

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5455890号  
(P5455890)

(45) 発行日 平成26年3月26日(2014.3.26)

(24) 登録日 平成26年1月17日(2014.1.17)

(51) Int.Cl.

FO3D 7/04 (2006.01)

F 1

FO3D 7/04

Z

請求項の数 7 (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2010-294142 (P2010-294142)  
 (22) 出願日 平成22年12月28日 (2010.12.28)  
 (65) 公開番号 特開2012-140902 (P2012-140902A)  
 (43) 公開日 平成24年7月26日 (2012.7.26)  
 審査請求日 平成25年1月30日 (2013.1.30)

(73) 特許権者 000006208  
 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 若狭 強志  
 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 篠田 尚信  
 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】風力発電装置の制御装置、風力発電システム、及び風力発電装置の制御方法

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

複数枚の翼を有するロータが風を受けて回転し、該ロータの回転により発電機が発電し、電力系統に電力を供給すると共に、該電力系統の周波数の変動に応じて電力系統へ供給する電力量が変更可能な風力発電装置の制御装置であって、

前記電力系統に周波数の変動が生じた場合に該変動を回復させるための周波数の設定値  
が入力され、前記風力発電装置の発電出力の周波数の計測値と、前記周波数の設定値との  
差である周波数変化量を算出する算出手段と、

前記算出手段によって算出された前記周波数変化量に応じた電力変化量を、前記発電機の回転数に基づいて制限する制限手段と、  
 を備えた風力発電装置の制御装置。

## 【請求項 2】

前記制限手段は、前記発電機の回転数が第1設定値以下の場合に、前記電力変化量を予め定められた第1制限値とし、前記発電機の回転数が第2設定値以上の場合に、前記電力変化量を前記第1制限値よりも大きい予め定められた第2制限値とし、前記発電機の回転数が第1設定値を超える場合に、前記発電機の回転数の上昇と共に前記電力変化量の制限値を前記第1制限値から前記第2制限値の間で上昇させる請求項1記載の風力発電装置の制御装置。

## 【請求項 3】

前記制限手段は、前記電力変化量に所定のゲインを乗算し、

前記所定のゲインは、前記発電機の回転数が第1設定値以下の場合、第1ゲインであり、前記発電機の回転数が第2設定値以上の場合、第2ゲインであり、前記発電機の回転数が前記第1設定値を超えると、前記発電機の回転数の上昇と共に前記第1ゲイン及び前記第2ゲインよりも高い第3ゲインまで上昇し、該第3ゲインに達すると、前記第2設定値に達するまで前記第2ゲインに下降する請求項1記載の風力発電装置の制御装置。

#### 【請求項4】

前記制限手段は、前記発電機の回転の加速度に基づいて、前記電力変化量を補正する請求項1記載の風力発電装置の制御装置。

#### 【請求項5】

前記制限手段は、前記発電機の回転数、前記周波数の計測値、及び前記風力発電装置に対する風速に基づいて、前記風力発電装置の発電出力の周波数、前記風力発電装置に対する風速の変動量を予測し、予測結果に基づいて前記電力変化量を補正する請求項1記載の風力発電装置の制御装置。 10

#### 【請求項6】

複数枚の翼を有するロータが風を受けて回転し、該ロータの回転により発電機が発電し、電力系統に電力を供給すると共に、該電力系統の周波数の変動に応じて電力系統へ供給する電力量が変更可能な風力発電装置と、

前記風力発電装置を制御する請求項1から請求項5の何れか1項に記載の風力発電装置の制御装置と、  
を備えた風力発電システム。 20

#### 【請求項7】

複数枚の翼を有するロータが風を受けて回転し、該ロータの回転により発電機が発電し、電力系統に電力を供給すると共に、該電力系統の周波数の変動に応じて電力系統へ供給する電力量が変更可能な風力発電装置の制御方法であって、

前記電力系統に周波数の変動が生じた場合に該変動を回復させるための周波数の設定値が入力され、前記風力発電装置の発電出力の周波数の計測値と、前記周波数の設定値との差である周波数変化量を算出する第1工程と、

前記第1工程によって算出された前記周波数変化量に応じた電力変化量を、前記発電機の回転数に基づいて制限する第2工程と、  
を含んだ風力発電装置の制御方法。 30

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【技術分野】

##### 【0001】

本発明は、風力発電装置の制御装置、風力発電システム、及び風力発電装置の制御方法に関するものである。

##### 【背景技術】

##### 【0002】

近年、系統連系されている風力発電装置に対して、電力系統の擾乱発生から予め定められた時間内（例えば30秒以内）に電力系統の周波数の変動の回復に寄与すること（Primary Frequency Response、以下、「PFR」という。）が求められている。 40

特許文献1には、PFRにおいて、ロータの回転数や発電出力に基づいて、出力する有効電力に制限を設けることが記載されている。

##### 【先行技術文献】

##### 【特許文献】

##### 【0003】

##### 【特許文献1】米国特許第7345373号明細書

##### 【発明の概要】

##### 【発明が解決しようとする課題】

##### 【0004】

PFRは、一般には設定周波数と実際の周波数（計測値）との偏差（周波数変化量）に 50

応じて、風力発電装置の発電出力を増減させるが、一定しない自然エネルギーを動力源とする風力発電装置では、ガスの燃焼や蒸気等の制御可能な安定したエネルギーを動力源とするタービン発電機（同期発電機）に比べて、ロータの回転数が大きく変動する場合がある。

#### 【0005】

そのため、図10に示すように、PFRを行うために追加して要求される発電出力であるPFR要求量が大きすぎると、例えば、ロータの回転数が小さい場合に、ロータが有する慣性力までも発電に用いられると、ロータの回転数が解列下限を下回って、風力発電装置が解列する可能性がある。また、例えば、ロータの回転数が大きい場合に、さらに発電量の増加を求められると、ロータの回転数が過速度上限を超過し、風力発電装置がトリップ（出力の遮断）する可能性がある。なお、トリップする場合とは、ロータの過回転の他、過出力、過電流でも起こる場合もある。

このような、PFRの実行中の風力発電装置の解列やトリップは、電力系統に対して擾乱として作用し、PFRを行わない場合よりも電力系統の周波数をより不安定にする可能性がある。また、一旦トリップすると再起動までに時間を要するため、風力発電装置は、電力系統の周波数を回復させるという目的を達成できない。

#### 【0006】

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、電力系統の周波数の変動を回復させる場合に発電出力の増減が過剰となり、風力発電装置が電力系統へ電力を供給できなくなること防ぐことができる、風力発電装置の制御装置、風力発電システム、及び風力発電装置の制御方法を提供することを目的とする。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0007】

上記課題を解決するために、本発明の風力発電装置の制御装置、風力発電システム、及び風力発電装置の制御方法は以下の手段を採用する。

#### 【0008】

すなわち、本発明に係る風力発電装置の制御装置は、複数枚の翼を有するロータが風を受けて回転し、該ロータの回転により発電機が発電し、電力系統に電力を供給すると共に、該電力系統の周波数の変動に応じて電力系統へ供給する電力量が変更可能な風力発電装置の制御装置であって、前記電力系統に周波数の変動が生じた場合に該変動を回復させるための周波数の設定値が入力され、前記風力発電装置の発電出力の周波数の計測値と、前記周波数の設定値との差である周波数変化量を算出する算出手段と、前記算出手段によって算出された前記周波数変化量に応じた電力変化量を、前記発電機の回転数に基づいて制限する制限手段と、を備える。

#### 【0009】

本発明によれば、風力発電装置の制御装置は、複数枚の翼を有するロータが風を受けて回転し、該ロータの回転により発電機が発電し、電力系統に電力を供給すると共に、該電力系統の周波数の変動に応じて電力系統へ供給する電力量が変更可能な風力発電装置を制御する。

#### 【0010】

そして、風力発電装置の制御装置は、算出手段によって、電力系統に周波数の変動が生じた場合に該変動を回復させるための周波数の設定値が入力され、風力発電装置の発電出力の周波数の計測値と、周波数の設定値との差である周波数変化量が算出される。周波数変化量とは、風力発電装置が要求されている発電出力の周波数と実際の発電出力の周波数との差であり、電力系統に周波数の変動が生じると、制御手段には該変動を回復させるための設定値が入力される。すなわち、電力系統に周波数の変動が生じると、算出手段によって、電力系統の周波数の変動を回復させるために必要とされる周波数の変化量が算出される。

さらに、制限手段によって、算出手段で算出された周波数変化量に応じた電力変化量が、発電機の回転数に基づいて制限される。

#### 【0011】

10

20

30

40

50

風力発電装置の発電出力の周波数と電力（有効電力）とは一対一の関係があり、周波数を変化させることは、電力を変化させることとなる。しかし、周波数変化量に応じて、より多くの電力を風力発電装置から出力させることによって、ロータの回転が、風力発電装置を電力系統から解列させる回転数以下になる場合がある。また、ロータの回転が過速度上限を超過し、風力発電装置がトリップする場合がある。風力発電装置の解列及びトリップは、電力系統の周波数の変動の回復に寄与しないばかりか、電力系統の周波数をより不安定にする可能性がある。さらに、発電機の回転数は、ロータの回転数と関係性を有し、発電機の回転数が低いとロータの回転数も低く、発電機の回転数が高いとロータの回転数も高い。

#### 【0012】

10

そのため、本発明は、発電機の回転数に基づいて、周波数変化量に応じた電力変化量を制限することによって、電力系統の周波数の変動を回復させる場合に発電出力の増減が過剰となり、風力発電装置が電力系統へ電力を供給できなくなること防ぐことができる。

#### 【0013】

また、本発明の風力発電装置の制御装置は、前記制限手段が、前記発電機の回転数が第1設定値以下の場合に、前記電力変化量を予め定められた第1制限値とし、前記発電機の回転数が第2設定値以上の場合に、前記電力変化量を前記第1制限値よりも大きい予め定められた第2制限値とし、前記発電機の回転数が第1設定値を超えて第2設定値未満の場合に、前記発電機の回転数の上昇と共に前記電力変化量の制限値を前記第1制限値から前記第2制限値の間で上昇させてよい。

20

#### 【0014】

本発明によれば、制限手段によって、発電機の回転数が第1設定値以下の場合に、電力変化量が第1制限値とされ、発電機の回転数が第2設定値以上の場合に、電力変化量が第1制限値よりも大きい予め定められた第2制限値とされる。さらに、制限手段によって、発電機の回転数が第1設定値を超えて第2設定値未満の場合に、発電機の回転数の上昇と共に電力変化量の制限値が、第1制限値から第2制限値の間で上昇される。

#### 【0015】

例えば、発電機の回転数が第1設定値以下の場合は、ロータの回転数がより低い場合であり、現状よりも多くの電力を出力させようとすると、ロータの回転数が低くなりすぎ、風力発電装置の発電出力が解列下限よりも低くなる可能性がある場合である。このような場合に、電力変化量に第1制限値を設け、風力発電装置の解列を防止する。

30

#### 【0016】

一方、発電機の回転数が第2設定値以上の場合は、ロータの回転数がより高い場合であり、現状よりも多くの電力を出力させようとすると、風力発電装置がトリップする可能性がある場合である。このような場合に、電力変化量に第2制限値を設け、風力発電装置のトリップを防止する。

#### 【0017】

そして、発電機の回転数が第1設定値を超えて第2設定値未満の場合は、発電機の回転数の上昇と共に電力変化量の制限値が高くなるようにすることで、発電機の回転数に応じた制限値で電力変化量が制限される。

40

#### 【0018】

従って、本発明は、電力系統の周波数の変動を回復させる場合に発電出力の増減が過剰となり、風力発電装置が電力系統へ電力を供給できなくなることを、より確実に防ぐことができる。

#### 【0019】

また、本発明の風力発電装置の制御装置は、前記制限手段が、前記電力変化量に所定のゲインを乗算し、前記所定のゲインを、前記発電機の回転数が第1設定値以下の場合、第1ゲインとし、前記発電機の回転数が第2設定値以上の場合、第2ゲインとし、前記発電機の回転数が前記第1設定値を超えると、前記発電機の回転数の上昇と共に前記第1ゲイン及び前記第2ゲインよりも高い第3ゲインまで上昇し、該第3ゲインに達すると、前記

50

第2設定値に達するまで前記第2ゲインに下降させてもよい。

【0020】

本発明によれば、制限手段によって電力変化量に乗算されるゲインは、発電機の回転数が第1設定値以下の場合、第1ゲインに設定され、発電機の回転数が第2設定値以上の場合、第2ゲインに設定される。すなわち、第1ゲイン及び第2ゲインを小さく設定する(例えば、0(零))ことで、電力変化量が、小さくされる。これにより、ロータの回転数が低くなりすぎること、及び発電出力が高くなりすぎることが防がれる。

【0021】

一方、発電機の回転数が第1設定値と第2設定値との間の場合、ゲインは、発電機の回転数の上昇と共に第1ゲイン及び第2ゲインよりも高い第3ゲインまで上昇し、該第3ゲインに達すると、第2ゲインに下降するように設定される。

10

【0022】

従って、本発明は、電力系統の周波数の変動を回復させる場合に発電出力の増減が過剰となり、風力発電装置が電力系統へ電力を供給できなくなることを、より確実に防ぐことができる。

【0023】

また、本発明の風力発電装置の制御装置は、前記制限手段が、前記発電機の回転の加速度に基づいて、前記電力変化量を補正してもよい。

【0024】

本発明によれば、例えば、発電機の回転数の微分値から求められる発電機の回転の加速度に基づいて、電力変化量が補正される。すなわち、回転数の減速及び加速に応じて電力変化量が補正される。

20

【0025】

従って、本発明は、電力系統の周波数の変動を回復させる場合に発電出力の増減が過剰となり、風力発電装置が電力系統へ電力を供給できなくなることを、より確実に防ぐことができる。

【0026】

また、本発明の風力発電装置の制御装置は、前記制限手段が、前記発電機の回転数、前記周波数の計測値、及び前記風力発電装置に対する風速に基づいて、前記風力発電装置の発電出力の周波数、前記風力発電装置に対する風速の変動量を予測し、予測結果に基づいて前記電力変化量を補正してもよい。

30

【0027】

本発明によれば、風力発電装置の発電出力の周波数、風速の変動量を予測し、予測結果に基づいて電力変化量が補正されるので、電力系統の周波数の変動を回復させる場合に発電出力の増減が過剰となり、風力発電装置が電力系統へ電力を供給できなくなることを、より確実に防ぐことができる。

【0028】

一方、本発明に係る風力発電システムは、複数枚の翼を有するロータが風を受けて回転し、該ロータの回転により発電機が発電し、電力系統に電力を供給すると共に、該電力系統の周波数の変動に応じて電力系統へ供給する電力量が変更可能な風力発電装置と、前記風力発電装置を制御する請求項1から請求項5の何れか1項に記載の制御装置と、を備える。

40

【0029】

本発明によれば、風力発電装置が上記記載の制御装置によって制御されるので、電力系統の周波数の変動を回復させる場合に発電出力の増減が過剰となり、風力発電装置が電力系統へ電力を供給できなくなること防ぐことができる。

【0030】

さらに、本発明に係る風力発電装置の制御方法は、複数枚の翼を有するロータが風を受けて回転し、該ロータの回転により発電機が発電し、電力系統に電力を供給すると共に、該電力系統の周波数の変動に応じて電力系統へ供給する電力量が変更可能な風力発電装置

50

の制御方法であって、前記電力系統に周波数の変動が生じた場合に該変動を回復させるための周波数の設定値が入力され、前記風力発電装置の発電出力の周波数の計測値と、前記周波数の設定値との差である周波数変化量を算出する第1工程と、前記第1工程によって算出された前記周波数変化量に応じた電力変化量を、前記発電機の回転数に基づいて制限する第2工程と、を含む。

#### 【0031】

本発明によれば、発電機の回転数に基づいて、周波数変化量に応じた電力変化量を制限することによって、電力系統の周波数の変動を回復させる場合に発電出力の増減が過剰となり、風力発電装置が電力系統へ電力を供給できなくなること防ぐことができる。

#### 【発明の効果】

10

#### 【0032】

本発明によれば、電力系統の周波数の変動を回復させる場合に発電出力の増減が過剰となり、風力発電装置が電力系統へ電力を供給できなくなること防ぐことができる、という優れた効果を有する。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0033】

【図1】本発明の第1実施形態に係る風力発電装置の外観図である。

【図2】本発明の第1実施形態に係るウインドファームの全体構成、及び風力発電装置の電気的構成を示した模式図である。。

【図3】本発明の第1実施形態に係る電力指令値生成部の構成を示すブロック図である。

20

【図4】本発明の第1実施形態に係るPFR要求量生成部の構成を示すブロック図である。  
。

【図5】本発明の第1実施形態に係るPFR要求量制限値の一例を示す模式図である。

【図6】本発明の第2実施形態に係るPFR要求量生成部の構成を示すブロック図である。  
。

【図7】本発明の第2実施形態に係る可変ゲインの一例を示す模式図であり、(A)は、ゲインが三角形状に変化する場合を示し、(B)は、ゲインが円弧状に変化する場合を示す。

【図8】本発明の第3実施形態に係る電力指令値生成部の構成を示すブロック図であり、(A)は、電力変化量に発電機回転数計測値に応じたゲインを加算することで電力変化量を補正する場合であり、(B)は、調定率を可変とすることで電力変化量を補正する場合である。

30

【図9】本発明の第4実施形態に係る電力指令値生成部の構成を示すブロック図であり、(A)は、電力変化量に発電出力の周波数、風速に応じた値を加算することで電力変化量を補正する場合であり、(B)は、調定率を可変とすることで電力変化量を補正する場合である。

【図10】従来の周波数応答制御の説明に要する図である。

#### 【発明を実施するための形態】

#### 【0034】

以下に、本発明に係る風力発電装置の制御装置、風力発電システム、及び風力発電装置の制御方法の一実施形態について、図面を参照して説明する。

40

#### 【0035】

#### 〔第1実施形態〕

以下、本発明の第1実施形態について説明する。

図1は、本第1実施形態に係る風力発電装置10の外観図である。

図1に示す風力発電装置10は、所謂可变速風車であり、基礎12上に立設される支柱14と、支柱14の上端に設置されるナセル16と、略水平な軸線周りに回転可能にしてナセル16に設けられるロータ18とを有している。

#### 【0036】

ロータ18には、その回転軸線周りに放射状にして複数（本第1実施形態では、一例と

50

して3つ)の風車回転翼(以下、単に「翼20」という)が取り付けられている。これにより、ロータ18の回転軸線方向から翼20に当たった風の力が、ロータ18を回転軸線周りに回転させる動力に変換され、該動力が同期発電機である発電機46(図2参照)によって電力に変換される。なお、翼20は、運転条件に応じて回動可能なようにロータ18に連結されており、翼20のピッチ角が変化可能とされている。

#### 【0037】

図2は、第1実施形態に係るウインドファーム30の全体構成、及び風力発電装置10の電気的構成を示した模式図である。ウインドファーム30は、複数の風力発電装置10、サブステーション31、各風力発電装置10毎に対応して設けられた複数の風車制御装置32を備えている。なお、風力発電装置10と風車制御装置32との組み合わせを風力発電システムという。10

#### 【0038】

各風力発電装置10は、変圧器34を介してサブステーション31に接続されると共に、サブステーション31が有する変圧器34及び送電線36を介して系統連系され、電力系統38へ電力を供給する。

#### 【0039】

また、サブステーション31には、ウインドファーム30全体の制御を司るマスター・コントローラ41(例えば、SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition))が設けられている。

#### 【0040】

マスター・コントローラ41は、電力系統38から要求される出力値(電力量)を示す系統要求出力値を受信し、各風車制御装置32へ送信する。20

#### 【0041】

風車制御装置32は、対応する風力発電装置10を制御するために、系統要求出力値に応じた電力指令値を生成し、対応する風力発電装置10の発電出力(有効電力)を制御したり、翼20のピッチ角を制御するためにピッチ角指令値を生成し、ピッチアクチュエタ(不図示)へ出力する等を行う。また、風車制御装置32は、風力発電装置14の発電出力や風力発電装置14の制御状態を示すデータ等をマスター・コントローラ41へ送信する。

#### 【0042】

なお、風車制御装置32は、タービンコントローラ40及びコンバータコントローラ42を備える。

タービンコントローラ40は、系統要求出力値に応じたパラメータとして、風力発電装置10の発電出力の周波数の設定値(以下、「周波数設定値」という。)を記憶しており、該周波数設定値に基づいて、電力指令値を生成し、コンバータコントローラ42へ出力する。

そして、コンバータコントローラ42は、入力された電力指令値に基づいて、風力発電装置10に備えられたコンバータ44を制御する。

コンバータ44は、コンバータコントローラ42からの制御信号に基づいて、発電機46から電力系統38への発電出力を制御する。40

#### 【0043】

次に、タービンコントローラ40による電力指令値の生成について説明する。

図3は、電力指令値を生成する電力指令値生成部50の構成を示すブロック図である。

#### 【0044】

電力指令値生成部50は、発電機回転数設定値<sup>\*</sup>と発電機回転数計測値<sup>\*</sup>とが入力される。発電機回転数設定値<sup>\*</sup>は、周波数設定値に基づいて生成され、発電機回転数計測値<sup>\*</sup>は、実際に計測された発電機46の回転数である。

#### 【0045】

発電機回転数設定値<sup>\*</sup>及び発電機回転数計測値<sup>\*</sup>は、減算器52に入力され、減算器52は、発電機回転数設定値<sup>\*</sup>と発電機回転数計測値<sup>\*</sup>との偏差を、P/I制御部54へ50

出力する。

**【0046】**

P I 制御部 54 は、入力された偏差に基づいた電力指令値  $P^*$  を生成し、制限部 56 へ出力する。

**【0047】**

制限部 56 は、入力された電力指令値  $P^*$  が予め定められた上限値を超えている場合は、電力指令値  $P^*$  を該上限値に制限して出力する。制限部 56 から出力された電力指令値  $P^*$  は、加算器 58 で PFR 要求量  $P_d$  と加算され、電力指令値  $P^{*total}$  としてコンバータコントローラ 42 へ出力される。なお、PFR 要求量  $P_d$  は、タービンコントローラ 40 に備えられている後述する PFR 要求量生成部 60 から出力される。

10

**【0048】**

ここで、風力発電装置 10 は、風車制御装置 32 による制御によって、電力系統 38 の周波数（以下、「系統周波数」という。）の変動に応じて発電出力が変更可能とされている。すなわち、風力発電装置 10 は、系統周波数に変動が生じると、該変動を回復する PFR を実行する。そして、PFR 要求量  $P_d$  とは、PFR を実行するための発電出力の増加量、又減少量である。

**【0049】**

しかしながら、PFR 要求量  $P_d$  が大きすぎると、例えば、ロータ 18 の回転数が小さい場合に、ロータ 18 が有する慣性力までも発電に用いられると、ロータ 18 の回転数が解列下限を下回って、風力発電装置 10 が解列する可能性がある。また、ロータ 18 の回転数が大きい場合に、さらに発電量の増加を求められると、ロータ 18 の回転数が過速度上限を超過し、風力発電装置 10 がトリップする場合がある。風力発電装置 10 の解列及びトリップは、電力系統 38 の周波数の変動の回復に寄与しないばかりか、電力系統 38 の周波数をより不安定にする可能性がある。

20

**【0050】**

そこで、本第 1 実施形態に係る風車制御装置 32 は、過大とならないように制限した PFR 要求量  $P_d$  を生成する。

**【0051】**

図 4 は、本第 1 実施形態に係る PFR 要求量生成部 60 の構成を示すブロック図である。

30

**【0052】**

PFR 要求量生成部 60 は、減算器 62、調定部 64、及び制限部 66 を備えている。

減算器 62 は、風力発電装置 10 の発電出力の周波数の計測値（以下、「周波数計測値」という。） $f$  と、風力発電装置 10 の周波数設定値  $f^*$  が入力され、周波数計測値  $f$  と周波数設定値  $f^*$  との差である周波数変化量を算出する。

**【0053】**

周波数変化量とは、風力発電装置 10 が要求されている発電出力の周波数（周波数設定値  $f^*$ ）と実際の発電出力の周波数（周波数計測値  $f$ ）との差であり、電力系統 38 に周波数の変動が生じると、PFR 要求量生成部 60 には該変動を回復させるための周波数設定値  $f^*$  が入力される。すなわち、電力系統 38 に周波数の変動が生じると、減算器 62 によって、電力系統 38 の周波数の変動を回復させるために必要とされる周波数変化量が算出される。

40

**【0054】**

調定部 64 は、周波数変化量に所定の調定率（ $1/R$  ( $R$  分の 1)、 $R$  は定数) を乗算することによって、周波数変化量に応じた電力変化量を算出する。

**【0055】**

そして、制限部 66 は、発電機 46 の回転数の計測値（以下、「発電機回転数計測値」という。）が入力され、入力された電力変化量を発電機回転数計測値に基いて制限した、PFR 要求量  $P_d$  を電力指令値生成部 50 へ出力する。

**【0056】**

50

なお、上述のように、調定部 6 4 で周波数変化量に調定率を乗算することによって周波数に応じた電力を算出するように、風力発電装置 1 0 の発電出力の周波数と電力（有効電力）とは一対一の関係があり、周波数を変化させることは、電力を変化させることとなる。

また、発電機 4 6 の回転数は、ロータ 1 8 の回転数と関係性を有し、発電機 4 6 の回転数が低いとロータ 1 8 の回転数も低く、発電機 4 6 の回転数が高いとロータ 1 8 の回転数も高い。

#### 【 0 0 5 7 】

このように、本第 1 実施形態に係る風車制御装置 3 2 は、ロータ 1 8 の回転数と関連性のある発電機回転数計測値  $f$  に基づいて、周波数変化量に応じた電力変化量を制限することによって、電力系統 3 8 の周波数の変動を回復させる場合に発電出力の増減が過剰となり、風力発電装置 1 0 が電力系統 3 8 へ電力を供給できなくなること防ぐ。  
10

#### 【 0 0 5 8 】

なお、本第 1 実施形態に係る制限部 6 6 は、図 4 に示す発電機回転数  $\omega$  と P F R 要求量制限値との関係に基づいて、入力された電力変化量を制限した P F R 要求量  $P_d$  を出力する。

#### 【 0 0 5 9 】

本第 1 実施形態に係る制限部 6 6 は、発電機回転数計測値  $\omega$  が最小設定値以下の場合に、電力変化量を第 1 制限値とし、発電機回転数計測値  $\omega$  が最大設定値以上の場合に、電力変化量を第 1 制限値よりも大きい予め定められた第 2 制限値とする。さらに、制限部 6 6 は、発電機回転数計測値  $\omega$  が最小設定値を超え最大設定値未満の場合に、発電機回転数計測値  $\omega$  の上昇と共に電力変化量の制限値を、第 1 制限値から第 2 制限値の間で上昇させる。  
20

#### 【 0 0 6 0 】

例えば、図 5 に示すように電力系統 3 8 の周波数低下時（周波数設定値  $f^*$  が周波数計測値  $f$  よりも大きくなる場合）において、発電機回転数計測値  $\omega$  が最小設定値以下の場合は、ロータ 1 8 の回転数がより低い場合であり、現状よりも多くの電力を出力するためにロータ 1 8 の慣性力を用いると、ロータ 1 8 のその後回転数が低くなりすぎ、風力発電装置 1 0 の発電出力が解列下限よりも低くなる可能性がある場合である。このような場合に、電力変化量に第 1 制限値（図 5 の例では、0（零））を設け、風力発電装置 1 0 の解列を防止する。すなわち、発電機回転数計測値  $\omega$  が最小設定値以下の風力発電装置 1 0 の P F R 要求量  $P_d$  は、0 となるので、該風力発電装置 1 0 は、P F R を実行しない。  
30

一方、電力系統 3 8 の周波数低下時において、発電機回転数計測値  $\omega$  が最大設定値以上の場合は、ロータ 1 8 の回転数がより高い場合であり、現状よりも多くの電力を出力させようとすると、風力発電装置 1 0 がトリップする可能性がある場合である。このような場合に、電力変化量に第 2 制限値を設け、風力発電装置 1 0 のトリップを防止する。

#### 【 0 0 6 1 】

そして、発電機回転数計測値  $\omega$  が最小設定値を超え最大設定値未満の場合は、発電機 4 6 の回転数の上昇と共に電力変化量の制限値が高くなるようにすることで、発電機 4 6 の回転数に応じた制限値で電力変化量が制限され、P F R 要求量  $P_d$  として出力される。  
40

このように、電力系統 3 8 の周波数低下時では、P F R 要求量  $P_d$  は、0 から正の値の範囲で変化するので、風力発電装置 1 0 は、より多くの電力を電力系統 3 8 へ供給する。具体的には、風車制御装置 3 2 は、翼 2 0 のピッチ角をよりファイン側へ変更し、ロータ 1 8 の回転数を上昇させて発電出力を増加させる制御、ロータ 1 8 に蓄えられている慣性力を用いて発電出力を上昇させる制御等を行う。

#### 【 0 0 6 2 】

一方、図 5 に示すように電力系統 3 8 の周波数上昇時（周波数設定値  $f^*$  が周波数計測値  $f$  よりも小さくなる場合）では、最小設定値に対応する第 1 制限値は、0 以下であり、最大設定値に対応する第 2 制限値は、0 である。

このため、電力系統 3 8 の周波数上昇時では、P F R 要求量  $P_d$  は、負の値から 0 の範  
50

囲で変化するので、風力発電装置 10 は、電力系統 38 へ供給する電力を減少させる。具体的には、風車制御装置 32 は、翼 20 のピッチ角をよりフェザー側へ変更し、ロータ 18 の回転数を下降させて発電出力を減少させる制御等を行う。

#### 【 0 0 6 3 】

従って、本第 1 実施形態に係る風車制御装置 32 は、電力系統 38 の周波数の変動を回復させる場合に発電出力の増減が過剰となり、風力発電装置 10 が電力系統へ電力を供給できなくなることを、より確実に防ぐことができる。

#### 【 0 0 6 4 】

なお、図 5 に示される PFR 要求量制限値は、一例であり、これに限定されない。

#### 【 0 0 6 5 】

#### 〔 第 2 実施形態 〕

以下、本発明の第 2 実施形態について説明する。

なお、本第 2 実施形態に係る風力発電装置 10、ウインドファーム 30、及び電力指令値生成部 50 の構成は、図 1, 2, 3 に示される第 1 実施形態に係る風力発電装置 10、ウインドファーム 30、及び電力指令値生成部 50 の構成と同様であるので説明を省略する。

#### 【 0 0 6 6 】

図 6 は、本第 2 実施形態に係る PFR 要求量生成部 60 の構成を示す。なお、図 6 における図 4 と同一の構成部分については図 4 と同一の符号を付して、その説明を省略する。

本第 2 実施形態に係る PFR 要求量生成部 60 は、ゲイン部 70 及び乗算器 72 を備える。

#### 【 0 0 6 7 】

ゲイン部 70 には、発電機回転数計測値  $\omega$  が入力され、発電機回転数計測値  $\omega$  に基づいたゲインを乗算器 72 へ出力する。

ゲイン部 70 から出力されるゲインは、発電機回転数計測値  $\omega$  に基づいて変化する可変ゲインであり、発電機回転数計測値  $\omega$  が最小設定値以下の場合、第 1 ゲインに設定され、発電機回転数計測値  $\omega$  が第 2 設定値以上の場合、第 2 ゲインに設定される。すなわち、第 1 ゲイン及び第 2 ゲインを小さく設定することで、電力変化量は、小さくされる。これにより、ロータ 18 の回転数が低くなりすぎること及び発電出力が高くなりすぎることが防がれる。

一方、発電機回転数計測値  $\omega$  が第 1 設定値と第 2 設定値との間の場合、ゲインは、発電機回転数計測値  $\omega$  の上昇と共に第 1 ゲイン及び第 2 ゲインよりも高い第 3 ゲインまで上昇し、該第 3 ゲインに達すると、第 2 ゲインに下降するように設定される。

#### 【 0 0 6 8 】

図 7 は、第 2 実施形態に係る可変ゲインの一例を示す模式図であり、(A) は、ゲインが三角形状に変化する場合を示し、(B) は、ゲインが円弧状に変化する場合を示す。なお、図 7 (A), (B) の例では、 $\text{Gain} = 0$  が第 1 ゲイン及び第 2 ゲインであり、 $\text{Gain} = 1.0$  が第 3 ゲインである。第 1 ゲイン、第 2 ゲイン、第 3 ゲインの値は、これに限らず、他の値でもよく、第 1 ゲインと第 2 ゲインとの値が異なってもよい。また、ゲインの変化も三角形状、円弧状に限定されず、例えば、連続的な変化ではなく、発電機回転数計測値に応じて段階的に変化する不連続な変化であってもよい。

#### 【 0 0 6 9 】

乗算器 72 は、調定部 64 から出力される電力変化量とゲイン部 70 から出力されるゲインが入力され、電力変化量とゲインとを乗算し、乗算した結果を PFR 要求量  $P_d$  として電力指令値生成部 50 へ出力する。

#### 【 0 0 7 0 】

なお、電力系統 38 の周波数低下時（周波数設定値  $f^*$  が周波数計測値  $f$  よりも大きくなる場合）には、調定部 64 から出力される電力変化量は、正の値であるため、乗算器 72 から出力される PFR 要求量  $P_d$  は、0 から正の値の範囲で変化するので、風力発電装置 10 は、より多くの電力を電力系統 38 へ供給する。

10

20

30

40

50

一方、電力系統 3 8 の周波数上昇時（周波数設定値  $f^*$  が周波数計測値  $f$  よりも小さくなる場合）では、調定部 6 4 から出力される電力変化量は、負の値であるため、乗算器 7 2 から出力される P F R 要求量  $P_d$  は、負の値から 0 の範囲で変化するので、風力発電装置 1 0 は、電力系統 3 8 へ供給する電力を減少させる。

#### 【0071】

以上説明したように、第 2 実施形態に係る風車制御装置 3 2 は、発電機回転数計測値に応じた、ゲインを変化させ、該ゲインを電力変化量に乗算させてるので、電力系統 3 8 の周波数の変動を回復させる場合に発電出力の増減が過剰となり、風力発電装置 1 0 が電力系統へ電力を供給できなくなることを、より確実に防ぐことができる。

#### 【0072】

10

#### 〔第 3 実施形態〕

以下、本発明の第 3 実施形態について説明する。

#### 【0073】

なお、本第 3 実施形態に係る風力発電装置 1 0 、ウインドファーム 3 0 、及び電力指令値生成部 5 0 の構成は、図 1 , 2 , 3 に示される第 1 実施形態に係る風力発電装置 1 0 、ウインドファーム 3 0 、及び電力指令値生成部 5 0 の構成と同様であるので説明を省略する。

#### 【0074】

本第 3 実施形態に係る P F R 要求量生成部 6 0 は、発電機 4 6 の回転の加速度に応じて電力変化量を補正する。例えば、発電機 4 6 が大きく減速する場合は（回転数の低下を防ぐために）、電力変化量を補正して P F R 要求量を小さくし、発電機 4 6 が大きく加速する場合は、電力変化量を補正して P F R 要求量を大きくする。

20

#### 【0075】

図 8 は、本第 3 実施形態に係る P F R 要求量生成部 6 0 の構成を示す。なお、図 8 における図 4 と同一の構成部分については図 4 と同一の符号を付して、その説明を省略する。

#### 【0076】

図 8 ( A ) に示す P F R 要求量生成部 6 0 の構成は、電力変化量に発電機回転数計測値に応じたゲインを加算することで電力変化量を補正する場合である。

図 8 ( A ) に示す P F R 要求量生成部 6 0 は、微分器 8 0 、ゲイン部 8 2 、加算器 8 4 、及び制限部 8 6 を備える。

30

#### 【0077】

微分器 8 0 は、発電機回転数計測値  $\omega$  が入力され、発電機回転数計測値  $\omega$  を微分することによって、発電機 4 6 の回転の加速度を算出し、加速度をゲイン部 8 2 に出力する。

なお、本第 3 実施形態に係る P F R 要求量生成部 6 0 は、微分器 8 0 の代わりに、ノイズの影響を受けないようにするため、微分器 8 0 の機能に類似、近似的な特性（発電機 4 6 の回転の素早い変化を強調するような、高周波帯域のゲインが高い特性）を有するフィルタを用いてもよい。

#### 【0078】

ゲイン部 8 2 は、加速度に応じたゲインを出力し、加算器 8 4 に出力する。

#### 【0079】

40

加算器 8 4 は、調定部 6 4 から出力された電力変化量とゲイン部 8 2 から出力されるゲインが入力され、電力変化量をゲインで加算し、その結果を制限部 8 6 に出力する。

#### 【0080】

制限部 8 6 は、下限値及び上限値が設定されており、加算器 8 4 から出力された結果を下限値及び上限値の範囲となるように、制限した P F R 要求量  $P_d$  を出力する。なお、本第 3 実施形態に係る P F R 要求量生成部 6 0 は、制限部 8 6 として、第 1 実施形態に係る P F R 要求量生成部 6 0 が備える制限部 6 6 を用いてもよい。

#### 【0081】

図 8 ( B ) に示す P F R 要求量生成部 6 0 の構成は、調停率を可変とすることで電力変化量を補正する場合である。

50

図8( B )に示すPFR要求量生成部60は、可変調定部88を備えている。

#### 【0082】

可変調定部88は、減算器62から出力された周波数変化量とゲイン部82から出力されるゲインが入力される。そして、可変調定部88は、入力されたゲインに応じて、調定率を変化させ、変化させた調停率と周波数変化量を乗算することで、電圧変化量を算出し、電圧変化量を制限部86へ出力する。

なお、可変調定部88は、入力されるゲイン(発電機46の回転数の微分値)が大きい場合には、調定率を小さくして、慣性力の取りすぎに起因してロータ18の回転数が大きく変化する(落ち込む)ことを回避する一方、入力されるゲインが小さい場合には、慣性力を多めに取り出しても風力発電装置10が解列に至るまでロータ18の回転数が落ち込むことはないと考えられるため、調定率を大きくして、より多くの電力を風力発電装置10から電力系統38へ供給する。

#### 【0083】

以上説明したように、第3実施形態に係る風車制御装置32は、発電機46の回転の加速度に応じて電力変化量を補正するので、電力系統38の周波数の変動を回復させる場合に発電出力の増減が過剰となり、風力発電装置10が電力系統へ電力を供給できなくなることを、より確実に防ぐことができる。

#### 【0084】

##### 〔第4実施形態〕

以下、本発明の第4実施形態について説明する。

なお、本第4実施形態に係る風力発電装置10、ウインドファーム30、及び電力指令値生成部50の構成は、図1, 2, 3に示される第1実施形態に係る風力発電装置10、ウインドファーム30、及び電力指令値生成部50の構成と同様であるので説明を省略する。

#### 【0085】

本第4実施形態に係るPFR要求量生成部60は、風力発電装置10の発電出力の周波数、風速の変動を予測し、予測結果に応じて電力変化量を補正する。例えば、発電機46の発電出力の周波数、風速が小さくなる場合は(ロータの回転数の低下を防ぐために)、電力変化量を補正してPFR要求量を小さくし、発電機46の発電出力の周波数、風速が大きくなる場合は、電力変化量を補正してPFR要求量を大きくする。

#### 【0086】

図9は、本第4実施形態に係るPFR要求量生成部60の構成を示す。なお、図9における図4と同一の構成部分については図4と同一の符号を付して、その説明を省略する。

#### 【0087】

図9( A )に示すPFR要求量生成部60の構成は、電力変化量に発電出力の周波数、又は風速に応じた値を加算することで電力変化量を補正する場合である。

図9( A )に示すPFR要求量生成部60は、時系列推定部90A、加算器92、及び制限部94を備える。

#### 【0088】

時系列推定部90Aは、発電機回転数計測値 $f$ 、周波数計測値 $f$ 、及び風力発電装置10に対する風速に基づいた、自己回帰モデル等の統計的手法を用いた時系列推定アルゴリズムによって、風力発電装置10の発電出力の周波数、風力発電装置10に対する風速の変動量を予測し、予測結果から補正出力を求め、該補正出力を加算器92に出力する。

#### 【0089】

加算器92は、調定部64から出力された電力変化量と時系列推定部90Aから出力される補正出力が入力され、電力変化量を補正值で加算し、その結果を制限部94に出力する。

#### 【0090】

制限部94は、下限値及び上限値が設定されており、加算器92から出力された結果を下限値及び上限値の範囲となるように、制限したPFR要求量 $P_d$ を出力する。なお、本

10

20

30

40

50

第4実施形態に係るPFR要求量生成部60は、制限部94として、第1実施形態に係るPFR要求量生成部60が備える制限部66を用いてもよい。

#### 【0091】

図9(B)に示すPFR要求量生成部60の構成は、調停率を可変とすることで電力変化量を補正する場合である。

図9(B)に示すPFR要求量生成部60は、時系列推定部90B、可変調定部64Bを備えている。

#### 【0092】

時系列推定部90Bは、発電機回転数計測値、周波数計測値f、及び風力発電装置10に対する風速に基づいた、自己回帰モデル等の統計的手法を用いた時系列推定アルゴリズムによって、風力発電装置10の発電出力の周波数、風力発電装置10に対する風速の変動量を予測し、予測結果から補正係数を求め、該補正係数を加算器92に出力する。  
10

#### 【0093】

可変調定部64Bは、減算器62から出力された周波数変化量と時系列推定部90Bから出力される補正係数が入力される。そして、可変調定部64Bは、入力された補正係数を調定率に乗算することで調定率を変化させ、変化させた調停率と周波数変化量をさらに乗算することで、電圧変化量を算出し、電圧変化量を制限部94へ出力する。

#### 【0094】

以上説明したように、第4実施形態に係る風車制御装置32は、発電機46の回転の加速度に応じて電力変化量を補正するので、電力系統38の周波数の変動を回復させる場合に発電出力の増減が過剰となり、風力発電装置10が電力系統へ電力を供給できなくなることを、より確実に防ぐことができる。  
20

また、時系列推定部90A、90Bに入力される値は、周波数計測値f、発電機回転数計測値、及び風速に限らず、他の値が入力され、時系列推定アルゴリズムに用いられてよい。

#### 【0095】

以上、本発明を、上記各実施形態を用いて説明したが、本発明の技術的範囲は上記実施形態に記載の範囲には限定されない。発明の要旨を逸脱しない範囲で上記各実施形態に多様な変更または改良を加えることができ、該変更または改良を加えた形態も本発明の技術的範囲に含まれる。  
30

#### 【0096】

例えば、上記各実施形態では、ウインドファーム30に複数の風力発電装置10が備えられている形態について説明したが、本発明は、これに限定されず、ウインドファーム30が一つの風力発電装置10を備える形態としてもよい。

#### 【符号の説明】

#### 【0097】

10	風力発電装置
18	ロータ
20	翼
30	ウインドファーム
32	風車制御装置
38	電力系統
46	発電機
62	減算器
66	制限部
70	ゲイン部
80	微分器
82	ゲイン部
90 A	時系列推定部
90 B	時系列推定部

10

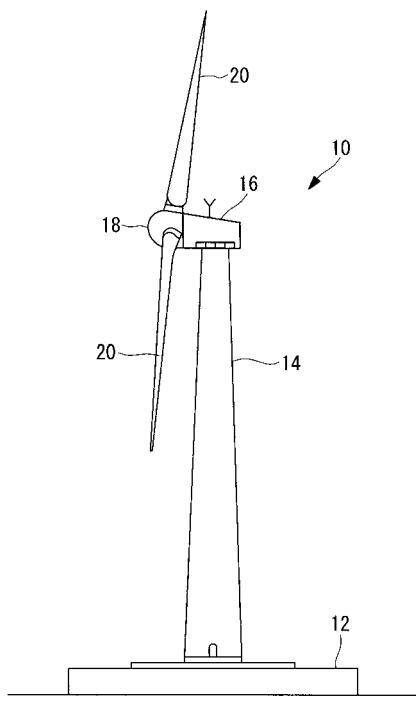
20

30

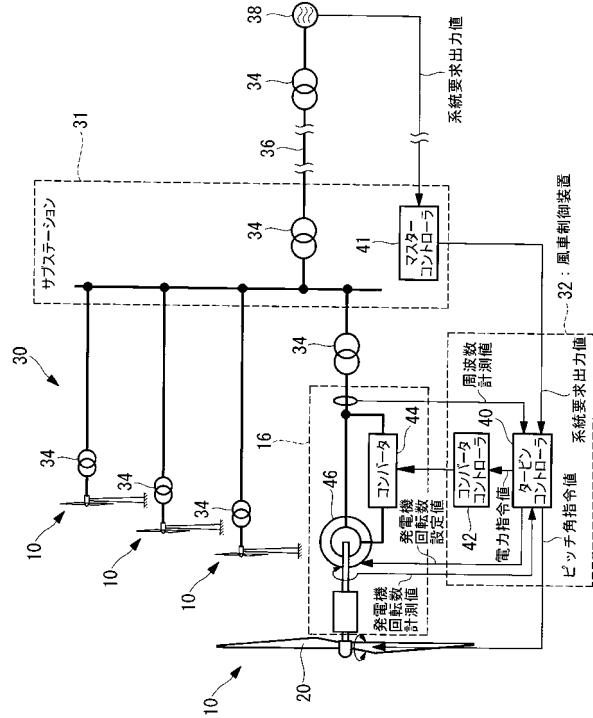
40

50

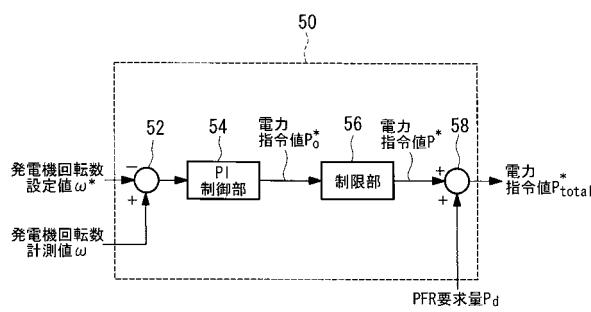
【図1】



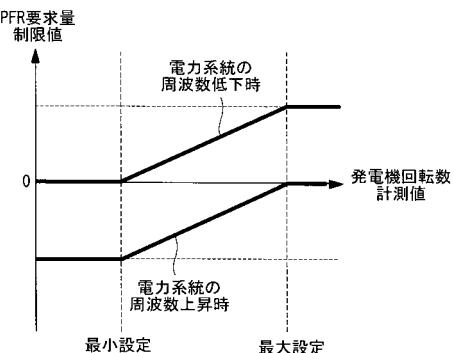
【図2】



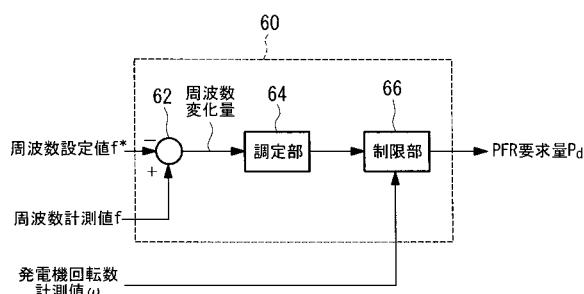
【図3】



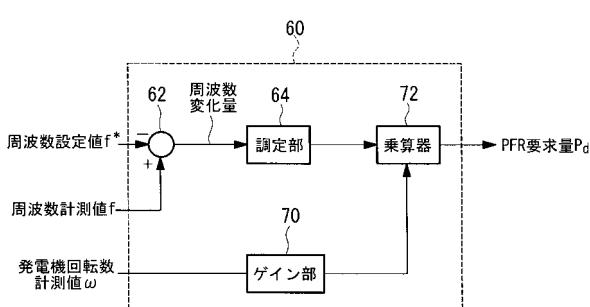
【図5】



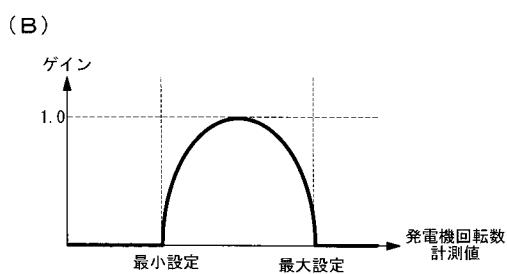
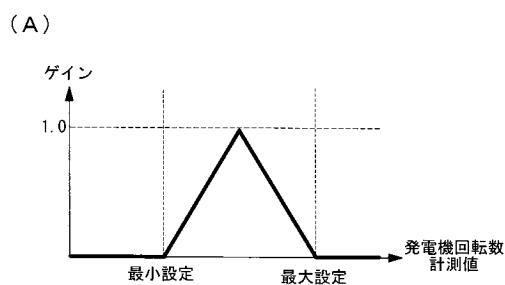
【図4】



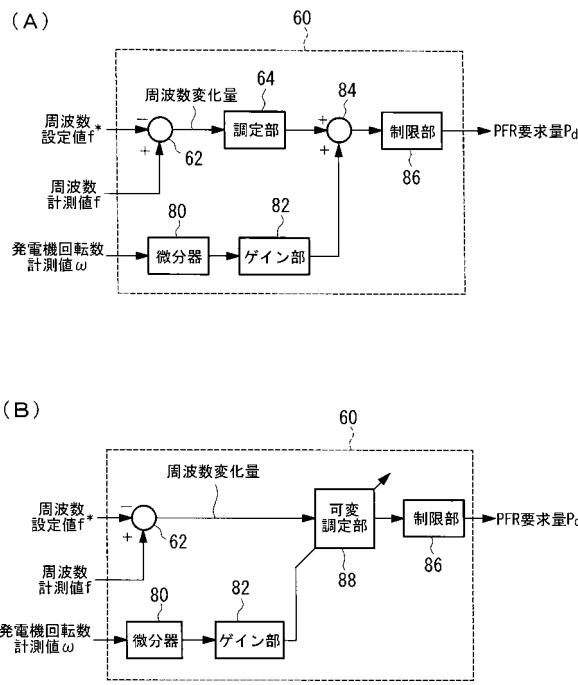
【図6】



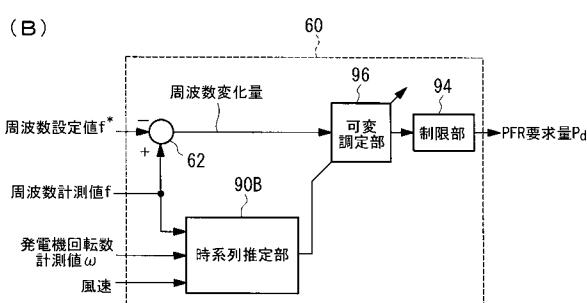
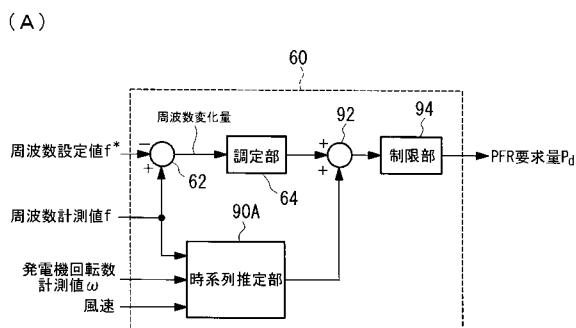
【図7】



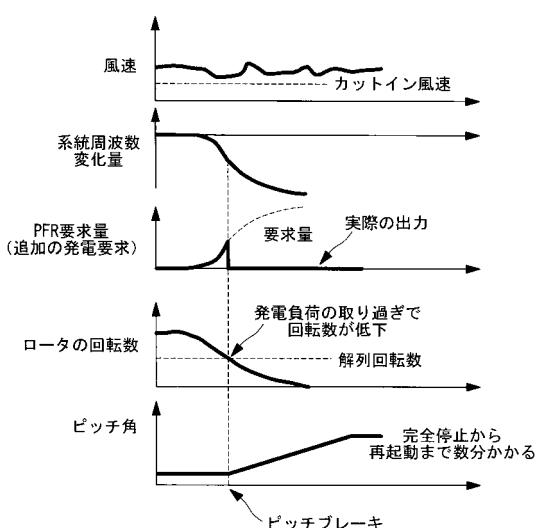
【図8】



【図9】



【図10】



---

フロントページの続き

(72)発明者 橋本 雅之  
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 山下 幸生  
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 名嘉 丈博  
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 八杉 明  
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 中島 巧  
東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内

審査官 吉田 昌弘

(56)参考文献 特開2007-231778(JP,A)  
特開2004-015854(JP,A)  
国際公開第2004/047284(WO,A1)  
特開2005-073418(JP,A)  
特表2012-516667(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F 03 D 7 / 04  
H 02 P 9 / 00