給する。次いで、蒸気タービン 2 は、ボイラー 1 から供給される高温高压の蒸気によ

50

り回転し、発電機 3 を駆動する。これにより、発電プラント 10 は、電力を発生し、該電力を系統に供給する。

【0029】

そして、本実施例では、蒸気タービン 2 を回転駆動する際、タービン制御装置 7 は、発電機 3 で発生する電力の系統周波数が所定の周波数（50 Hz 又は 60 Hz）になるように、加減弁 4 の開度を制御して蒸気タービン 2 の回転速度（回転数）を制御する。なお、この際、本実施例では、タービン制御装置 7 は、系統情報供給源 20 から取得した系統情報と、速度センサ 6 から取得される蒸気タービン 2 の回転速度の実測データとに基づいて、蒸気タービン 2 の調速負荷制御を行う。

【0030】

10

[タービン制御装置の構成]

図 4 は、本実施例のタービン制御装置 7 の内部構成（ハードウェア構成）図である。なお、図 4 には、説明を簡略化するため、蒸気タービン 2 の調速負荷制御に関連する構成部のみを示す。

【0031】

タービン制御装置 7 は、制御部 11（調速制御部）と、第 1 記憶部 12 と、第 2 記憶部 13 と、回転速度検出部 14（回転速度取得部）と、系統情報取得部 15 と、出力部 16 とを備える。そして、これらの構成部は、バス 17 を介して、互いに電氣的に接続される。

【0032】

20

制御部 11 は、例えば CPU（Central Processing Unit）で構成され、演算処理装置及び制御装置として機能する。具体的には、制御部 11 は、例えば第 1 記憶部 12 や第 2 記憶部 13 等に記録された各種プログラムを用いて、タービン制御装置 7 内の動作全般又はその一部を制御する。それゆえ、後述する蒸気タービン 2 の調速負荷制御も制御部 11 により実行される。

【0033】

第 1 記憶部 12 は、例えば ROM（Read Only Memory）で構成され、制御部 11 が使用するプログラムや演算パラメータ等を記憶する。それゆえ、後述する蒸気タービン 2 の調速負荷制御処理で用いるプログラム（タービン制御プログラム）やその実行において必要となるパラメータ等は、第 1 記憶部 12 に記憶される。

30

【0034】

第 2 記憶部 13 は、例えば RAM（Random Access Memory）で構成される。第 2 記憶部 13 では、例えば後述の蒸気タービン 2 の調速負荷制御処理時に、第 1 記憶部 12 に記憶された必要なプログラムや必要なパラメータ等が一時的に記憶及び展開される。

【0035】

回転速度検出部 14 は、蒸気タービン 2 に取り付けられた速度センサ 6 に電氣的に接続された入力インターフェースである。それゆえ、例えば、後述する蒸気タービン 2 の調速負荷制御時には、タービン制御装置 7（制御部 11）は、回転速度検出部 14 を介して、速度センサ 6 で検出された回転速度データ（実回転速度）を検出する。

【0036】

40

系統情報取得部 15 は、系統情報供給源 20 から系統情報を取得するための入力インターフェースである。それゆえ、例えば、後述する蒸気タービン 2 の調速負荷制御時には、タービン制御装置 7 は、系統情報取得部 15 を介して、系統情報を取得する。

【0037】

出力部 16 は、後述する蒸気タービン 2 の調速負荷制御処理により生成された調速負荷制御信号 Sv（加減弁指令信号）を加減弁 4 に出力するためのインターフェースである。それゆえ、後述する蒸気タービン 2 の調速負荷制御時には、タービン制御装置 7 は、出力部 16 を介して調速負荷制御信号 Sv を加減弁 4 に出力する。

【0038】

[蒸気タービンの調速負荷制御手法]

50

次に、本実施例のタービン制御装置 7 で行う蒸気タービン 2 の調速負荷制御手法（蒸気流量の制御手法）について、図 5 及び 6 を参照しながら説明する。

【 0 0 3 9 】

図 5 は、タービン制御装置 7 で実施される蒸気タービン 2 の調速負荷制御の制御アルゴリズムを示す図である。より具体的には、図 5 は、蒸気タービン 2 の調速制御処理時に、制御部 1 1 が生成する調速負荷制御信号 S_v （加減弁指令信号）の演算アルゴリズムを示す図である。また、図 6 は、本実施例における蒸気タービン 2 の調速負荷制御の処理手順を示すフローチャートである。

【 0 0 4 0 】

なお、本実施例では、蒸気タービン 2 の調速負荷制御時に、制御部 1 1 は、第 1 記憶部 1 2（ROM）に格納された蒸気タービン 2 の調速負荷制御プログラムを第 2 記憶部 1 3（RAM）に展開する。そして、制御部 1 1 は、該調速負荷制御プログラムを用い、図 5 に示す演算アルゴリズムに従って以下に説明する各種演算処理を行い、蒸気タービン 2 の調速負荷制御処理を行う。すなわち、本実施例では、制御部 1 1 による蒸気タービン 2 の調速負荷制御処理を、ソフトウェアを用いて実行する。

【 0 0 4 1 】

また、本実施例では、上記比較例（図 1）と同様に、蒸気タービン 2 の回転速度（蒸気タービン 2 に供給する蒸気流量）を、調定率に基づいて制御する。この際、調定率は、速度センサ 6 により検出された回転速度の実測データ（実回転速度）、及び、系統情報供給源 2 0 から供給される系統情報に基づいて、逐次調節される。なお、実回転速度及び系統情報は時間とともに変動するパラメータであるので、本実施例で算出される調定率（以下では、可変調定率 R_v という）もまた時間とともに変化する。

【 0 0 4 2 】

本実施例の蒸気タービン 2 の調速負荷制御手法では、まず、タービン制御装置 7 は、速度センサ 6 により検出された回転速度の実測データ（実回転速度）を、回転速度検出部 1 4 を介して取得する（ステップ S 1）。なお、上述のように、蒸気タービン 2 の回転数は系統周波数と等しくなるので、ステップ S 1 では、実質、系統周波数の実測データに対応する情報を取得していることになる。

【 0 0 4 3 】

次いで、タービン制御装置 7 は、系統情報供給源 2 0 から供給される系統情報を、系統情報取得部 1 5 を介して取得する（ステップ S 2）。この際、本実施例では、系統情報として、発電プラント 1 0 の外部施設で算出されるリアルタイムの需給予測情報 2 1 を、ネットワーク経由で取得する（図 2 及び 3 参照）。なお、本実施例では、ステップ S 2 の処理をステップ S 1 より先に実行してもよいし、ステップ S 2 の処理をステップ S 1 の処理と並行して実行してもよい。

【 0 0 4 4 】

次いで、制御部 1 1 は、定格回転速度から実回転速度を減算して、速度偏差 ΔV を算出する（ステップ S 3）。この算出処理は、図 5 中の減算ブロック 3 1（減算部）で実行される演算処理に対応する。なお、定格回転速度の情報は、予め、タービン制御装置 7 内の第 1 記憶部 1 2 に記憶されており、蒸気タービン 2 の調速負荷制御時には、第 1 記憶部 1 2 から第 2 記憶部 1 3 に読み出されて使用される。

【 0 0 4 5 】

次いで、制御部 1 1 は、取得した実回転速度に基づいて、系統周波数（実回転速度）の変動に対応する調定率の変動成分値（以下、第 1 寄与値 R_1 という）を算出する（ステップ S 4）。また、制御部 1 1 は、取得した系統情報に基づいて、系統の運転状況の変動（負荷変動）に対応する調定率の変動成分値（以下、第 2 寄与値 R_2 という）を算出する（ステップ S 5）。なお、本実施例では、ステップ S 5 の処理をステップ S 4 より先に実行してもよいし、ステップ S 5 の処理をステップ S 4 の処理と並行して実行してもよい。

【 0 0 4 6 】

次いで、制御部 1 1 は、第 1 寄与値 R_1 及び第 2 寄与値 R_2 を用いて、可変調定率 R_v

10

20

30

40

50

を算出する（ステップS6）。ステップS4～ステップS6の一連の算出処理は、図5中の可変調定率算出ブロック32（可変調定率算出部）で実行される演算処理に対応する。なお、ステップS4～ステップS6で行う可変調定率 R_v の算出処理については、後で、図面を参照しながら詳述する。

【0047】

次いで、制御部11は、ステップS3で算出した速度偏差 ΔV に、ステップS6で算出した可変調定率 R_v の逆数、すなわち、可変ゲイン $G_v (= 1 / R_v)$ を乗算して、速度調整信号 $\Delta S_v (= G_v \cdot \Delta V)$ を算出する（ステップS7）。この算出処理は、図5中のゲイン乗算ブロック33（速度調整信号生成部）で実行される演算処理に対応する。

【0048】

次いで、制御部11は、速度調整信号 $\Delta S_v (= G_v \cdot \Delta V)$ にガバナ設定信号 S_0 を加算して、調速負荷制御信号 $S_v (= S_0 + \Delta S_v)$ を算出する（ステップS8）。この算出処理は、図5中の加算ブロック34（加算部）で実行される演算処理に対応する。なお、ガバナ設定信号 S_0 の情報は、予め、タービン制御装置7内の第1記憶部12に記憶されており、蒸気タービン2の調速負荷制御時には、第1記憶部12から第2記憶部13に読み出されて使用される。

【0049】

そして、制御部11は、ステップS8で生成した調速負荷制御信号 S_v から対応する加減弁開度を計算し、該加減弁開度を出力部16を介して加減弁4に出力し、該調速負荷制御信号 S_v に基づいて加減弁4の開度、すなわち、蒸気タービン2の回転速度（系統周波数）を制御する（ステップS9）。本実施例のタービン制御装置7では、このようにして、蒸気タービン2の調速負荷制御を行う。

【0050】

[可変調定率の算出及び調節手法]

(1) 可変調定率の算出手法

次に、図6中のステップS4～ステップS6で行う可変調定率 R_v の算出処理を、図7を参照しながらより詳細に説明する。なお、図7は、可変調定率 R_v の算出アルゴリズムを示す図であり、図5中の可変調定率算出ブロック32で実行される演算処理のアルゴリズムを示す図である。

【0051】

なお、図7中の第1寄与値 R_1 の算出ブロック32a（第1寄与値算出部）における演算処理は、図6中のステップS4の処理に対応する。図7中の第2寄与値 R_2 の算出ブロック32b（第2寄与値算出部）における演算処理は、図6中のステップS5の処理に対応する。また、図7中の可変調定率 R_v の計算ブロック32c（可変調定率計算部）における演算処理は、図6中のステップS6の処理に対応する。

【0052】

本実施例では、図7に示すように、可変調定率 R_v の計算ブロック32cにおける演算処理（ステップS6の処理）において、第1寄与値 R_1 及び第2寄与値 R_2 だけでなく、ベース調定率 R_0 を用いて、可変調定率 R_v を算出する。具体的には、可変調定率 R_v の計算ブロック32cでは、ベース調定率 R_0 から第1寄与値 R_1 及び第2寄与値 R_2 を減算して、可変調定率 R_v を算出する（ $R_v = R_0 - R_1 - R_2$ ）。なお、ベース調定率 R_0 の情報は、予め、タービン制御装置7内の第1記憶部12に記憶されており、蒸気タービン2の調速負荷制御時には、第1記憶部12から第2記憶部13に読み出されて使用される。

【0053】

(2) 可変調定率の調節手法

次に、本実施例における可変調定率 R_v の調節手法について説明する。本実施例の可変調定率 R_v の調節手法では、系統周波数 f が急激に変化する場合及び／又はそれが予測される場合には、高ゲインの調速負荷制御（高速応答制御）が実行されるように、可変調定率 R_v を小さくする。これにより、系統周波数 f の変動に対する応答性を向上させる。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 4 】

一方、系統周波数 f が緩やかに変化する場合（変化しない場合も含む）及び / 又はそれが予測される場合には、低ゲインの調速負荷制御が実行されるように、可変調定率 R_v を大きくする。これにより、発電プラント 10 の安定性を向上させる。なお、本実施例で、可変調定率 R_v が、約 3 ~ 7 % 程度の範囲で変化するように、各寄与値の可変幅、及び、ベース調定率 R_0 をそれぞれ適宜設定する。

【 0 0 5 5 】

以下に、上述した本実施例の可変調定率 R_v の調節手法を実現するための、第 1 寄与値 R_1 の一算出例及び第 2 寄与値 R_2 の一算出例を、図面を参照しながら具体的に説明する。

10

【 0 0 5 6 】

(3) 第 1 寄与値 R_1 の算出例

図 8 A 及び 8 B を参照しながら、第 1 寄与値 R_1 の一算出例を説明する。図 8 A は、系統周波数 f (6 0 H z) の時間変動特性を示す図であり、図 8 A に示す特性の横軸は時間 t であり、縦軸は速度センサ 6 で検出される蒸気タービン 2 の実回転速度に対応する系統周波数 f である。また、図 8 B は、図 8 A に示す系統周波数 f の時間変動特性に対応する第 1 寄与値 R_1 の時間変動特性を示す図であり、図 8 B に示す特性の横軸は時間 t であり、縦軸は第 1 寄与値 R_1 である。

【 0 0 5 7 】

図 8 A 及び 8 B に示す例では、系統周波数 f の時間に対する変化率が大きくなった場合には、第 1 寄与値 R_1 の絶対値を大きくし、系統周波数 f の時間に対する変化率が小さくなった場合には、第 1 寄与値 R_1 の絶対値を小さくする。また、系統周波数 f が上昇する場合には、第 1 寄与値 R_1 を正の値とし、系統周波数が低下する場合には第 1 寄与値 R_1 を負の値とする。さらに、図 8 A 及び 8 B に示す例では、例えば、系統周波数 f が微小変動する期間は、第 1 寄与値 R_1 の値を 0 に設定する。

20

【 0 0 5 8 】

図 7 中の第 1 寄与値 R_1 の算出ブロック 3 2 a では、このような系統周波数 f と第 1 寄与値 R_1 との関係に基づいて、第 1 寄与値 R_1 が求められる。なお、図 8 A 及び 8 B に示すような系統周波数 f と第 1 寄与値 R_1 との関係は、例えば、過去の実績データに基づいて求められた両者間の関係式（経験式）を用いて規定してもよいし、両者間の対応テーブルを用いて規定してもよい。この場合、両者間の関係式又は対応テーブルは、第 1 記憶部 1 2 に格納される。また、系統周波数 f と第 1 寄与値 R_1 との関係、及び、第 1 寄与値 R_1 の可変幅は、図 8 A 及び 8 B に示す例に限定されず、例えば、発電プラント 10 の性能（仕様）、系統の構成（他の発電システムの種別、構成など）等に応じて任意に変更することができる。

30

【 0 0 5 9 】

なお、図 8 A 及び 8 B には、説明の便宜上、系統周波数 f の時間変動特性と第 1 寄与値 R_1 の時間変動特性との関係を用いて第 1 寄与値 R_1 を算出する例を示した。しかしながら、上述のように、系統周波数 f と蒸気タービン 2 の回転速度とは一対一で対応するので、速度センサ 6 で検出される蒸気タービン 2 の実回転速度の時間変動特性と第 1 寄与値 R_1 の時間変動特性との関係も、図 8 A 及び 8 B に示す関係と同様になる。それゆえ、第 1 寄与値 R_1 を算出する際には、系統周波数 f の時間変動特性と第 1 寄与値 R_1 の時間変動特性との関係の代わりに、速度センサ 6 で検出される蒸気タービン 2 の実回転速度の時間変動特性と第 1 寄与値 R_1 の時間変動特性との関係を使用してもよい。

40

【 0 0 6 0 】

(4) 第 2 寄与値 R_2 の算出例

次に、図 9 A 及び 9 B を参照しながら、第 2 寄与値 R_2 の一算出例を説明する。なお、図 9 A は、需要予測値 P の時間変動特性（需要予測カーブ）を示す図であり、図 9 A に示す特性の横軸は時間 t であり、縦軸は需要予測値 P である。また、図 9 B は、図 9 A に示す需要予測値 P の時間変動特性に対応する第 2 寄与値 R_2 の時間変動特性を示す図であり

50

、図 9 B に示す特性の横軸は時間 t であり、縦軸は第 2 寄与値 R_2 である。

【 0 0 6 1 】

図 9 A 及び 9 B に示す例では、需要予測値 P の変化率が大きくなると予測される場合には、第 2 寄与値 R_2 の絶対値を大きくする。一方、需要予測値 P の変化率が小さくなると予測される場合には、第 2 寄与値 R_2 の絶対値を小さくする。また、本実施例では、需要予測値 P が上昇する場合には、第 2 寄与値 R_2 を正の値とし、需要予測値 P が低下する場合には第 2 寄与値 R_2 を負の値とする。

【 0 0 6 2 】

図 7 中の第 2 寄与値 R_2 の算出ブロック 3 2 b では、このような需要予測値 P と第 2 寄与値 R_2 との関係に基づいて、第 2 寄与値 R_2 が求められる。なお、図 9 A 及び 9 B に示すような需要予測値 P と第 2 寄与値 R_2 との関係は、例えば、過去の実績データに基づいて求められた両者間の関係式（経験式）を用いて規定してもよいし、両者間の対応テーブルを用いて規定してもよい。この場合、両者間の関係式又は対応テーブルは、第 1 記憶部 1 2 に格納される。また、需要予測値 P と第 2 寄与値 R_2 との関係、及び、第 2 寄与値 R_2 の可変幅は、図 9 A 及び 9 B に示す例に限定されず、例えば、発電プラント 1 0 の性能（仕様）、系統の構成（他の発電システムの種別、構成など）等に応じて任意に変更することができる。

【 0 0 6 3 】

上述のようにして、第 1 寄与値 R_1 及び第 2 寄与値 R_2 を算出した場合、系統周波数 f 及び / 又は需要予測値 P の変化率が高くなると、第 1 寄与値 R_1 及び / 又は第 2 寄与値 R_2 が大きくなる。この結果、可変調定率 R_v が小さくなり、可変ゲイン G_v が大きくなる。すなわち、本実施例において、系統周波数 f が急激に変化する場合及び / 又はそれが予測される場合には、蒸気タービン 2 の制御は、高ゲインの調速負荷制御（高速応答制御）となる。

【 0 0 6 4 】

一方、系統周波数 f 及び / 又は需要予測値 P の変化率が低い場合には、第 1 寄与値 R_1 及び / 又は第 2 寄与値 R_2 が小さくなる。この結果、可変調定率 R_v が大きくなり、可変ゲイン G_v が小さくなる。すなわち、本実施例において、系統周波数 f が緩やかに変化する場合及び / 又はそれが予測される場合には、蒸気タービン 2 の制御は、低ゲインの調速負荷制御となる。

【 0 0 6 5 】

このような調速負荷制御手法を実行した場合に得られる系統周波数 f （60 Hz）の変動特性の一例（制御結果例）を図 1 0 A 及び 1 0 B を参照しながら説明する。なお、図 1 0 A は、本実施例の調速負荷制御手法を採用しない場合における系統周波数 f の時間変動特性の模式図であり、図 1 0 B は、本実施例の調速負荷制御手法を採用した場合における系統周波数 f の時間変動特性の模式図である。なお、各図の横軸は時間 t であり、縦軸は系統周波数 f である。

【 0 0 6 6 】

図 1 0 A 及び 1 0 B に示すように、本実施例の調速負荷制御手法を採用した場合には、系統周波数 f が急激に変化する時間帯において、系統周波数 f の変動を大きく抑制することができる。また、本実施例では、系統周波数 f が緩やかに変化する時間帯においても、系統周波数 f の変動をより小さくすることができ、発電プラント 1 0 の安定性を向上させることもできる。

【 0 0 6 7 】

[各種効果]

上述のように、本実施例の調速負荷制御手法では、系統情報（需要予測値 P ）に基づいて調定率を適宜調節しながら蒸気タービン 2 の調速負荷制御を行う。それゆえ、本実施例では、負荷運転中（定格回転速度近傍）であっても、系統の運転状況（負荷の変動状況）に応じて柔軟な系統周波数の調整（安定制御）が可能になる。なお、本実施例では、系統情報として、予測データを用いるので、将来の系統の運転状況を考慮して調速負荷制御を

10

20

30

40

50

行うことができるので、より一層、柔軟な系統周波数の安定制御が可能になる。

【0068】

また、本実施例では、系統の運転状況に応じて、調速負荷制御の応答性能を適宜変化させることができる。それゆえ、上述した比較例で想定される各種課題を解決することができる。具体的には、プラントの安定性を優先し、調速負荷制御の応答性能を下げて発電プラント10の設備の長寿命化、燃焼の安定化を実現することができる。さらに、本実施例では、系統情報（需要予測値P）を用いて調速負荷制御を行うので、例えば、太陽光発電、風力発電などの天候等により供給電力量が大きく変動する発電システムが多く繋がる系統においても、系統周波数の安定性を向上させることができる。

【実施例2】

10

【0069】

次に、実施例2に係るタービン制御装置及びそのタービン制御手法について説明する。なお、本実施例では、上記実施例1の蒸気タービンの調速負荷制御手法（制御アルゴリズム）とは異なる調速負荷制御手法（制御アルゴリズム）を用いる。しかしながら、発電プラントの構成、及び、タービン制御装置の構成は、上記実施例1のそれら（図2及び4）と同様である。それゆえ、ここでは、蒸気タービンの調速負荷制御手法についてのみ、図11及び12を参照しながら説明する。

【0070】

図11は、本実施例における蒸気タービンの調速負荷制御の制御アルゴリズムを示す図である。また、図12は、本実施例における可変調定率Rvの算出アルゴリズムを示す図であり、図11中の可変調定率算出ブロック35で実行される演算処理のアルゴリズムを示す図である。なお、図11及び12に示す本実施例の調速負荷制御の制御アルゴリズムにおいて、上記実施例1（図5及び7）の調速負荷制御の制御アルゴリズムと同様の構成には、同じ符号を付して示す。

20

【0071】

図11と図5との比較、並びに、図12と図7との比較から明らかなように、本実施例では、可変調定率Rvを系統情報のみに基づいて調節する（変化させる）。すなわち、本実施例では、調定率の変動成分値としては、系統情報に基づいて算出される第2寄与値R2のみを用い、実回転速度（系統周波数）の変動に対応する第1寄与値R1を使用しない。

30

【0072】

それゆえ、本実施例の調速負荷制御手法では、図6中のステップS4の処理（実回転速度に基づいて第1寄与値R1を算出する処理）は省略される。そして、本実施例では、第1寄与値R1を算出しないこと以外は、上記実施例1と同様にして、可変調定率Rvを算出して、蒸気タービンの調速負荷制御を行う。

【0073】

上述のように、本実施例の調速負荷制御手法においても、系統情報に基づいて調定率を適宜調節しながら蒸気タービンの調速負荷制御を行うので、上記実施例1と同様の各種効果が得られる。なお、上記実施例1では、系統周波数fの変動に対応する第1寄与値R1も考慮して可変調定率Rvを算出するので、系統周波数fの急激な変動に対する応答性の観点では、実施例1の調速負荷制御手法の方が、実施例2のそれより有利である。

40

【0074】

[各種変形例]

本発明の構成は、上記各種実施例で説明した構成に限定されず、例えば、次のような各種変形例も含まれる。

【0075】

(1) 変形例1

上記各種実施例では、タービン制御装置7の調速負荷制御処理における蒸気タービン2の回転速度の調整パラメータとして、調定率を用いる例を説明したが、本発明はこれに限定されない。例えば、蒸気タービン2の回転速度の調整パラメータとして、ゲインを用い

50

てもよい。

【 0 0 7 6 】

この場合には、系統周波数 f の実測値（蒸気タービン 2 の実回転速度）及び系統情報（需要予測値）、又は、系統情報のみに基づいて、可変ゲイン G_v を直接調節するような構成にする。具体的には、例えば図 5 中の可変調定率算出ブロック 32 を、ゲイン算出ブロックに変更する。また、この場合、ゲインは調定率の逆数であるので、図 8 A 及び 8 B に示すような系統周波数 f と第 1 寄与値 R_1 との関係、並びに、図 9 A 及び 9 B に示すような需要予測値 P と第 2 寄与値 R_2 との関係も適宜変更する。

【 0 0 7 7 】

（ 2 ）変形例 2

上記各種実施例では、系統情報を外部からネットワークを介して取得する例を説明したが、本発明はこれに限定されない。例えば、予め、系統の需要予測カーブ等の系統情報が、タービン制御装置 7 及び / 又は発電プラント 10 内のデータベースに蓄積されている場合には、タービン制御装置 7 及び / 又は発電プラント 10 内のデータベースから直接、系統情報を取得してもよい。また、この場合、タービン制御装置 7 の構成を、タービン制御装置 7 及び / 又は発電プラント 10 内のデータベースから現状に適した系統情報をオペレータにより適宜選択できるような構成にしてもよい。

【 0 0 7 8 】

（ 3 ）変形例 3

上記各種実施例では、系統情報として、需要予測データ（需要予測カーブ）を用いる例を説明したが、本発明はこれに限定されない。発電プラント 10 が接続されている系統の運転状況に関する情報であれば、任意の情報を系統情報として用いることができる。

【 0 0 7 9 】

例えば、発電プラント 10 が属する系統に太陽光等の自然エネルギーを利用した発電システムが繋がれている場合には、気象情報（気象予測情報も含む）も系統情報として用いることができる。この場合、気象情報を、上述した需要予測データとは別個の系統情報（第 2 の系統情報）として用いてもよいし、需要予測データの代わりに用いてもよい。

【 0 0 8 0 】

前者の場合には、互いに種類の異なる複数の系統情報が、蒸気タービン 2 の調速負荷制御に用いられる。それゆえ、この場合には、気象情報等の第 2 の系統情報に対応する調定率の変動成分値（第 3 寄与値）が別途設けられ、第 2 の系統情報とそれに対応する第 3 寄与値との対応関係を示すデータを用いて、第 3 寄与値が求められる。

【 0 0 8 1 】

（ 4 ）変形例 4

上記各種実施例では、タービン制御装置 7 の調速負荷制御処理をソフトウェアで実現する例を説明したが、本発明はこれに限定されない。例えば、図 5 に示す調速負荷制御の制御アルゴリズムを構成する各種ブロックのうち、可変調定率算出ブロック 32 以外のブロックの全て又は一部をハードウェアで構成してもよい。

【 0 0 8 2 】

（ 5 ）変形例 5

上記各種実施例では、常時、本発明の調速負荷制御処理を実行する例を説明したが、本発明はこれに限定されない。例えば、系統周波数 f が微小変動する期間は上述した調速負荷制御処理を実行しない構成（不感帯を設ける構成）にしてもよい。

【 0 0 8 3 】

（ 6 ）変形例 6

上記各種実施例では、タービン制御プログラム（調速負荷制御プログラム）が、予め、タービン制御装置 7 の第 1 記憶部 12 に実装（記憶）されている例を説明したが、本発明はこれに限定されない。外部から別途、タービン制御装置 7 にタービン制御プログラムを実装して上記調速負荷制御処理を実行する構成にしてもよい。この場合、タービン制御プログラムを、光ディスクや半導体メモリなどの媒体から配布する構成にしてもよいし、イ

10

20

30

40

50

インターネットなどの通信網を介してダウンロードする構成にしてもよい。

【 0 0 8 4 】

(7) 变形例 7

上記各種実施例では、上述したタービン制御装置における調速負荷制御手法を火力発電プラントに適用する例を説明したが、本発明はこれに限定されない。流体の流量を調整して、タービンの回転速度を安定制御する必要がある発電プラントであれば、任意の発電プラントに適用可能である。例えば、蒸気タービンだけでなくガスタービンを用いた発電プラントにも上述した本発明の調速負荷制御手法を適用することができる。

【 0 0 8 5 】

以上、本発明の各種実施例及び各種変形例に係るタービン制御装置及びタービン制御方法を説明したが、本発明の技術的範囲は、特許請求の範囲の記載に基づいて定められるべきであり、上記各種実施例及び各種変形例に限定されない。

【符号の説明】

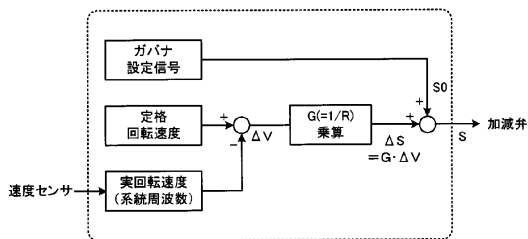
【 0 0 8 6 】

1 ... ボイラー、2 ... 蒸気タービン、3 ... 発電機、4 ... 加減弁、5 ... 配管、6 ... 速度センサ、7 ... タービン制御装置、10 ... 発電プラント、11 ... 制御部、12 ... 第1記憶部、13 ... 第2記憶部、14 ... 回転速度検出部、15 ... 系統情報取得部、16 ... 出力部、17 ... バス、20 ... 系統情報供給源、21 ... 需給予測情報、22 ... VPN、23 ... ルータ、24 ... プラントネットワーク、31 ... 減算ブロック、32, 35 ... 可変調定率算出ブロック、32a ... 第1寄与値の算出ブロック、32b ... 第2寄与値の算出ブロック、32c ... 可変調定率の計算ブロック、33 ... ゲイン乗算ブロック、34 ... 加算ブロック

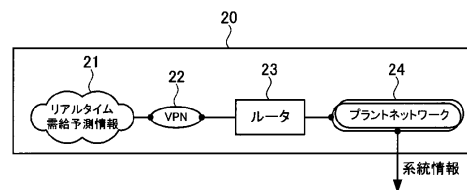
10

20

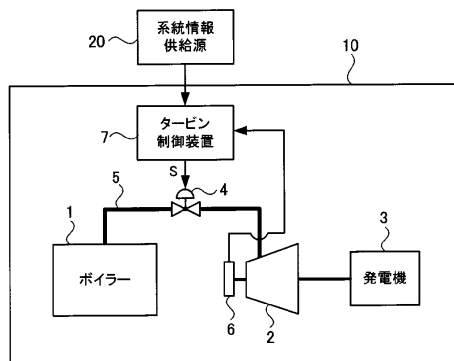
【 図 1 】



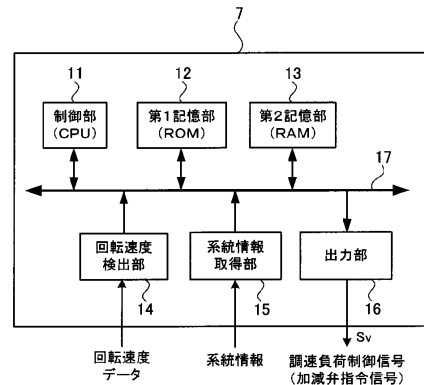
【 図 3 】



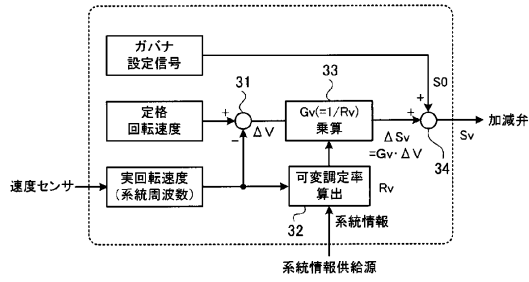
【圖 2】



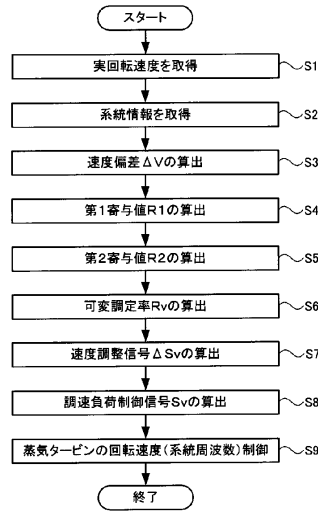
【 図 4 】



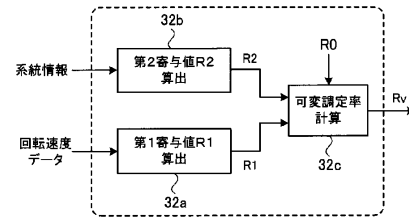
【図 5】



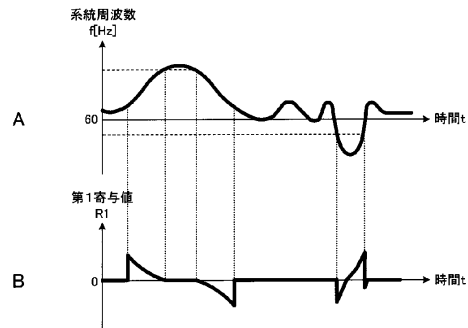
【図 6】



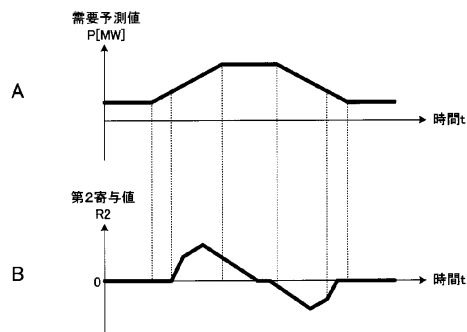
【図 7】



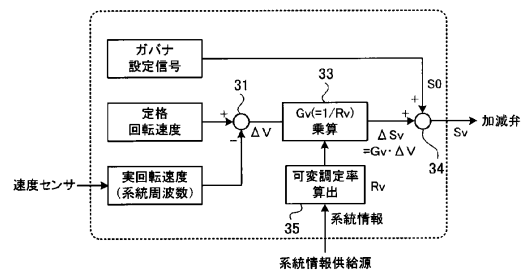
【図 8】



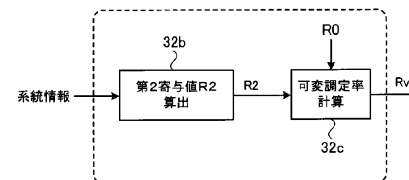
【図 9】



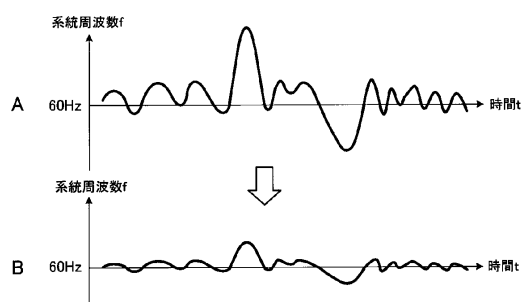
【図 11】



【図 12】



【図 10】



フロントページの続き

(72)発明者 戸村 孝

茨城県日立市大みか町五丁目2番1号 株式会社日立製作所 情報制御システム事業部内

審査官 米澤 篤

(56)参考文献 特開平11-324726(JP,A)
特開2004-27890(JP,A)
特開平11-223302(JP,A)
特開昭57-25197(JP,A)
実開昭52-97303(JP,U)
特開昭53-110703(JP,A)
特表2005-539476(JP,A)
特開2001-82105(JP,A)
特開2012-31852(JP,A)
特開平7-26906(JP,A)
特開平10-127099(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F01D 17/00
F01D 17/04
F01D 17/20
F01D 25/00