

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2012-117449

(P2012-117449A)

(43) 公開日 平成24年6月21日(2012.6.21)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
FO2C 9/28 (2006.01)	FO2C 9/28 C	
FO1D 15/10 (2006.01)	FO1D 15/10 C	

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2010-267718 (P2010-267718)	(71) 出願人	000006208
(22) 出願日	平成22年11月30日 (2010.11.30)		三菱重工業株式会社
			東京都港区港南二丁目16番5号
		(74) 代理人	100112737
			弁理士 藤田 考晴
		(74) 代理人	100118913
			弁理士 上田 邦生
		(72) 発明者	岸 真人
			東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内
		(72) 発明者	藤島 泰郎
			東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内

最終頁に続く

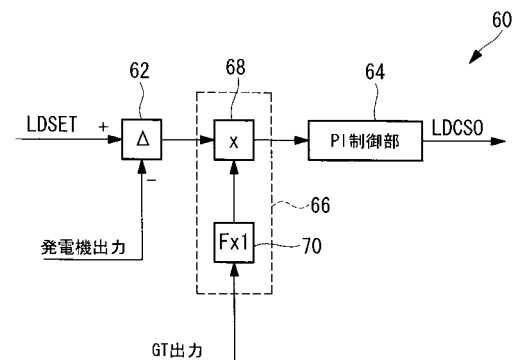
(54) 【発明の名称】 ガスタービン制御装置および発電システム

(57) 【要約】

【課題】 試運転時や負荷併入直後などのような定格負荷よりも低い負荷領域において、発電機出力に発生するハンチングを抑制すること。

【解決手段】 ガスタービンと、少なくともガスタービンの回転動力が伝達されて発電される発電機とを備える発電設備に用いられ、要求負荷に基づいて決定される発電機出力設定値に発電機出力を追従させるための第1燃料制御指令を求める第1制御部を備えるガスタービン制御装置であって、第1制御部はフィードバック制御部60を有し、フィードバック制御部60は、発電機出力設定値に対する発電機出力の偏差を算出する減算部62と、減算部62よりも制御の後段に設けられたPI制御部64と、発電機または該発電機を含む系統の振幅特性のピークを抑制するピーク抑制部66とを備えるガスタービン制御装置を提供する。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

ガスタービンと、少なくともガスタービンの回転動力が伝達されて発電される発電機とを備える発電設備に用いられ、要求負荷に基づいて決定される発電機出力設定値に発電機出力を追従させるための第 1 燃料制御指令を求める第 1 制御手段を備えるガスタービン制御装置であって、

前記第 1 制御手段はフィードバック制御手段を有し、

前記フィードバック制御手段は、

前記発電機出力設定値に対する発電機出力の偏差を算出する減算手段と、

減算手段よりも制御の後段に設けられた比例積分演算手段と、

10

前記発電機または該発電機を含む系統の振幅特性のピークを抑制するピーク抑制手段とを備えるガスタービン制御装置。

【請求項 2】

前記ピーク抑制手段は、

前記減算手段と前記比例積分演算手段との間に設けられ、入力信号に対してゲインを乗算する乗算手段と、

前記ガスタービン出力に応じて前記乗算手段のゲインを調整する第 1 ゲイン調整手段とを備え、

前記第 1 ゲイン調整手段は、定格負荷よりも低い部分負荷のときに与えるゲインを、定格負荷のときに与えるゲインよりも小さく設定する請求項 1 に記載のガスタービン制御装置。

20

【請求項 3】

前記第 1 ゲイン調整手段は、ガスタービン出力の増加に合わせて前記ゲインを増加させる請求項 2 に記載のガスタービン制御装置。

【請求項 4】

前記第 1 制御手段は、

前記発電機出力にハンチングが発生しているか否かを判定するハンチング判定手段と、

前記ハンチング判定手段によってハンチングが発生していると判定された場合に、前記第 1 ゲイン調整手段によって設定されたゲインを減少させる第 2 ゲイン調整手段とを具備する請求項 2 または請求項 3 に記載のガスタービン制御装置。

30

【請求項 5】

前記第 2 ゲイン調整手段は、前記ハンチング判定手段によってハンチングが発生していないと判定された場合に、前記第 1 ゲイン調整手段によって設定されたゲインを増加させる請求項 4 に記載のガスタービン制御装置。

【請求項 6】

前記ピーク抑制手段は、前記振幅特性においてピークが発生している所定の周波数以上の信号を遮断するローパスフィルタを更に備え、フィルタ処理後の発電機出力を前記フィードバック制御手段の前記減算手段に出力する請求項 2 から請求項 5 のいずれかに記載のガスタービン制御装置。

【請求項 7】

40

前記ピーク抑制手段は、前記発電機出力が入力信号として入力され、該入力信号に含まれる、前記振幅特性においてピークが発生している所定の周波数以上の信号を遮断するローパスフィルタを有し、前記減算手段には、前記ローパスフィルタを経由した発電機出力が入力される請求項 1 に記載のガスタービン制御装置。

【請求項 8】

前記ピーク抑制手段は、前記発電機の逆特性モデルの伝達関数が設定された演算手段を有し、該演算手段を経由した発電機出力が前記減算手段に入力される請求項 1 に記載のガスタービン制御装置。

【請求項 9】

ガスタービンと、

50

請求項 1 から請求項 8 のいずれかに記載のガスタービン制御装置とを具備する発電システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ガスタービン制御装置および発電システムに関するものである。

【背景技術】

【0002】

ガスタービン発電設備では、一般的に、発電機出力が電力系統の要求負荷に追従するようにガスタービンへの供給燃料量を制御している。例えば、特許文献 1 には、電力系統の要求負荷に基づいて設定される発電機出力設定値 (L D S E T) に対する発電機出力の偏差を P I 制御器に入力し、この偏差に基づいて比例積分演算を行うことにより、燃料制御弁の開度を制御して発電機出力を調整し、発電機出力を要求負荷に追従させることが開示されている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2 0 1 0 - 1 2 1 5 9 8 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

20

【0004】

ところで、ガスタービン発電設備において、試運転時、あるいは負荷併入直後の低負荷時において、発電機出力にハンチングが発生することがある。しかしながら、従来は、このようなハンチングの主原因が不明であったために、発電機出力のハンチングを解消させるための有効な手法を確立することができなかった。

【0005】

本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであって、試運転時や負荷併入直後などのような定格負荷よりも低い負荷領域において、発電機出力に発生するハンチングを抑制することのできるガスタービン制御装置および発電システムを提供することを目的とする。

30

【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、本発明は以下の手段を採用する。

本発明は、ガスタービンと、少なくともガスタービンの回転動力が伝達されて発電される発電機とを備える発電設備に用いられ、要求負荷に基づいて決定される発電機出力設定値に発電機出力を追従させるための第 1 燃料制御指令を求める第 1 制御手段を備えるガスタービン制御装置であって、前記第 1 制御手段はフィードバック制御手段を有し、前記フィードバック制御手段は、前記発電機出力設定値に対する発電機出力の偏差を算出する減算手段と、減算手段よりも制御の後段に設けられた比例積分演算手段と、前記発電機または該発電機を含む系統の振幅特性のピークを抑制するピーク抑制手段とを備えるガスタービン制御装置を提供する。

40

【0007】

主に低負荷時に発生する発電機出力 (ガスタービン出力) のハンチングの原因を究明するために、発電機並びに発電機を含む発電系統について周波数特性などを解析したところ、図 1 2 に示すように、振幅特性における 1 [H z] 近傍において共振ピークが表れていることがわかり、発電機の回転軸に励起される固有振動数の振動が発電機出力のハンチングの原因であるとの新たな知見を得た。したがって、この共振ピークを抑制することができれば、発電機出力のハンチングを抑制あるいは防止できる。本発明によれば、要求負荷に基づいて決定される発電機出力設定値に発電機出力を追従させるための第 1 燃料制御指令を求める第 1 制御手段において、第 1 制御手段が有するフィードバック制御手段に、発

50

電機または発電機を含む系統の振幅特性のピークを抑制するピーク抑制手段を設けることとしたので、発電機出力のハンチングを抑制し、制御の安定性を向上させることができる。

本発明において、「ガスタービン出力」とは、発電機出力のうち、ガスタービンの回転動力のみが伝達されて発電した発電電力をいう。すなわち、ガスタービンと蒸気タービンとを備えるガスタービンコンバインドサイクルプラント（以下「GTCCプラント」という。）では、発電機出力はガスタービン出力と蒸気タービン出力の合計であるが、この場合の「ガスタービン出力」は発電機出力から蒸気タービン出力を引いた値を意味する。

また、図12に示した振幅特性は、例えば、後述する図5に示したGTCCのモデルから求めたものであり、一例として発電機出力設定値をそれぞれ定格の3[%]、50[%]、100[%]としたときの振幅特性が示されている。

【0008】

上記ガスタービン制御装置において、前記ピーク抑制手段は、前記減算手段と前記比例積分演算手段との間に設けられ、入力信号に対してゲインを乗算する乗算手段と、前記ガスタービン出力に応じて前記乗算手段のゲインを調整する第1ゲイン調整手段とを備え、前記第1ゲイン調整手段は、定格負荷よりも低い部分負荷のときに与えるゲインを、定格負荷のときに与えるゲインよりも小さく設定することとしてもよい。

【0009】

このような構成によれば、例えば、減算手段において発電機出力設定値に対する発電機出力の偏差が求められ、この偏差に対して乗算手段において所定のゲインが乗じられ、ゲインが乗じられた後の偏差が比例積分演算手段に入力されることとなる。この場合において、乗算手段において乗じられるゲインは、第1ゲイン調整手段により、定格負荷よりも低い部分負荷のときに与えられるゲインが、定格負荷のときに与えられるゲインよりも小さく調整される。ここで、図4に示すように、ガスタービン出力が小さい領域（すなわち、部分負荷時）においては、燃料流量に対するガスタービン出力の感度が高く、この出力領域では発電機が振動を励起しやすい。したがって、部分負荷時のゲインを定格負荷時のゲインよりも小さく設定することで、発電機の振動励起を防止でき、発電機出力のハンチングを抑制することができる。

【0010】

上記ガスタービン制御装置において、前記第1ゲイン調整手段は、ガスタービン出力の増加に合わせて前記ゲインを増加させることが好ましい。

【0011】

図4に示すように、ガスタービン出力が増加するほど、燃料流量に対する感度が鈍り、制御が安定する。従って、ガスタービン出力の増加に応じてゲインを増加させることで、制御の安定化を図るとともに、要求負荷から決定される発電機出力設定値への発電機出力の追従性を向上させることができる。

【0012】

上記ガスタービン制御装置において、前記第1制御手段は、前記発電機出力にハンチングが発生しているか否かを判定するハンチング判定手段と、前記ハンチング判定手段によってハンチングが発生していると判定された場合に、前記第1ゲイン調整手段によって設定されたゲインを減少させる第2ゲイン調整手段とを更に備えることとしてもよい。

【0013】

このような構成によれば、ハンチング判定手段によってハンチングが発生しているか否かが判定され、ハンチングが発生している場合には、第2ゲイン調整手段が第1ゲイン調整手段により設定されたゲインを減少させるので、発電機出力のハンチングを確実に解消することができる。

【0014】

上記ガスタービン制御装置において、前記第2ゲイン調整手段は、前記ハンチング判定手段によってハンチングが発生していないと判定された場合に、前記第1ゲイン調整手段によって設定されたゲインを増加させることとしてもよい。

【 0 0 1 5 】

ガスタービン出力にハンチングが発生していなかった場合には、第 1 ゲイン調整手段によって設定されたゲインを増加させる方向に第 2 ゲイン調整手段が調整するので、追従性を更に向上させることができる。

【 0 0 1 6 】

上記ガスタービン制御装置において、前記ピーク抑制手段は、前記振幅特性においてピークが発生している所定の周波数以上の信号を遮断するローパスフィルタを更に備え、フィルタ処理後の発電機出力を前記フィードバック制御手段の前記減算手段に出力することとしてもよい。

【 0 0 1 7 】

例えば、図 1 2 に示した振幅特性から、1 [H z] 近傍においてピークが発生していることがわかる。したがって、ローパスフィルタにより、少なくともピークが発生している周波数以上の高周波成分が遮断された発電機出力を入力信号として減算手段に入力させることにより、共振ピークを効果的に抑制することができる。また、ガスタービンの出力制御において必要な周波数帯域は約 0 . 2 [H z] 以下であり、ガスタービンの出力制御に必要なとされない周波数成分を遮断するため、出力制御に影響を与えることもない。

【 0 0 1 8 】

また、本発明のガスタービン制御装置において、前記ピーク抑制手段は、前記ガスタービン出力が入力信号として入力され、該入力信号に含まれる、前記振幅特性においてピークが発生している所定の周波数以上の信号を遮断するローパスフィルタを有し、前記減算手段には、前記ローパスフィルタを経由した発電機出力が入力されることとしてもよい。

【 0 0 1 9 】

例えば、図 1 2 に示した振幅特性から、1 [H z] 近傍においてピークが発生していることがわかる。したがって、ローパスフィルタにより、少なくともピークが発生している周波数以上の高周波成分が遮断された発電機出力を入力信号として減算手段に入力させることにより、共振ピークを効果的に抑制することができる。また、ガスタービンの出力制御において必要な周波数帯域は約 0 . 2 [H z] 以下であり、ガスタービンの出力制御に必要なとされない周波数成分を遮断するため、出力制御に影響を与えることもない。

【 0 0 2 0 】

上記ガスタービン制御装置において、前記ピーク抑制手段は、前記発電機の逆特性モデルの伝達関数が設定された演算手段を有し、該演算手段を経由した発電機出力が前記減算手段に入力されることとしてもよい。

【 0 0 2 1 】

このような構成によれば、演算手段を経由することにより、発電機固有の成分が除去され、機械出力の成分のみが残される。そして、発電機固有の情報が除去された機械出力の推定信号が入力信号としてフィードバック制御手段の減算手段に入力される。このように、ハンチングの原因となる発電機の特性を除去することにより、図 1 2 に示した振幅特性のピークをなくすことができ、ガスタービン出力のハンチングを抑制することができる。

【 0 0 2 2 】

本発明は、ガスタービンと、上記のいずれかに記載のガスタービン制御装置とを具備する発電システムを提供する。

【 発明の効果 】

【 0 0 2 3 】

本発明によれば、定格負荷よりも低い負荷で発生する発電機出力のハンチングを抑制することができるという効果を奏する。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 4 】

【 図 1 】 本発明の第 1 実施形態に係るガスタービンコンバインドサイクルプラントの全体構成図である。

【 図 2 】 図 1 に示した第 1 制御部の機能ブロック図を示した図である。

10

20

30

40

50

【図 3】ガスタービン出力とゲインとが関係付けられた第 1 情報の一例を示した図である。

【図 4】燃料流量とガスタービン出力の特性を示す特性図である。

【図 5】G T C C を 4 つの部位に分けた線形化モデルを示した図である。

【図 6】本発明の第 1 実施形態に係るガスタービン制御装置において、フィードバック制御部がピーク抑制部を有さない場合と有する場合における発電機出力及びガスタービンと蒸気タービンの機械出力のシミュレーション結果を比較して示した図である。

【図 7】本発明の第 2 実施形態に係るガスタービン制御装置が備える第 1 制御部の機能ブロック図である。

【図 8】図 7 に示した第 1 関数部が備える偏差の絶対値とゲインとが関連付けられたテーブルを示した図である。

【図 9】本発明の第 3 実施形態に係るガスタービン制御装置が備える第 1 制御部の機能ブロック図である。

【図 10】本発明の他の実施形態に係るガスタービン制御装置が備える第 1 制御部の機能ブロック図である。

【図 11】本発明の第 4 実施形態に係るガスタービン制御装置が備える第 1 制御部の機能ブロック図である。

【図 12】発電機を含む系統の振幅特性の一例を示した図である。

【発明を実施するための形態】

【0025】

以下に、本発明に係るガスタービンの制御装置及び発電システムの実施形態について、図面を参照して説明する。

【0026】

〔第 1 実施形態〕

以下、本発明の第 1 実施形態について、図を参照して説明する。

図 1 は、第 1 実施形態に係る G T C C プラントの全体構成図である。G T C C プラントは、ガスタービン 12、蒸気タービン 14、及び発電機 16 を備える。

【0027】

ガスタービン 12 は、圧縮機 20、燃焼器 22、及びタービン 24 を備える。

圧縮機 20 は、回転軸 26 により駆動されることで、空気取込口から取り込まれた空気を圧縮して圧縮空気を生成する。燃焼器 22 は、圧縮機 20 から車室 28 へ導入された圧縮空気に燃料を噴射して高温・高圧の燃焼ガスを発生させる。タービン 24 は、燃焼器 22 で発生した燃焼ガスによって回転駆動する。

【0028】

車室 28 と燃焼器 22 との間にはバイパス管 30 が設けられており、バイパス管 30 は、タービン 24 の出力変動により燃焼器 22 内の空気が不足する状態になった場合に、燃焼器バイパス弁 32 が開かれると車室 28 内の空気を燃焼器 22 内に導入する流路となる。また、圧縮機 20 とタービン 24 との間には、圧縮機 20 からタービン 24 へ冷却用の空気を導入させるための抽気管 34 が設けられている。

【0029】

蒸気タービン 14 は、タービン 24 の排ガスから熱回収して蒸気を発生させ、該蒸気によって回転駆動する。タービン 24、蒸気タービン 14、圧縮機 20、及び発電機 16 は、回転軸 26 によって連結され、タービン 24 及び蒸気タービン 14 に生じる回転動力は、回転軸 26 によって圧縮機 20 及び発電機 16 に伝達される。そして、発電機 16 は、タービン 24 及び蒸気タービンの回転動力によって発電する。

【0030】

また、燃焼器 22 には、燃料を供給する燃料供給配管 36 が接続されている。燃料供給配管 36 には、圧力調整弁 40 で流量調整弁 42 前後の差圧が調整され、流量調整弁 42 で流量が調整された燃料が供給される。燃焼器 22 は、燃料供給配管 36 から供給された燃料と圧縮空気とを混合させて燃焼させる。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 1 】

ガスタービン制御装置 4 4 は、流量制御部 4 6 と圧力制御部 4 8 とを備えている。流量制御部 4 6 は、ガスタービン 1 2 の運転状態及び温度状態に関する状態量を入力信号として取得し、これらの入力信号に基づいて燃焼器 2 2 に供給する燃料流量を制御するための燃料流量指令 C S O を演算する。運転状態に関する状態量としては、例えば、ガスタービン 1 2 の出力、回転数が、温度状態に関する状態量としては、例えば排ガス温度がそれぞれ一例として挙げられる。具体的には、流量制御部 4 6 は、要求負荷に基づいて決定される発電機出力設定値に発電機出力を追従させるための第 1 燃料制御指令を求める第 1 制御部 5 0 の他、ガスタービン 1 2 の回転数を所定の回転数指令に追従させるための第 2 燃料制御指令を求める第 2 制御部 5 2、排ガス温度が所定の排ガス温度上限値を超えないよう

10

【 0 0 3 2 】

そして、これら各制御部 5 0、5 2、5 4 において求められた第 1 燃料制御指令から第 3 燃料制御指令を参照して、最終的な燃料制御指令 C S O が決定される。そして、この燃料制御指令 C S O に基づいて流量調整弁 4 2 の弁開度が制御される。

圧力制御部 4 8 は、燃焼器 2 2 へ供給される燃料圧力を目標燃料圧力に一致させるための圧力調整弁の制御量を求める。

【 0 0 3 3 】

図 2 は、上述したガスタービン制御装置 4 4 における流量制御部 4 6 の第 1 制御部 5 0 の機能ブロック図を示した図である。図 2 に示すように、第 1 制御部 5 0 は、要求負荷に基づいて決定される発電機出力設定値に発電機出力を追従させるための第 1 燃料制御指令を求めるフィードバック制御部 6 0 を備えている。

20

【 0 0 3 4 】

フィードバック制御部 6 0 は、減算部 6 2、P I 制御部 6 4、部分負荷運転時などに発生する発電機出力のハンチングを抑制するためのピーク抑制部 6 6 が組み込まれている。ピーク抑制部 6 6 は、発電機 1 6 または該発電機 1 6 を含む系統の振幅特性のピークを抑制する機能を有しており、具体的には、乗算部 6 8 と、乗算部 6 8 で用いるゲインを調節する第 1 ゲイン調整部 7 0 とを備えている。

【 0 0 3 5 】

図 2 において、減算部 6 2 は、発電機出力設定値に対する発電機出力の偏差を算出する。ここで、「ガスタービン出力」とは、タービン 2 4 による回転動力が発電機 1 6 に伝達されることにより発電された発電電力をいい、例えば、発電機出力から蒸気タービン出力を引いた値を用いる。減算部 6 2 において算出された偏差は、ピーク抑制部 6 6 の乗算部 6 8 に入力される。乗算部 6 8 は、第 1 ゲイン調整部 7 0 から与えられた所定のゲインを減算部 6 2 からの偏差に乘じ、この算出結果を P I 制御部 6 4 に出力する。P I 制御部 6 4 は、乗算部 6 8 からの出力結果に対して比例積分演算を行うことにより第 1 燃料制御指令を求め、求めた第 1 燃料制御指令を出力する。この第 1 燃料制御指令は、上述したように、後続する処理に受け渡され、この第 1 燃料制御指令が参照されて流量調整弁 4 2 (図 1 参照) の弁開度調整量を決定する際の一つの要素として用いられる。

30

【 0 0 3 6 】

第 1 ゲイン調整部 7 0 は、図 3 に示すように、ガスタービン出力とゲインとが関係付けられた第 1 情報を有しており、この第 1 情報からガスタービン出力に応じたゲインを取得する。ゲインは、部分負荷のときに与えるゲインが定格負荷のときに与えるゲインよりも小さいように設定されている。部分負荷は、定格負荷よりも低い負荷をいい、具体的には、定格負荷の 5 0 % 以下の負荷領域をいう。また、より好ましくは、ガスタービン出力の増加に合わせて、ゲインを増加させるとよい。

40

【 0 0 3 7 】

ここで、図 4 に燃料流量とガスタービン出力の特性を示す。図 4 において、横軸は燃料流量、縦軸はガスタービン出力である。図 4 に示すように、燃料流量が小さいときは、ガスタービン出力の傾斜は大きく、燃料流量が大きくなるにつれ、ガスタービン出力の傾き

50

が小さくなっている。従って、図 4 のグラフから燃料流量が小さい領域ほどガスタービン出力の感度が高く、ガスタービン出力（負荷）が変動しやすいことがわかる。従って、燃料流量に対するガスタービン出力の感度が高い領域においては定格時よりもゲインを低く設定することにより、制御の安定性を高め、負荷のハンチングを抑制することができる。また、定格負荷または定格負荷に近い領域においては出力が安定していることから、ゲインを高く設定し、追従性の向上を図っている。

【 0 0 3 8 】

また、第 1 ゲイン調整部 7 0 におけるゲインは、発電機 1 6 を含む系統の線形解析により適切な値に設定されている。以下、ゲインの設定方法について説明する。

まず、図 5 に示すように G T C C をガスタービン制御装置、燃料系統、ガスタービンおよび蒸気タービン、発電機の 4 つの部位に分割し、それぞれの線形化モデルを得る。以下に、各部位の線形化モデルの伝達関数の一例を示す。

10

【 0 0 3 9 】

【 数 1 】

ガスタービン制御装置（第 1 制御部）：

$$y = a \times K \left(1 + \frac{1}{Ts} \right) \times b(MWe - LDSET) \quad (1)$$

燃料系統：

20

$$y = \frac{k_{fp}}{T_{fp}s + 1} \times \frac{-(L_{fp}/2)s + 1}{(L_{fp}/2)s + 1} x \quad (2)$$

ガスタービン及び蒸気タービン：

$$y = k_{gs} \times \frac{\omega_{gs}^2}{s^2 + 2\zeta_{gs}s + \omega_{gs}^2} x \quad (3)$$

発電機：

30

$$y = k_{gen} \times \frac{\omega_{gen}^2}{s^2 + 2\zeta_{gen}s + \omega_{gen}^2} x \quad (4)$$

【 0 0 4 0 】

上記（ 1 ）式のガスタービン制御装置のモデルにおいて、 a は P I 制御部におけるゲイン、 b は乗算部のゲイン、 K は P I 制御部のゲイン、 T は P I 制御部の積分時定数、 MWe は発電機出力、 $LDSET$ は発電機出力設定値である。（ 2 ）式の燃料系統のモデルにおいて、 k_{fp} は燃料流量指令 C S O から実燃料流量までのゲイン、 T_{fp} は燃料系統の時定数、 L_{fp} は燃料系統のむだ時間である。（ 3 ）式のガスタービン及び蒸気タービンのモデルにおいて、 k_{gs} は燃料流量から出力までのゲイン、 ζ_{gs} はガスタービン及び蒸気タービンの減衰定数、 ω_{gs} はガスタービン及び蒸気タービンの角周波数である。（ 4 ）式の発電機のモデルにおいて、 k_{gen} は機械出力から発電機出力までのゲイン、 ζ_{gen} は発電機の減衰定数、 ω_{gen} は発電機の角周波数である。

40

【 0 0 4 1 】

続いて、上記伝達関数を用いて一巡伝達関数を求め、ボード線図を作成し、振幅特性、位相特性を得る。そして、（ 1 ）式におけるガスタービン出力 MWe 、ゲイン b の値を振りながら複数の振幅特性及び位相特性（周波数応答特性）を得、これらの結果から各ガスタービン出力におけるピークゲイン [d B]、ゲイン余裕 [d B]、位相余裕 [d e g] がそれぞれに設定されている所定の条件を全て満たすようなゲイン b を最適ゲインとして

50

抽出する。そして、抽出した最適ゲイン b とガスタービン出力とを関連付けることにより図 3 に示した第 1 情報を作成する。なお、図 1 2 に示した振幅特性も上述の方法で得たものである。

【0042】

以上説明してきたように、本実施形態に係るガスタービン制御装置によれば、始動時や負荷併入時などのガスタービン出力が低いときには、定格負荷時と比較して小さいゲインを発電機出力設定値に対する発電機出力の偏差に乗じるので、発電機出力のハンチングを抑制し、安定した運転を実現することが可能となる。また、ガスタービン出力が上昇するにつれてゲインを高くすることにより、制御安定性を維持しつつ、追従性の向上を図ることができる。

10

【0043】

図 6 は、フィードバック制御部 60 がピーク抑制部 66 を有さない場合と有する場合における発電機出力及び機械出力のシミュレーション結果を比較して示した図である。図 6 に示すように、ピーク抑制部を備えていない場合には、ハンチングが持続しているが、ピーク抑制部を備える場合には、ハンチングが徐々に減衰し、所定時間経過後には安定した出力が得られることがわかる。このように、本実施形態に係るガスタービン制御装置によれば、発電機出力のハンチングを抑制できることがわかる。

【0044】

〔第 2 実施形態〕

次に、本発明の第 2 実施形態について、図 7 を用いて説明する。図 7 に示すように、本実施形態に係るガスタービン制御装置は、上記第 1 実施形態に係るガスタービン制御装置における第 1 制御部がハンチング判定部 72 及び第 2 ゲイン調整部 74 を更に備えている。ハンチング判定部 72 は、発電機出力にハンチングが発生しているか否かを判定する手段であり、例えば、発電機出力推定部 76、減算部 78、及び比較部 80 を備えている。発電機出力推定部 76 は、ガスタービンおよび蒸気タービンの動特性モデルを有しており、入力信号として入力される燃料流量指令 CSO (図 1 に示した燃料制御部 46 から出力される燃料流量指令) などから発電機出力を推定する。減算部 78 は、発電機出力推定部 76 から出力された発電機出力推定値に対する発電機出力の偏差 ΔMW を算出する。比較部 80 は、減算部 78 において算出された偏差 ΔMW が予め設定されている所定の閾値以上か否かを判定し、閾値以上の場合に Hi 信号を、閾値未満の場合に Lo 信号を出力する。

20

30

【0045】

第 2 ゲイン調整部 74 は、第 1 関数部 82、第 2 関数部 84、及びゲイン切換部 86 を主な構成として備えている。第 1 関数部 82 は、ハンチング判定部 72 の減算部 78 の出力である偏差 ΔMW の絶対値が入力され、該絶対値 $|\Delta MW|$ に応じたゲインを出力する。例えば、第 1 関数部 82 には、図 8 に示すように偏差の絶対値 $|\Delta MW|$ が所定の値 c 以下を不感帯とし、 c 以上 d 未満の領域において、偏差の絶対値が大きいほど負のゲインを増加させ、 d 以上の領域において負のゲインを一定とする関数が設定されている。一方、第 2 関数部 84 は、予め設定されている所定のゲイン $+ \varepsilon$ を出力する。ゲイン切換部 86 は、ハンチング判定部 72 によってハンチングが発生していると判定された場合、すなわち、比較部 80 から Hi 信号が入力された場合に第 1 関数部 82 から出力されたゲインを選択して出力し、ハンチングが発生していないと判定された場合、すなわち、比較部 80 から Lo 信号が入力された場合に第 2 関数部 84 から出力されたゲインを選択して出力する。

40

【0046】

ゲイン切換部 86 から出力されたゲインは、上下限值を設定した積分器を経由してフィードバック制御部 60 に設けられた乗算部 68 に出力される。これにより、ガスタービン出力設定値に対するガスタービン出力の偏差に対して、第 1 ゲイン調整部 70 から出力されたゲインと第 2 ゲイン調整部 74 から出力されたゲインの 2 つのゲインが乗算され、その算出結果が PI 制御部 64 に出力される。

50

【 0 0 4 7 】

このように、本実施形態に係るガスタービン制御装置によれば、発電機出力がハンチングしている場合には、第 2 ゲイン調整部 7 4 が第 1 ゲイン調整部 7 0 で設定されたゲインを減少させるので、ハンチングを抑制する方向にゲインを調整することができ、ガスタービン出力のハンチングを確実に止めることができる。また、ハンチングが発生していない場合には、安定した制御が実現されていると判断して、第 1 ゲイン調整部 7 0 で設定されたゲインを増加させるので、追従性を向上させることができる。

【 0 0 4 8 】

〔 第 3 実施形態 〕

次に、本発明の第 3 実施形態について、図を用いて説明する。本実施形態に係るガスタービン制御装置は、第 1 制御部のフィードバック制御部が備えるピーク抑制部の構成が上述した第 1 実施形態とは異なる。以下、第 1 実施形態と異なる点について主に説明する。

【 0 0 4 9 】

図 9 は、本発明の第 3 実施形態に係る第 1 制御部の機能ブロック図を示した図である。本実施形態に係る第 1 制御部は、ローパスフィルタ 9 0 をピーク抑制部 6 6 a として備えている。図 1 2 に示した振幅特性から 1 [H z] 近傍においてピークが発生していることがわかる。したがって、本実施形態では、振幅特性においてゲインピークが現れている 1 [H z] 以上の周波数帯域をカットするローパスフィルタをピーク抑制部 6 6 a として採用する。ローパスフィルタ 9 0 には、例えば、以下の (5) 式で表わされる一次遅れ要素の伝達関数が設定されている。

【 0 0 5 0 】

【 数 2 】

$$y = \frac{1}{Ts + 1} x \quad (5)$$

【 0 0 5 1 】

上記 (5) 式において、時定数 T は 0 . 3 以上 0 . 6 以下程度に設定するとよい。

図 9 に示されるフィードバック制御部 6 0 a においては、発電機出力がローパスフィルタ 9 0 に入力され、約 1 [H z] 以上の高周波帯域の信号が遮断されたガスタービン出力が減算部 6 2 に入力される。減算部 6 2 では、発電機出力設定値に対するローパスフィルタ通過後の発電機出力の偏差が算出され、P I 制御部 6 4 において、該偏差に対して比例積分演算が行われることにより第 1 燃料流量指令が算出される。

【 0 0 5 2 】

このように、本実施形態に係るガスタービン制御装置によれば、図 1 2 に示した G T C の振幅特性においてピークが現れる周波数帯域を遮断するようなローパスフィルタ 9 0 をピーク抑制部 6 6 a として採用し、ローパスフィルタ通過後の高周波成分が除去された発電機出力と発電機出力設定値との差分に対して P I 制御を実施して第 1 燃料制御指令を作成するので、発電機の固有振動を直接的に抑制することができ、発電機出力のハンチングを効果的に抑制することが可能となる。また、ガスタービン出力制御に必要とされる約 0 . 2 [H z] 近傍の周波数帯域に対しては影響を及ぼさないため、制御の安定性を確保することができる。

【 0 0 5 3 】

なお、図 1 0 に示すように、本実施形態に係るガスタービン制御装置と第 1 実施形態に係るガスタービン制御装置とを組み合わせることとしてもよい。この場合、ローパスフィルタ 9 0 によって高周波成分が遮断された発電機出力と発電機出力設定値との差分が減算部 6 2 において算出され、この差分に対して乗算部 6 8 においてガスタービン出力に応じたゲインが乗じられ、その算出結果に基づいて P I 制御が行われることにより、第 1 燃料制御指令が求められる。

【 0 0 5 4 】

このような構成によれば、約 1 [H z] 以下の低周波数帯域においてはゲインが増加す

るので、要求負荷（発電機出力設定値）に対するガスタービン出力の追従性を向上させることができ、かつ、約 1 [Hz] 以上の高周波数帯域においては遮断されることによりピークを抑制することができ、制御の安定性を向上させることができる。

【0055】

〔第 4 実施形態〕

次に、本発明の第 4 実施形態について、図を用いて説明する。本実施形態に係るガスタービン制御装置は、第 1 制御部のフィードバック制御部が備えるピーク抑制部の構成が上述した第 1 実施形態とは異なる。以下、第 1 実施形態と異なる点について主に説明する。

【0056】

図 11 は、本発明の第 4 実施形態に係る第 1 制御部の機能ブロック図を示した図である。本実施形態に係る第 1 制御部は、演算部 92 をピーク抑制部 66c として備えている。具体的には、演算部 92 には、発電機の逆特性モデルの伝達関数が設定されている。例えば、伝達関数は、以下の (6) 式で表わされる。

$$MW_m = \frac{s^2 + (D/M)s + (K/M)\omega_0}{(D/M)s + (K/M)\omega_0} MW_e \quad (6)$$

20

【0058】

上記 (6) 式において、MW_m は機械出力、MW_e は発電機出力、すなわち、ガスタービンの機械出力のみが発電機に伝達されたと仮定したときの発電機出力、D はダンピング係数、K は同期化力係数、M は慣性定数である。

【0059】

ここで、図 12 に示した振幅特性のピークは発電機に固有振動数の振動が励起されることが原因と考えられる。従って、ピーク抑制部 66c として、発電機の逆特性モデルの伝達関数を設定した演算部 92 を設けることにより、出力に含まれる発電機に関する成分を除去することができ、機械出力のみを得ることが可能となる。すなわち、本実施形態に係るフィードバック制御部 60c によれば、発電機出力が演算部 92 に入力され、出力に含まれている発電機に関する成分が除去され、機械出力が推定されて出力される。この機械出力は、減算部 62 に入力され、発電機出力設定値との偏差が算出される。算出された偏差は、PI 制御部 64 に入力され、この偏差に基づいて第 1 燃料制御指令が算出される。

【0060】

以上説明したように、本実施形態に係るガスタービン制御装置によれば、発電機の逆特性モデルに関する伝達関数を演算部 92 に設定することにより、発電機の特性を打ち消し、機械出力をフィードバック制御部 60c の入力信号として用いることができる。この結果、発電機の特性によって発生する振幅特性のピークを除去することができ、発電機を主要原因とする発電機出力のハンチングを抑制することができる。

【符号の説明】

【0061】

- 12 ガスタービン
- 14 蒸気タービン
- 16 発電機
- 42 流量調整弁
- 44 ガスタービン制御装置
- 50 第 1 制御部
- 60, 60a, 60c フィードバック制御部
- 62 減算部
- 64 PI 制御部

10

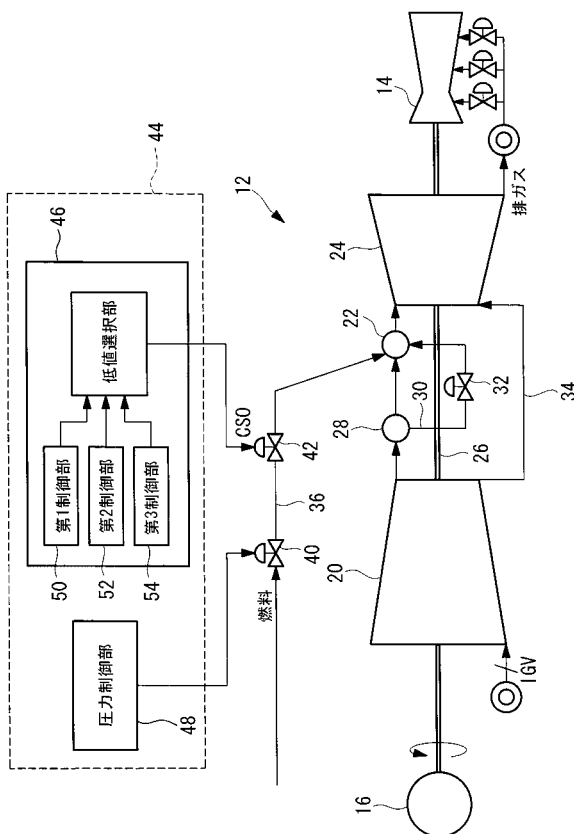
30

40

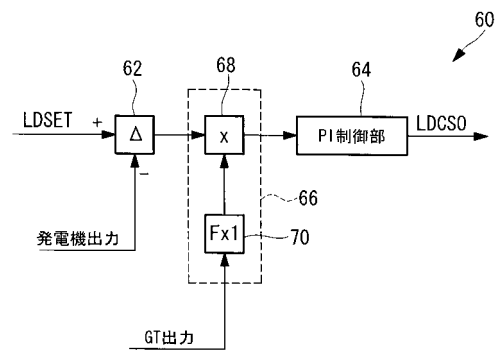
50

- 66, 66a, 66b, 66c ピーク抑制部
 68 乗算部
 70 第1ゲイン調整部
 72 ハンチング判定部
 74 第2ゲイン調整部
 90 ローパスフィルタ
 92 演算部

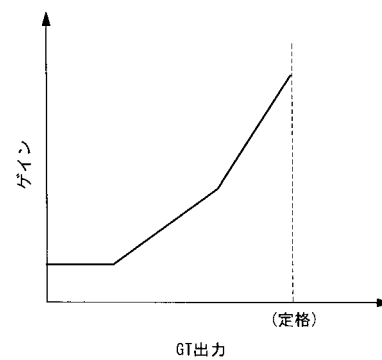
【図1】



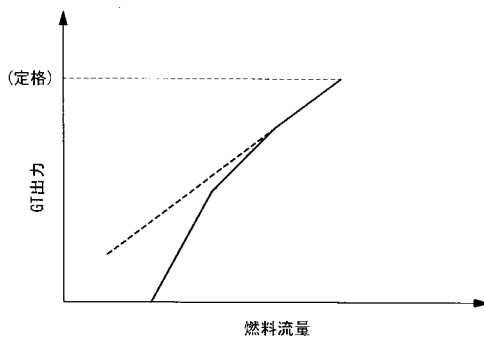
【図2】



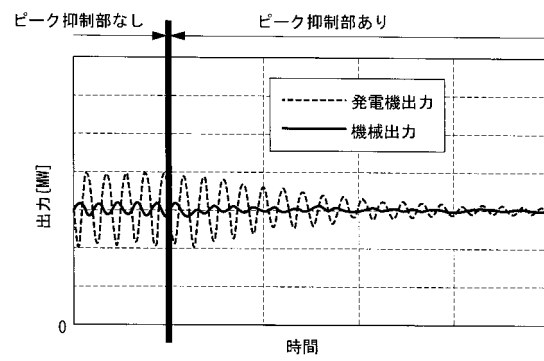
【図3】



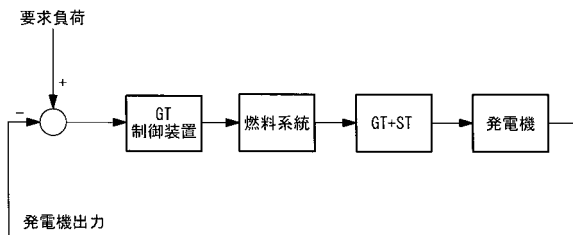
【 図 4 】



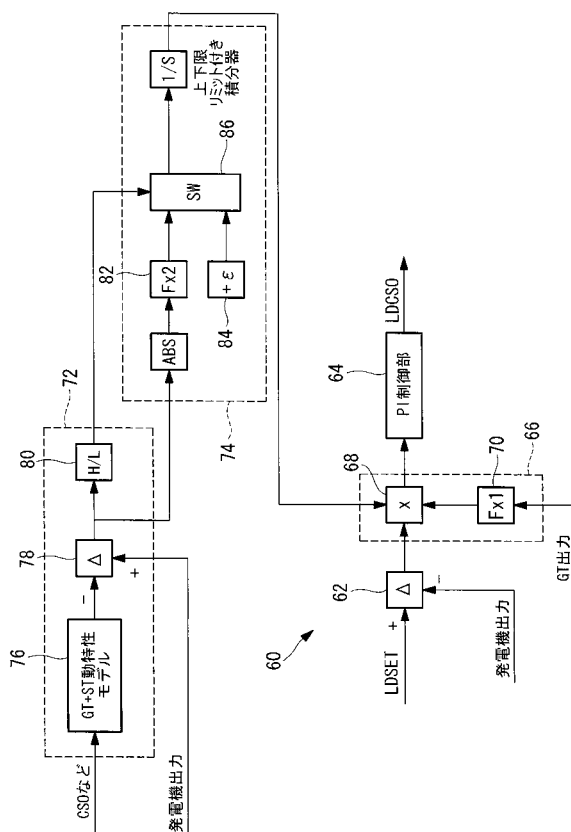
【 図 6 】



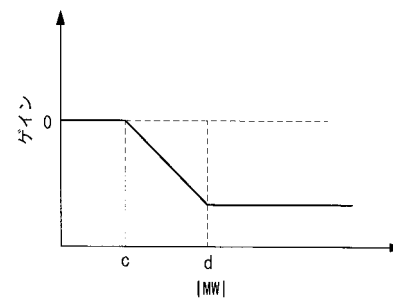
【 図 5 】



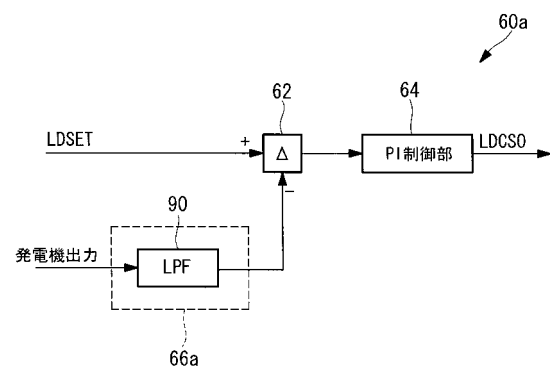
【 図 7 】



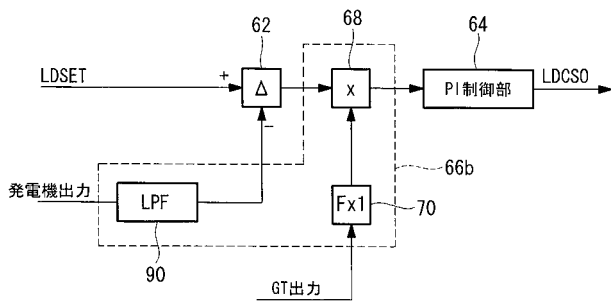
【 図 8 】



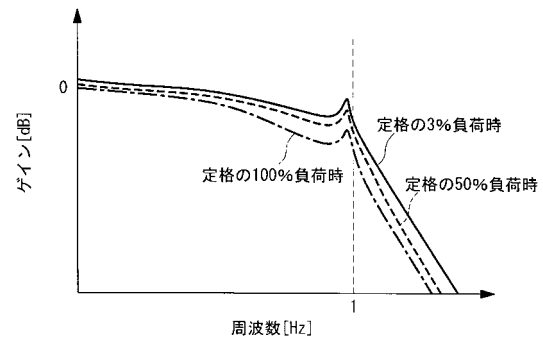
【 図 9 】



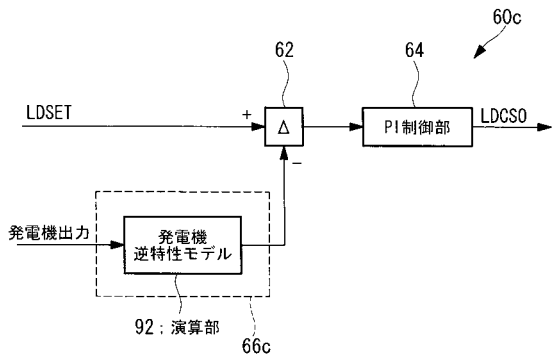
【図 10】



【図 12】



【図 11】



フロントページの続き

- (72)発明者 園田 隆
東京都港区港南二丁目 1 6 番 5 号 三菱重工業株式会社内
- (72)発明者 平藤 耕一郎
東京都港区港南二丁目 1 6 番 5 号 三菱重工業株式会社内
- (72)発明者 高田 康嗣
東京都港区港南二丁目 1 6 番 5 号 三菱重工業株式会社内
- (72)発明者 藤井 文倫
東京都港区港南二丁目 1 6 番 5 号 三菱重工業株式会社内