

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5107271号
(P5107271)

(45) 発行日 平成24年12月26日 (2012.12.26)

(24) 登録日 平成24年10月12日 (2012.10.12)

(51) Int. Cl. F I
F O 3 D 7/04 (2006.01) F O 3 D 7/04 H
 F O 3 D 7/04 E

請求項の数 8 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2009-989 (P2009-989)	(73) 特許権者	000006208
(22) 出願日	平成21年1月6日 (2009.1.6)		三菱重工株式会社
(65) 公開番号	特開2010-159646 (P2010-159646A)		東京都港区港南二丁目16番5号
(43) 公開日	平成22年7月22日 (2010.7.22)	(74) 代理人	100112737
審査請求日	平成22年12月28日 (2010.12.28)		弁理士 藤田 考晴
		(74) 代理人	100118913
			弁理士 上田 邦生
		(72) 発明者	林 健太郎
			長崎県長崎市深堀町五丁目717番1号
			三菱重工株式会社 長崎研究所内
		(72) 発明者	細谷 浩之
			長崎県長崎市深堀町五丁目717番1号
			三菱重工株式会社 長崎研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 風力発電装置及びそのブレードピッチ角制御方法並びにプログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数の風車ブレードと、該風車ブレードのピッチ角を個別に制御するブレードピッチ角制御手段を備える風力発電装置であって、

前記ブレードピッチ角制御手段は、

風速、発電機の回転数、または出力要求のうち少なくともいずれか1つに基づいて決定された目標ピッチ角と各前記風車ブレードの実ピッチ角とから前記風車ブレード毎に第1ピッチ角指令値を算出する指令値算出手段と、

前記風車ブレードの回転速度と予め設定されている所定の観測地点から前記風車ブレードまでの距離とをパラメータとした関数を備え、該関数を用いて騒音の指標値を風車ブレード毎に算出し、該騒音の指標値が所定の閾値以上である風車ブレードに対して、その風車ブレードの該第1ピッチ角指令値をフェザー側に補正するための既定のピッチ角補正值を出力する補正值出力手段と、

前記指令値算出手段によって算出された第1ピッチ角指令値と、前記補正值出力手段によって出力されたピッチ角補正值とに基づいて、各前記風車ブレードの第2ピッチ角指令値をそれぞれ算出するピッチ角算出手段とを具備することを特徴とする風力発電装置。

【請求項2】

複数の風車ブレードと、該風車ブレードのピッチ角を個別に制御するブレードピッチ角制御手段を備える風力発電装置であって、

10

20

前記ブレードピッチ角制御手段は、

前記風車ブレードの回転速度と予め設定されている所定の観測地点から前記風車ブレードまでの距離とをパラメータとした関数を備え、該関数を用いて騒音の指標値を風車ブレード毎に算出し、該騒音の指標値が所定の閾値以上である風車ブレードに対して、その風車ブレードのピッチ角をフェザー側に補正するための既定のピッチ角補正值を出力する補正值出力手段と、

風速、発電機の回転数、または出力要求のうち少なくとももいずれか1つに基づいて決定された目標ピッチ角を算出し、該目標ピッチ角を前記補正值出力手段から与えられたピッチ角補正值によって補正し、補正後の目標ピッチ角と各前記風車ブレードの実ピッチ角とから前記風車ブレード毎にピッチ角指令値を算出する指令値算出手段と
10
を具備することを特徴とする風力発電装置。

【請求項3】

前記補正值出力手段において、前記関数は、波動方程式の近似式であることを特徴とする請求項1または請求項2に記載の風力発電装置。

【請求項4】

前記補正值出力手段において、前記所定の閾値は、風車の大きさや風車が設置される環境に応じて設定されていることを特徴とする請求項1から請求項3のいずれかに記載の風力発電装置。

【請求項5】

複数の風車ブレードと、該風車ブレードのピッチ角を個別に制御する風力発電装置のブレードピッチ角制御方法であって、
20

風速、発電機の回転数、または出力要求のうち少なくとももいずれか1つに基づいて決定された目標ピッチ角と各前記風車ブレードの実ピッチ角とから前記風車ブレード毎に第1ピッチ角指令値を算出する過程と、

前記風車ブレードの回転速度と予め設定されている所定の観測地点から前記風車ブレードまでの距離とをパラメータとした関数を備え、該関数を用いて騒音の指標値を風車ブレード毎に算出し、該騒音の指標値が所定の閾値以上である風車ブレードに対して、その風車ブレードの該第1ピッチ角指令値をフェザー側に補正するための既定のピッチ角補正值を出力する過程と、

前記第1ピッチ角指令値と、前記ピッチ角補正值とに基づいて、各前記風車ブレードの第2ピッチ角指令値をそれぞれ算出する過程と
30
を有するブレードピッチ角制御方法。

【請求項6】

複数の風車ブレードと、該風車ブレードのピッチ角を個別に制御する風力発電装置のブレードピッチ角制御プログラムであって、

風速、発電機の回転数、または出力要求のうち少なくとももいずれか1つに基づいて決定された目標ピッチ角と各前記風車ブレードの実ピッチ角とから前記風車ブレード毎に第1ピッチ角指令値を算出する処理と、

前記風車ブレードの回転速度と予め設定されている所定の観測地点から前記風車ブレードまでの距離とをパラメータとした関数を備え、該関数を用いて騒音の指標値を風車ブレード毎に算出し、該騒音の指標値が所定の閾値以上である風車ブレードに対して、その風車ブレードの該第1ピッチ角指令値をフェザー側に補正するための既定のピッチ角補正值を出力する処理と、
40

前記第1ピッチ角指令値と、前記ピッチ角補正值とに基づいて、各前記風車ブレードの第2ピッチ角指令値をそれぞれ算出する処理と
をコンピュータに実行させるためのブレードピッチ角制御プログラム。

【請求項7】

複数の風車ブレードと、該風車ブレードのピッチ角を個別に制御する風力発電装置のブレードピッチ角制御方法であって、

前記風車ブレードの回転速度と予め設定されている所定の観測地点から前記風車ブレード
50

ドまでの距離とをパラメータとした関数を用いて騒音の指標値を風車ブレード毎に算出し、該騒音の指標値が所定の閾値以上である風車ブレードに対して、その風車ブレードのピッチ角をフェザー側に補正するための既定のピッチ角補正值を出力する過程と、

風速、発電機の回転数、または出力要求のうち少なくともともいづれか1つに基づいて決定された目標ピッチ角を算出し、該目標ピッチ角をピッチ角補正值によって補正し、補正後の目標ピッチ角と各前記風車ブレードの実ピッチ角とから前記風車ブレード毎にピッチ角指令値を算出する過程と

を有するブレードピッチ角制御方法。

【請求項8】

複数の風車ブレードと、該風車ブレードのピッチ角を個別に制御する風力発電装置のブレードピッチ角制御プログラムであって、

10

前記風車ブレードの回転速度と予め設定されている所定の観測地点から前記風車ブレードまでの距離とをパラメータとした関数を用いて騒音の指標値を風車ブレード毎に算出し、該騒音の指標値が所定の閾値以上である風車ブレードに対して、その風車ブレードのピッチ角をフェザー側に補正するための既定のピッチ角補正值を出力する処理と、

風速、発電機の回転数、または出力要求のうち少なくともともいづれか1つに基づいて決定された目標ピッチ角を算出し、該目標ピッチ角をピッチ角補正值によって補正し、補正後の目標ピッチ角と各前記風車ブレードの実ピッチ角とから前記風車ブレード毎にピッチ角指令値を算出する処理と

をコンピュータに実行させるためのブレードピッチ角制御プログラム。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、風力発電装置及びそのブレードピッチ角制御方法並びにプログラムに関するものである。

【背景技術】

【0002】

30

従来、風力発電装置の風車ブレードが回転する際の音が大きく、騒音となることが問題となっている。風車の騒音の主な要因には、翼端渦による騒音と翼面に発生する乱流境界層による騒音があり、これらの要因を考慮して風車ブレードからの騒音レベルを下げる方法が提案されている。例えば、風力発電装置の翼の回転数を下げることにより翼への流入速度を下げ、空力音を低減する方法が有効であることが知られている。また、回転数を下げずに空力音を低減する方法としては、例えば、翼への流入迎角を下げるという方法が知られている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

40

【特許文献1】特開2004-293527号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、従来の方法では、風力発電装置の回転数を下げるとトルクが大きくなり、増速機や軸系部品の重量増加となることから発電効率が悪くなるという問題点があった。また、翼への流入迎角を下げると、風力発電の効率が大幅に低下するという問題点があった。

【0005】

本発明は、上記問題を解決するためになされたもので、発電効率の性能低下を抑制しな

50

から風力発電の騒音を低減することのできる風力発電装置及び風力発電装置の制御方法並びにプログラム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】

【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、複数の風車ブレードと、該風車ブレードのピッチ角を個別に制御するブレードピッチ角制御手段を備える風力発電装置であって、前記ブレードピッチ角制御手段は、風速、発電機の回転数、または出力要求のうち少なくともいずれか1つに基づいて決定された目標ピッチ角と各前記風車ブレードの実ピッチ角とから前記風車ブレード毎に第1ピッチ角指令値を算出する指令値算出手段と、前記風車ブレードの回転速度と予め設定されている所定の観測地点から前記風車ブレードまでの距離とをパラメータとした関数を備え、該関数を用いて騒音の指標値を風車ブレード毎に算出し、該騒音の指標値が、所定の閾値以上である風車ブレードに対して、その風車ブレードの該第1ピッチ角指令値をフェザー側に補正するための既定のピッチ角補正值を出力する補正值出力手段と、前記指令値算出手段によって算出された第1ピッチ角指令値と、前記補正值出力手段によって出力されたピッチ角補正值とに基づいて、各前記風車ブレードの第2ピッチ角指令値をそれぞれ算出するピッチ角算出手段とを具備することを特徴とする風力発電装置を提供する。

10

【0007】

このような構成によれば、ブレードピッチ角制御手段が備える指令値算出手段においては、風速、発電機の回転数、または出力要求のうち少なくともいずれか1つに基づいて決定された目標ピッチ角と各前記風車ブレードの実ピッチ角とから風車ブレード毎の第1ピッチ角指令値が算出され、補正值出力手段において、風車ブレードの回転速度と観測地点からの距離とから騒音の指標値が風車ブレード毎に算出される。続いて、この騒音指標値が所定の閾値以上であった風車ブレードに対しては、予め設定されているピッチ角補正值を出力する。ここでピッチ角補正值は、当該風車ブレードの第1ピッチ角指令値をフェザー側に補正するための値である。そして、ピッチ角算出手段においては、指令値算出手段によって算出されたそれぞれの風車ブレードの第1ピッチ角指令値と補正值出力手段によって出力されたそれぞれの風車ブレードに対する補正指令値とに基づいて、各風車ブレードの第2ピッチ角指令値が算出される。

20

【0008】

このように、回転速度と観測地点からの距離とから算出される騒音の指標値に基づいて第1ピッチ角指令値をフェザー側に補正するので、騒音を最も発する風車ブレードのピッチ角をフェザー側に制御することができ、騒音を低減させることが可能となる。

30

【0009】

また、第1ピッチ角指令が補正される風車ブレードは、回転速度及び観測地点からの距離に依存する騒音の指標値が所定の閾値以上の風車ブレードに限られるので、その他の風車ブレード、即ち、騒音の指標値が所定の閾値より小さい風車ブレードについては、補正されることなく、指令値算出手段によって算出された第1ピッチ角指令値によってピッチ角が制御されることとなる。

このように、第1ピッチ角指令値がフェザー側に補正される風車ブレードの台数を制限するので、全ての風車ブレードのピッチ角をフェザー側に制御して騒音を低下させる場合と比較すると、風車の性能の低下を抑制することができる。

40

【0010】

本発明は、複数の風車ブレードと、該風車ブレードのピッチ角を個別に制御するブレードピッチ角制御手段を備える風力発電装置であって、前記ブレードピッチ角制御手段は、前記風車ブレードの回転速度と予め設定されている所定の観測地点から前記風車ブレードまでの距離とをパラメータとした関数を備え、該関数を用いて騒音の指標値を風車ブレード毎に算出し、該騒音の指標値が所定の閾値以上である風車ブレードに対して、その風車ブレードのピッチ角をフェザー側に補正するための既定のピッチ角補正值を出力する補正值出力手段と、風速、発電機の回転数、または出力要求のうち少なくともいずれか1つに

50

基づいて決定された目標ピッチ角を算出し、該目標ピッチ角を前記補正值出力手段から与えられたピッチ角補正值によって補正し、補正後の目標ピッチ角と各前記風車ブレードの実ピッチ角とから前記風車ブレード毎にピッチ角指令値を算出する指令値算出手段とを具備することを特徴とする風力発電装置を提供する。

【0011】

このような構成によれば、ブレードピッチ角制御手段が備える補正值出力手段において、風車ブレードの回転速度と観測地点からの距離とから騒音の指標値が風車ブレード毎に算出される。続いて、この騒音指標値が所定の閾値以上であった風車ブレードに対しては、予め設定されているピッチ角補正值を指令値算出手段に出力する。指令値算出手段においては、風速、発電機の回転数、または出力要求のうち少なくともいずれか1つに基づいて決定された目標ピッチ角を算出し、目標ピッチ角を補正值出力手段から与えられたピッチ角補正值によって補正し、補正後の目標ピッチ角と各風車ブレードの実ピッチ角とから風車ブレード毎のピッチ角指令値が算出される。算出されたピッチ角指令値は、フェザー側に補正するための値である。

10

【0012】

このように、回転速度と観測地点からの距離とから算出される騒音の指標値に基づいて目標ピッチ角をフェザー側に補正するので、騒音を最も発する風車ブレードのピッチ角をフェザー側に制御することができ、騒音を低減させることが可能となる。

【0013】

また、目標ピッチ角が補正される風車ブレードは、回転速度及び観測地点からの距離に依存する騒音の指標値が所定の閾値以上の風車ブレードに限られるので、その他の風車ブレード、即ち、騒音の指標値が所定の閾値より小さい風車ブレードについては、補正されることがない。

20

このように、目標ピッチ角がフェザー側に補正される風車ブレードの台数を制限するので、全ての風車ブレードのピッチ角をフェザー側に制御して騒音を低下させる場合と比較すると、風車の性能の低下を抑制することができる。

【0014】

上記風力発電装置は、前記補正值出力手段において、前記関数は、波動方程式の近似式であることとしてもよい。

【0015】

このように、波動方程式を近似した関数を用いて騒音の指標値が算出されるので、騒音の指標値を簡便に、かつ、精度よく算出することができる。

30

【0016】

上記風力発電装置は、前記補正值出力手段において、前記所定の閾値は、風車の大きさや風車が設置される環境に応じて設定されていてもよい。

【0017】

このように、補正指令値出力手段は、風車の大きさや風車が設置される環境に基づく騒音レベルの閾値に基づいてピッチ角の補正を行うか否かを判定するので、環境に応じた風車ブレードのピッチ角補正を行うことができる。

【0018】

本発明は、複数の風車ブレードと、該風車ブレードのピッチ角を個別に制御する風力発電装置のブレードピッチ角制御方法であって、風速、発電機の回転数、または出力要求のうち少なくともいずれか1つに基づいて決定された目標ピッチ角と各前記風車ブレードの実ピッチ角とから前記風車ブレード毎に第1ピッチ角指令値を算出する過程と、前記風車ブレードの回転速度と予め設定されている所定の観測地点から前記風車ブレードまでの距離とをパラメータとした関数を備え、該関数を用いて騒音の指標値を風車ブレード毎に算出し、該騒音の指標値が所定の閾値以上である風車ブレードに対して、その風車ブレードの該第1ピッチ角指令値をフェザー側に補正するための既定のピッチ角補正值を出力する過程と、前記第1ピッチ角指令値と、前記ピッチ角補正值とに基づいて、各前記風車ブレードの第2ピッチ角指令値をそれぞれ算出する過程とを有することを特徴とする風力発電

40

50

装置を提供する。

【0019】

本発明は、複数の風車ブレードと、該風車ブレードのピッチ角を個別に制御する風力発電装置のブレードピッチ角制御プログラムであって、風速、発電機の回転数、または出力要求のうち少なくともともいづれか1つに基づいて決定された目標ピッチ角と各前記風車ブレードの実ピッチ角とから前記風車ブレード毎に第1ピッチ角指令値を算出する処理と、前記風車ブレードの回転速度と予め設定されている所定の観測地点から前記風車ブレードまでの距離とをパラメータとした関数を備え、該関数を用いて騒音の指標値を風車ブレード毎に算出し、該騒音の指標値が所定の閾値以上である風車ブレードに対して、その風車ブレードの該第1ピッチ角指令値をフェザー側に補正するための既定のピッチ角補正值を出力する処理と、前記第1ピッチ角指令値と、前記ピッチ角補正值とに基づいて、各前記風車ブレードの第2ピッチ角指令値をそれぞれ算出する処理とをコンピュータに実行させるための風力発電装置のブレードピッチ角制御プログラムを提供する。

10

【0020】

本発明は、複数の風車ブレードと、該風車ブレードのピッチ角を個別に制御する風力発電装置のブレードピッチ角制御方法であって、前記風車ブレードの回転速度と予め設定されている所定の観測地点から前記風車ブレードまでの距離とをパラメータとした関数を用いて騒音の指標値を風車ブレード毎に算出し、該騒音の指標値が所定の閾値以上である風車ブレードに対して、その風車ブレードのピッチ角をフェザー側に補正するための既定のピッチ角補正值を出力する過程と、風速、発電機の回転数、または出力要求のうち少なくともともいづれか1つに基づいて決定された目標ピッチ角を算出し、該目標ピッチ角をピッチ角補正值によって補正し、補正後の目標ピッチ角と各前記風車ブレードの実ピッチ角とから前記風車ブレード毎にピッチ角指令値を算出する過程とを有する風力発電装置のブレードピッチ角制御方法を提供する。

20

【0021】

本発明は、複数の風車ブレードと、該風車ブレードのピッチ角を個別に制御する風力発電装置のブレードピッチ角制御プログラムであって、前記風車ブレードの回転速度と予め設定されている所定の観測地点から前記風車ブレードまでの距離とをパラメータとした関数を用いて騒音の指標値を風車ブレード毎に算出し、該騒音の指標値が所定の閾値以上である風車ブレードに対して、その風車ブレードのピッチ角をフェザー側に補正するための既定のピッチ角補正值を出力する処理と、風速、発電機の回転数、または出力要求のうち少なくともともいづれか1つに基づいて決定された目標ピッチ角を算出し、該目標ピッチ角をピッチ角補正值によって補正し、補正後の目標ピッチ角と各前記風車ブレードの実ピッチ角とから前記風車ブレード毎にピッチ角指令値を算出する処理とをコンピュータに実行させるための風力発電装置のブレードピッチ角制御プログラムを提供する。

30

【発明の効果】

【0022】

本発明によれば、風力発電装置の性能低下を抑制しながら騒音を低減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】

40

【0023】

【図1】本発明に係る風力発電装置の概略構成を示す図である。

【図2】アジマス角度を説明するための図である。

【図3】本発明に係るブレードピッチ角制御部の概略構成を示すブロック図である。

【図4】目標ピッチ角設定部が備える関数式について説明するための平均風速と目標ピッチ角との関係の一例を示した図である。

【図5】時間と騒音の関係の一例を示した図である。

【図6】風力発電装置の第1風車ブレードのピッチ角補正を行う場合の時間と騒音との関係の一例を示した図である。

【図7】アジマス角と風力発電装置の出力エネルギーとの関係の一例を示した図である。

50

【図 8】本発明の変形例に係るブレードピッチ角制御部の概略構成を示すブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0024】

以下に、本発明に係る風力発電装置の一実施形態について、図面を参照して説明する。

【0025】

図 1 は、本発明に係る風力発電装置の概略構成を示した図である。本実施形態に係る風力発電装置は、固定速方式、可変速方式の風力発電装置のいずれでもよい。

図 1 に示されるように風力発電装置 1 は、3 枚の風車ブレード 10、風車ロータ 11、発電機 12、電力変換器 16、風速計 30、回転速度検出部 31、アジマス角度検出部 32、ピッチ角検出部 33、ヨー角検出部 34、及びピッチ角駆動機構 40 を備えている。

10

【0026】

図 1 に示されるように、3 枚の風車ブレード 10 は風車ロータ 11 に取り付けられており、風車ロータ 11 の主軸には、発電機 12 が連結されている。発電機 12 は、電力変換器 16 と接続されており、さらに、電力変換器 16 は電力系統 17 と接続されている。

発電機 12 は、例えば、かご形誘導発電機等である。また、発電機 12 と電力変換器 16 との間、及び電力変換器 16 と電力系統 17 との間は、例えば、3 相の電力線により接続されている。

【0027】

風車ブレード 10 の付近には、風速を計測する風速計 30 が設けられている。発電機 12 と電力変換器 16 とを接続する電力線には、回転速度検出部 31、アジマス角度検出部 32、ピッチ角検出部 33、及びヨー角検出部 34 が設けられている。また、回転速度検出部 31、アジマス角度検出部 32、ピッチ角検出部 33、及びヨー角検出部 34 は、例えば、ローターヘッド内部またはナセル内部に設けられている。

20

【0028】

風速計 30 は、計測した風速 v をブレードピッチ角制御部（ブレードピッチ角制御手段）20 に出力する。

【0029】

アジマス角度検出部 32 は、風車ブレード毎のアジマス角度を検出し、ブレードピッチ角制御部 20 に出力する。アジマス角度とは、図 2 に示されるように、風車ブレードの回転面において、所定の基準と風車ブレードとのなす角をいい、本実施形態では、風車ブレードが最上部に位置したときを基準としている。従って、風車ブレードが風車の最上部に位置したときのアジマス角度は 0° 、最下部に位置したときのアジマス角度は 180° である。

30

アジマス角度検出部 32 は、所定の時間間隔で第 1 風車ブレード、第 2 風車ブレード、第 3 風車ブレードのアジマス角度 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 を検出し、ブレードピッチ角制御部 20 に出力する。例えば、アジマス角度は、回転軸に設けられたロータリーエンコーダの出力から求めることができる。

【0030】

回転速度検出部 31 は、所定の時間間隔で風車ブレードの回転速度 M_0 を検出し、回転速度 M_0 をブレードピッチ角制御部 20 に出力する。

40

ピッチ角検出部 33 は、所定の時間間隔で第 1 風車ブレード、第 2 風車ブレード、第 3 風車ブレードのピッチ角 w_1 、 w_2 、 w_3 を検出し、各実ピッチ角 w をブレードピッチ角制御部 20 に出力する。

ヨー角検出部 34 は、所定の時間間隔で風車のヨー角を検出し、ブレードピッチ角制御部 20 に出力する。

【0031】

ブレードピッチ角制御部 20 は、風速 v 、回転速度 M_0 、アジマス角度、ヨー角、及び実ピッチ角 w 等に基づいて、ピッチ角を設定し、このピッチ角を第 2 ピッチ角指令値として出力する。なお、このブレードピッチ角制御部 20 の詳細については後述する。

50

【 0 0 3 2 】

ピッチ角駆動機構 4 0 は、ブレードピッチ角制御部 2 0 から入力される第 2 ピッチ角指令値 に基づき風車ブレード 1 0 のピッチ角を駆動するもので、その構造等は従来のものと同等であり、例えば、モータや油圧シリンダなどが用いられている。

上述した発電機 1 2 及びピッチ角駆動機構 4 0 は、例えば、風車ロータ 1 1 の後方、つまり、図 1 において風車ロータ 1 1 の右側に設置される図示しないロータヘッド内部またはナセル内部に配置されるものである。また、風速計 3 0 は、例えば、このナセルの外壁に取り付けられるものである。

【 0 0 3 3 】

このように構成された風力発電装置において、風力エネルギーは、風車ロータ 1 1 に取り付けられた 3 枚の風車ブレード 1 0 と風車ロータ 1 1 とを回転させる。この回転力が主軸により発電機 1 2 に伝達され、風車ロータ 1 1 に連結されている発電機 1 2 を駆動させる。これにより、発電機 1 2 は発電し、3 相交流電力を出力する。この 3 相交流電力は、電力変換器 1 6 により、電力系統 1 7 に適した周波数等に調整された後、電力系統 1 7 に出力される。

10

【 0 0 3 4 】

次に、本実施形態に係るブレードピッチ角制御部 2 0 の構成について詳細に説明する。

ブレードピッチ角制御部 2 0 は、例えば、コンピュータであり、図示しない C P U (中央演算装置)、R O M (Read Only Memory)、R A M (Random Access Memory) 等から構成されている。後述の各種機能を実現するための一連の処理の過程は、プログラムの形式で R O M 等に記録されており、このプログラムを C P U が R A M 等に読み出して、情報の加工・演算処理を実行することにより、後述の各種機能が実現される。

20

図 3 は、ブレードピッチ角制御部 2 0 の概略構成を示すブロック図である。図 3 に示されるようにブレードピッチ角制御部 2 0 は、指令値算出部 (指令値算出手段) 2 1、補正值出力部 (補正值出力手段) 2 2、及びピッチ角算出部 (ピッチ角算出手段) 2 3 を備えて構成されている。

【 0 0 3 5 】

指令値算出部 2 1 は、目標ピッチ角設定部 2 1 1、P I 制御器 2 1 2 とを備えて構成されており、風速に応じた目標ピッチ角と各風車ブレードの実ピッチ角とから風車ブレード毎に第 1 ピッチ角指令値 w_{11} 、 w_{12} 、 w_{13} を算出する。

30

【 0 0 3 6 】

目標ピッチ角設定部 2 1 1 は、風速計 3 0 から入力された風速 v の情報に基づいて、目標ピッチ角を設定する。この目標ピッチ角設定部 2 1 1 は、例えば、図 4 に示すような風速 v の情報 (例えば、1 分間における平均の風速) と目標ピッチ角との関係から導出される関数式を算出する関数発生器を備えており、この関数式に風速計 3 0 から入力される平均風速を代入することにより目標ピッチ角を算出する。このように、設定された目標ピッチ角は、P I 制御器 2 1 2 に入力される。

【 0 0 3 7 】

なお、本実施形態においては、目標ピッチ角は 1 分間の平均風速に基づいて算出していたが、これに限定されない。例えば、平均風速でなく、瞬時風速を用いても良いし、または、1 分よりも長い時間における平均風速を用いるようにしてもよいこととする。さらに、採用される風速は、適宜設定できることとしてもよい。

40

【 0 0 3 8 】

また、本実施形態においては、目標ピッチ角は関数発生器により設定されることとしていたが、これに限定されない。例えば、関数式による目標ピッチ角の算出手法に代えて、図 4 に示したようなテーブルを備えておき、このテーブルを参照することにより、目標ピッチ角を設定することとしてもよい。

【 0 0 3 9 】

P I 制御器 2 1 2 は、ピッチ角検出部 3 3 (図 1 参照) から入力される実ピッチ角 w_1 、 w_2 、 w_3 と、前段の目標ピッチ角設定部 2 1 1 により算出された目標ピッチ角とに基

50

づいて、各風車ブレードの第1ピッチ角指令値を設定する。具体的には、PI制御器212は、目標ピッチ角と実ピッチ角との差分を算出し、この差分に基づいて比例積分(PI)演算を行う。これにより、各風車ブレードの第1ピッチ角指令値 θ_{11} 、 θ_{12} 、 θ_{13} を算出し、ピッチ角算出部23に出力する。

【0040】

補正值出力部22は、距離設定部221及び騒音指標値算出部222を備えており、指令値算出部21により算出された第1ピッチ角指令値を補正するためのピッチ角補正值を算出する。

【0041】

距離設定部221は、アジマス角度検出部32(図1参照)から検出されたアジマス角度 α 及びヨー角検出部34(図1参照)から検出されたヨー角 β に基づいて、観測地点から風車ブレードまでの距離を検出し、後段の騒音指標値算出部222に出力する。

具体的には、距離設定部221は、予め設定されている所定の観測地点A、風車ブレードのアジマス角度 α 、ヨー角 β 、及び観測地点Aと風車ブレードとの距離 R_e が対応付けられたテーブルを備えている。

距離設定部221は、アジマス角度検出部32において検出された各風車ブレードのアジマス角度 α_1 、 α_2 、 α_3 が入力されると、自身の持つ上記テーブルを参照し、入力されたアジマス角度に対応する距離 R_{e1} 、 R_{e2} 、 R_{e3} の情報を取得し、これらを騒音指標値算出部222に出力する。

【0042】

騒音指標値算出部222は、風車ブレードの回転速度 M_o と距離設定部221から入力された距離 R_e の情報をパラメータとした関数を備えている。騒音指標値算出部222は、該関数を用いて風車ブレード毎に騒音の指標値を算出し、騒音の指標値が所定の閾値以上である風車ブレードに対して、その風車ブレードの第1ピッチ角指令値をフェザー側に補正する補正值を算出する。

【0043】

例えば、上記関数とは波動方程式の近似式であり、以下の(1)式で示される。(1)式は、観測地点Aにおける音圧 p^\pm (騒音の指標値)を示している。(1)式において、 R_e は観測地点Aと風車ブレードとの距離ベクトル、 M_o は速度ベクトル、 θ^\pm は R_e と M_o の各ベクトルが成す角度、 P_o は密度、 t は時刻、 C_o は音速、 q_o' は騒音源のレベル(湧き出し分布の係数の微分)を示す。

【数1】

$$p^\pm = \pm P_o \left[\frac{q_o' \left(t - \frac{R_e^\pm}{C_o} \right)}{4\pi R_e^\pm (1 - M_o \cos \theta^\pm)^2} \right] \dots (1)$$

【0044】

これによって算出された各風車ブレードの騒音の指標値 p^\pm は、図5のように示される。図5は、横軸に時間、縦軸に騒音量を示している。

【0045】

10

20

30

40

50

続いて、騒音指標値算出部 2 2 2 は、算出された騒音の指標値 p^* と所定の閾値 T_h とを比較し、騒音の指標値 p^* が所定の閾値 T_h を超えているか否かを判定する。

風車ブレードの騒音の指標値 p^* が所定の閾値 T_h を超えている場合には、その風車ブレードに対して、前段で算出された第 1 ピッチ角指令値を補正するピッチ角補正值を各風車ブレード毎に出力する。ここで、出力されるピッチ角補正值 2_1 、 2_2 、 2_3 は、騒音指標値算出部 2 2 2 に予め登録されている値であり、例えば、 0° から 10° 以内である。

また、騒音の指標値 p^* が、所定の閾値 T_h を超えていない場合には、特にピッチ角補正值は出力されない。

【 0 0 4 6 】

例えば、第 1 から第 3 の 3 枚の風車ブレードの騒音の指標値 p_1^* 、 p_2^* 、 p_3^* のうち、所定の閾値 T_h を超える騒音の指標値 p^* が p_1^* のみであった場合には、第 1 風車ブレードのみに対してピッチ角の補正を行う指令を出力し、他の 2 枚の風車ブレードに対しては、特に何もしない。このように補正がされた後の騒音の指標値 p_1^* は、図 6 のように示される。図 6 は、横軸に時間、縦軸に騒音量を示している。

また、図 7 は横軸にアジマス角、縦軸に出力エネルギーを示している。図 7 に示されるように、出力エネルギーは、3 枚の風車ブレードが所定のアジマス角となる箇所だけ低減している。このように、閾値 T_h を超える風車ブレードのみのピッチ角を補正するので、風力発電装置としての出力エネルギーの低減量は、3 枚の風車ブレードのうち、1 枚の風車ブレードの出力エネルギー低減分で済むこととなる。

【 0 0 4 7 】

より具体的には、1 枚の風車ブレードのみに対してピッチ角が補正される場合とは、観測地点からの距離が最も近い位置にある風車ブレードのみがピッチ角制御されるような場合である。

【 0 0 4 8 】

ピッチ角算出部 2 3 は、指令値算出部 2 1 によって算出された第 1 ピッチ角指令値 1_1 、 1_2 、 1_3 と、補正值出力部 2 2 によって出力されたピッチ角補正值 2_1 、 2_2 、 2_3 とに基づいて、各風車ブレードを個別に制御するための第 2 ピッチ角指令値 1_1 、 2_1 、 2_2 、 3_1 をそれぞれ算出する。

具体的には、第 1 ピッチ角指令値 1_1 、 1_2 、 1_3 と、各風車ブレードに対して設定されたピッチ角補正值 2_1 、 2_2 、 2_3 とを加算することにより、第 2 ピッチ角指令値 1_1 、 2_1 、 3_1 を得る。そして、各風車ブレードに対応して個別に得られた第 2 ピッチ角指令値 1_1 、 2_1 、 3_1 を各風車ブレードのピッチ角駆動機構 4 0 (図 1 参照) に出力する。

【 0 0 4 9 】

次に、このようなブレードピッチ角制御部 2 0 の作用を説明する。

まず、目標ピッチ角設定部 2 1 1 には、風速に基づいて最適なピッチ角を得るための関数式、或いはテーブルなどが備えられている。目標ピッチ角設定部 2 1 1 において、風速計 3 0 から入力された風速と、目標ピッチ角設定部 2 1 1 に備えられた関数式又はテーブル等とから目標ピッチ角が設定され、P I 制御器 2 2 2 に出力される。また、ピッチ角検出部 3 3 により検出された各風車ブレードの実ピッチ角は、P I 制御器 2 2 2 に入力される。P I 制御器 2 2 2 において、前段から入力された目標ピッチ角と実ピッチ角の差分が算出され、この差分に基づいて比例積分 (P I) 演算が行われることにより第 1 ピッチ角指令値が算出される。算出された第 1 ピッチ角指令値は、ピッチ角算出部 2 3 に出力される。

【 0 0 5 0 】

続いて、補正值出力部 2 2 の距離設定部 2 2 1 には、観測地点、風車ブレードのアジマス角度、ヨー角、観測地点から風車ブレードまでの距離 R_e とを対応付けるテーブルが備えられている。距離設定部 2 2 1 において、距離設定部 2 2 1 に備えられたテーブル等が参照され、アジマス角度検出部 3 2 から入力されたアジマス角度に対応する距離 R_e

10

20

30

40

50

が、騒音指標値算出部 2 2 2 に出力される。

【 0 0 5 1 】

騒音指標値算出部 2 2 2 には、騒音の指標値を算出する関数が備えられている。騒音指標値算出部 2 2 2 において、指令値算出部 2 1 から入力された第 1 ピッチ角指令値と、距離設定部 2 2 1 から入力された距離 R_e の情報と、回転速度検出部 3 1 から入力された風車ブレードの回転速度 M_o とに基づいて、騒音指標値算出部 2 2 2 の備える関数によって騒音の指標値 p^* が算出される。さらに、騒音指標値算出部 2 2 2 において、騒音の指標値 p^* が、所定の閾値 T_h を超えているか否かが判定される。騒音の指標値 p^* が所定の閾値 T_h を超えている場合には、その風車ブレードに対してピッチ角算出部 2 3 にピッチ角補正值が出力される。また、騒音の指標値 p^* が所定の閾値 T_h を超えていない場合には、特に何も出力されない。

10

【 0 0 5 2 】

ピッチ角算出部 2 3 において、各風車ブレードの第 1 ピッチ角制御値とピッチ角補正值とが加算され、第 2 ピッチ角指令値が算出される。算出された風車ブレード毎の第 2 ピッチ角指令値は、ピッチ角駆動機構 4 0 に出力される。ピッチ角駆動機構 4 0 において、各風車ブレードは、ピッチ角算出部 2 3 から取得した各風車ブレードの第 2 ピッチ角指令値のピッチ角分、空力出力が減少するフェザー側に制御される。

【 0 0 5 3 】

以上説明してきたように、本実施形態に係る風力発電装置によれば、各風車ブレードの実ピッチ角と風速に応じた目標ピッチ角とで、風車ブレード毎の第 1 ピッチ角指令値を算出する。また、風車ブレードの回転速度及び観測地点と風車ブレードとの間の距離とに基づいて算出される騒音の指標値が所定の閾値を超えているか否かに基づいて、風車ブレード毎にピッチ角補正值が決定される。このように算出された第 1 ピッチ角指令値は、ピッチ角補正值によって補正され、第 2 ピッチ角指令値として、ピッチ角駆動を制御するピッチ角駆動機構 4 0 に出力される。

20

【 0 0 5 4 】

これにより、第 2 ピッチ角指令値は風車ブレード毎に算出されるので、騒音を低減させるための制御は風車ブレード毎に行われることとなる。観測地点において、最も音が大きく聞こえる位置となる風車ブレード（例えば、観測地点から最も近い距離になる風車ブレード）のみに対してピッチ角の補正が行われ、他の風車ブレードには補正が行われない場合には、3 枚の風車ブレードを一様に同じピッチ角補正をする場合と比較して、出力エネルギーの低減分は、 $1/3$ となる。このように、出力エネルギーの低減を抑制することが可能となる。

30

【 0 0 5 5 】

また、ピッチ角補正值を算出する過程において、観測する地点や風車ブレードの回転速度をパラメータとして使用するのので、これらのパラメータに応じて、第 1 ピッチ角指令値の補正を行うか否かの判定結果が変動する。つまり、風車ブレードのピッチ角が補正される風車ブレードのアジマス角度の範囲は、観測地点や回転速度に応じて変更されることとなる。これにより、風力発電装置の稼働状況や観測地点の場所に応じた出力エネルギーの低減を抑制できるとともに、効果的な騒音の低減が可能となる。

40

【 0 0 5 6 】

〔 変形例 〕

なお、本実施形態に係る風力発電装置において、風速に基づいて設定される目標ピッチ角と各風車ブレードの実ピッチ角とから風車ブレード毎に第 1 ピッチ角指令値を算出し、この第 1 ピッチ角指令値を、補正值出力部 2 2 により算出されたピッチ角補正值によって補正することにより、第 2 ピッチ角指令値を出力することとしていたが、これに限られない。例えば、図 8 に示されるように、風速に基づいて設定される目標ピッチ角を、補正值出力部 2 2 により算出されたピッチ角補正值によって補正し、補正された目標ピッチ角と各風車ブレードの実ピッチ角とを $P I$ 制御することにより、各風車ブレードのピッチ角指令値を出力することとしてもよい。

50

【 0 0 5 7 】

また、本実施形態に係る風力発電装置において、指令値算出部 2 1 は風速 v に応じて目標ピッチ角を設定することとしていたが、これに限定されない。例えば、指令値算出部 2 1 は目標ピッチ角を、発電機回転数に応じて設定されることとしてもよいし、出力要求に応じて設定することとしてもよい。

【 0 0 5 8 】

なお、本実施形態に係る風力発電装置において、複数の風車ブレードの枚数は 3 枚としていたが、風車ブレードの枚数は特に限定されない。

【 0 0 5 9 】

また、本実施形態に係る風力発電装置において、ピッチ角補正值は所定の閾値 T_h を超えたか否かに応じて予め登録されている値を出力することとしていたが、これに限定されない。例えば、所定の閾値 T_h を超える度合いに応じて、出力する所定の角度を複数設けることとしてもよい。

10

【 0 0 6 0 】

また、本実施形態に係る風力発電装置において、観測地点は所定の 1 つの地点であることとしていたが、これに限定されない。例えば、民家や町等の任意の地点を観測地点とすることとしてもよい。

【 0 0 6 1 】

また、騒音の指標値 p^* と比較する所定の閾値 T_h は、風車の大きさや風車が設置される環境に応じて設定するとよい。

20

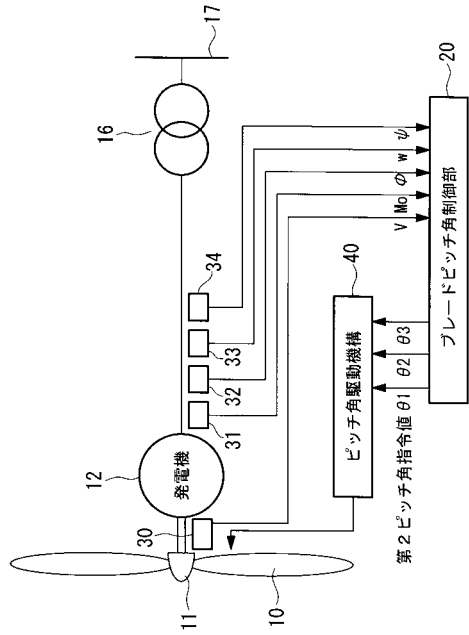
【符号の説明】

【 0 0 6 2 】

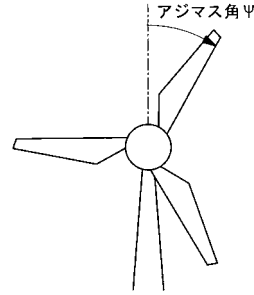
- 1 0 風車ブレード
- 1 1 風車ロータ
- 1 2 発電機
- 2 0 ブレードピッチ角制御部
- 2 1 指令値算出部
- 2 2 補正值出力部
- 2 3 ピッチ角算出部
- 4 0 ピッチ角駆動機構
- 2 1 1 目標ピッチ角設定部
- 2 1 2 P I 制御器
- 2 2 1 距離設定部
- 2 2 2 騒音指標値算出部

30

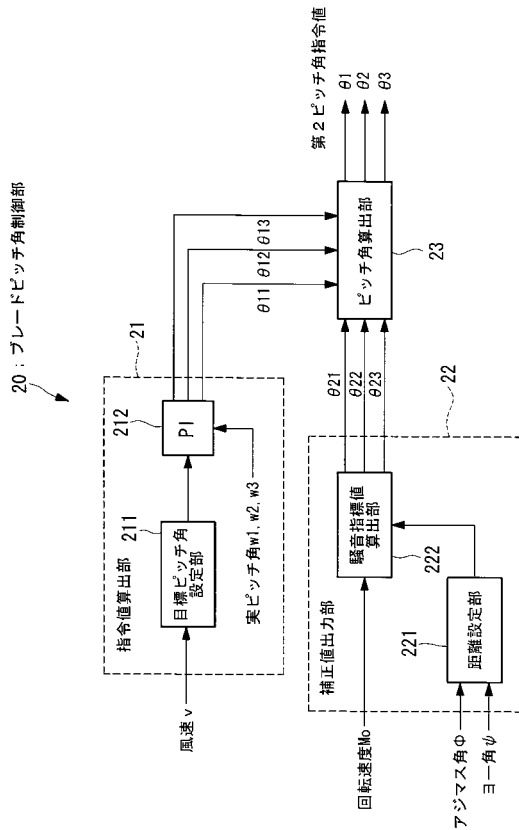
【図1】



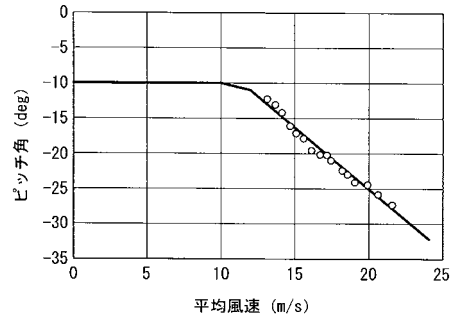
【図2】



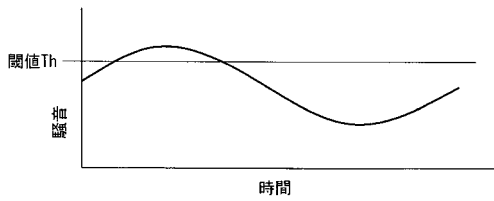
【図3】



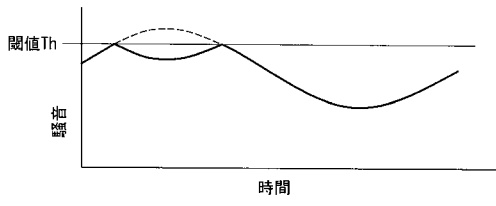
【図4】



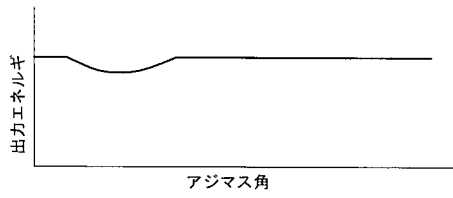
【図5】



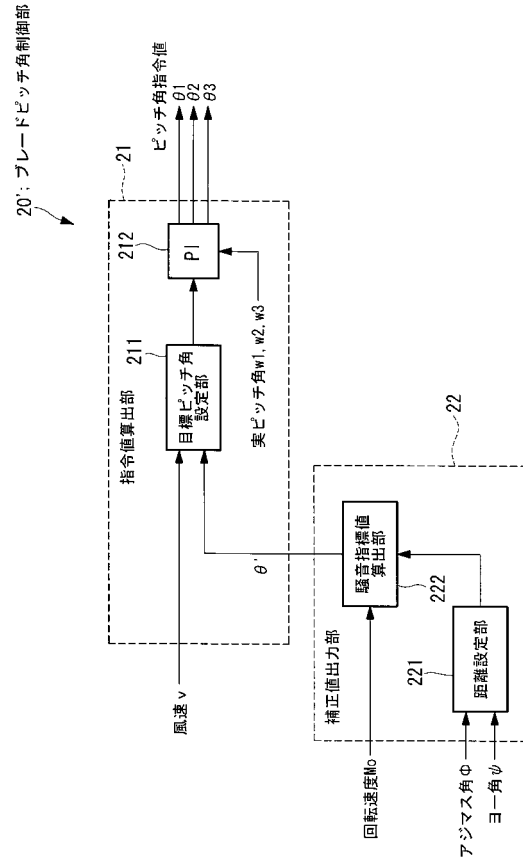
【図6】



【図7】



【図8】



フロントページの続き

(72)発明者 橋本 雅之

長崎県長崎市深堀町五丁目717番1号 三菱重工業株式会社 長崎研究所内

審査官 大谷 謙仁

(56)参考文献 特開2004-293527(JP,A)

特開2003-254227(JP,A)

特開2008-025434(JP,A)

特開2005-036749(JP,A)

特開2003-097414(JP,A)

特開2001-268994(JP,A)

特開2006-177354(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F03D 7/04