

【公報種別】特許法第 17 条の 2 の規定による補正の掲載
 【部門区分】第 5 部門第 1 区分
 【発行日】平成 29 年 1 月 12 日 (2017.1.12)

【公開番号】特開 2016-151249 (P2016-151249A)
 【公開日】平成 28 年 8 月 22 日 (2016.8.22)
 【年通号数】公開・登録公報 2016-050
 【出願番号】特願 2015-30232 (P2015-30232)
 【国際特許分類】

F 0 3 D 80/00 (2016.01)

F 0 3 D 7/04 (2006.01)

【 F I 】

F 0 3 D 11/00 Z

F 0 3 D 7/04 E

【手続補正書】
 【提出日】平成 28 年 11 月 24 日 (2016.11.24)
 【手続補正 1】
 【補正対象書類名】特許請求の範囲
 【補正対象項目名】全文
 【補正方法】変更
 【補正の内容】
 【特許請求の範囲】
 【請求項 1】

少なくとも一本のブレードを含むロータを備えた風力発電装置の制御方法であって、
 前記ロータの回転数を所定の回転数に制御するために制御するために前記ロータのトルクを制御する第 1 制御モードと、前記ロータの回転数を一定に維持するために前記ブレードのピッチ角を制御する第 2 制御モードとの間において、前記風力発電装置の制御モードを切り替える制御モード切替ステップを備え、

前記制御モード切替ステップでは、

前記ロータのトルク指令値が第 1 トルク閾値よりも大きいことを含む第 1 条件を満たしたとき、前記第 1 制御モードから前記第 2 制御モードに前記制御モードを切り替えて、前記ブレードのピッチ角指令値が第 2 ピッチ角閾値よりも小さくなるまで前記制御モードの切り替え時における前記トルク指令値を保持し、前記ピッチ角指令値が第 2 ピッチ角閾値よりも小さくなったときに前記トルク指令値を最大値まで増加させて該最大値で固定し、

前記ブレードのピッチ角指令値が第 1 ピッチ角閾値よりも大きいことを含む第 2 条件を満たしたとき、前記第 2 制御モードから前記第 1 制御モードに前記制御モードを切り替えて、前記トルク指令値が第 2 トルク閾値よりも小さくなるまで前記制御モードの切り替え時における前記ピッチ角指令値を保持し、前記トルク指令値が第 2 トルク閾値よりも小さくなったときに前記ピッチ角指令値を最大値まで増加させて該最大値で固定するとともに、

前記第 2 ピッチ角閾値は、前記第 1 ピッチ角閾値よりも小さく、

前記第 2 トルク閾値は、前記第 1 トルク閾値よりも小さい

ことを特徴とする風力発電装置の制御方法。

【請求項 2】

前記制御モード切替ステップでは、

前記第 1 制御モードにおいて前記ピッチ角指令値が最大値に固定されており、且つ、前記トルク指令値が前記第 1 トルク閾値よりも大きいとき、前記第 1 制御モードから前記第 2 制御モードに前記制御モードを切り替え、

前記第 2 制御モードにおいて前記トルク指令値が最大値に固定されており、且つ、前記ピッチ角指令値が前記第 1 ピッチ角閾値よりも大きいとき、前記第 2 制御モードから前記第 1 制御モードに前記制御モードを切り替える

ことを特徴とする請求項 1 に記載の風力発電装置の制御方法。

【請求項 3】

前記制御モード切替ステップでは、

前記ロータの回転数が定格回転数よりも大きい上限値以上になったとき、前記トルク指令値の大きさにかかわらず、前記第 1 制御モードから前記第 2 制御モードに前記制御モードを切り替え、

前記ロータの回転数が定格回転数よりも小さい下限値以下になったとき、前記ピッチ角指令値の大きさにかかわらず、前記第 2 制御モードから前記第 1 制御モードに前記制御モードを切り替える

ことを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の風力発電装置の制御方法。

【請求項 4】

少なくとも一本のブレードを含むロータを備えた風力発電装置の制御装置であって、

前記ロータの回転数を一定に維持するために前記ロータのトルクを制御する第 1 制御モードと、前記ロータの回転数を一定に維持するために前記ブレードのピッチ角を制御する第 2 制御モードとの間において、前記風力発電装置の制御モードを切り替えるように構成された制御モード切替部を備え、

前記制御モード切替部は、

前記ロータのトルク指令値が第 1 トルク閾値よりも大きいことを含む第 1 条件を満たしたとき、前記第 1 制御モードから前記第 2 制御モードに前記制御モードを切り替えて、前記ブレードのピッチ角指令値が第 2 ピッチ角閾値よりも小さくなるまで前記制御モードの切り替え時における前記トルク指令値を保持し、前記ピッチ角指令値が第 2 ピッチ角閾値よりも小さくなったときに前記トルク指令値を最大値まで増加させて該最大値で固定し、

前記ブレードのピッチ角指令値が第 1 ピッチ角閾値よりも大きいことを含む第 2 条件を満たしたとき、前記第 2 制御モードから前記第 1 制御モードに前記制御モードを切り替えて、前記トルク指令値が第 2 トルク閾値よりも小さくなるまで前記制御モードの切り替え時における前記ピッチ角指令値を保持し、前記トルク指令値が第 2 トルク閾値よりも小さくなったときに前記ピッチ角指令値を最大値まで増加させて該最大値で固定するように構成され、

前記第 2 ピッチ角閾値は、前記第 1 ピッチ角閾値よりも小さく、

前記第 2 トルク閾値は、前記第 1 トルク閾値よりも小さい

ことを特徴とする風力発電装置の制御装置。

【請求項 5】

前記制御モード切替部は、

前記第 1 制御モードにおいて前記ピッチ角指令値が最大値に固定されており、且つ、前記トルク指令値が前記第 1 トルク閾値よりも大きいとき、前記第 1 制御モードから前記第 2 制御モードに前記制御モードを切り替え、

前記第 2 制御モードにおいて前記トルク指令値が最大値に固定されており、且つ、前記ピッチ角指令値が前記第 1 ピッチ角閾値よりも大きいとき、前記第 2 制御モードから前記第 1 制御モードに前記制御モードを切り替える

ように構成されたことを特徴とする請求項 4 に記載の風力発電装置の制御装置。

【請求項 6】

前記制御モード切替部では、

前記ロータの回転数が定格回転数よりも大きい上限値以上になったとき、前記トルク指令値の大きさにかかわらず、前記第 1 制御モードから前記第 2 制御モードに前記制御モードを切り替え、

前記ロータの回転数が定格回転数よりも小さい下限値以下になったとき、前記ピッチ

角指令値の大きさにかかわらず、前記第 2 制御モードから前記第 1 制御モードに前記制御モードを切り替える

ように構成されたことを特徴とする請求項 4 又は 5 に記載の風力発電装置の制御装置。

【請求項 7】

少なくとも一本のブレードを含むロータと、

請求項 4 乃至 6 の何れか一項に記載の制御装置と、

を備えることを特徴とする風力発電装置。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【発明の詳細な説明】

【発明の名称】風力発電装置の制御方法および制御装置、並びに風力発電装置

【技術分野】

【0001】

本開示は、風力発電装置の制御方法および制御装置、並びに風力発電装置に関する。

【背景技術】

【0002】

風力発電装置は、ブレード及び該ブレードと共に回転する回転シャフトを含むロータを備えており、風力発電装置の安定運転のためには、ロータの回転数が適正に制御されることが求められる。例えば、特許文献 1 には、ブレードのピッチ角およびトルクによってロータの回転数を制御する方法が記載されている。

【0003】

通常、ロータの回転数制御においては、通常、風力発電装置が定格出力に到達するまでは、ロータのトルクを調整することによってロータ回転数を制御し、定格出力に到達したら、ブレードのピッチ角を調整することによってロータ回転数を制御することが多く行われている。この場合、ロータのトルク制御に際しては、ブレードのピッチ角は最大（フルファインピッチ角）に固定され、ブレードのピッチ角制御に際しては、ロータのトルクは最大に固定される。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】米国特許出願公開第 2008 / 0136188 号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、上述したロータの回転数制御においては、風速の変化による制御の過度な切り替わりが発生することがある。

例えば、トルクによるロータ回転数制御からピッチ角によるロータ回転数制御の切り替えに際しては、トルク指令が最大になったときに切り替えを行い、ピッチ角によるロータ回転数制御からトルクによるロータ回転数制御の切り替えに際しては、ピッチ角が最大ピッチになったときに切り替えを行うことが理想的である。

しかし、トルクによるロータ回転数制御からピッチ角によるロータ回転数制御への切り替え時、ロータの過回転が発生する可能性があるため、通常、最大トルクになる前に切り替えを実施することが多い。すなわち、トルク指令値が、最大トルクよりも小さい値に設定されたトルク閾値を超えたときに、ピッチ角によるロータ回転数制御に切り替わるようになっている。ところが、風が強くない場合、トルクによるロータ回転数制御からピッチ角によるロータ回転数制御に切り替えた後もピッチ角指令値は小さくならず、最大ピッチ角付近で運転することがある。このとき、トルク指令値をトルク閾値から最大トルクまで上

げていくとロータ回転数が低下し、その回転数低下を防ぐためにピッチ角指令値が大きくなるが、風速によっては最大ピッチ角となってもロータ回転数低下を防げない場合がある。この場合、ピッチ角によるロータ回転数制御に切り替えた直後に、トルクによるロータ回転数制御に戻るとい現象が発生してしまう。同様に、ピッチによるロータ回転数制御を実施する際にも、最大ピッチ角よりも小さい値に設定された切り替え時のピッチ角設定値から最大ピッチ角への上昇時にトルク指令値が最大となってロータ回転数が過回転となってしまう、ピッチによるロータ回転数制御に戻るとい現象が発生してしまうことがある。

【 0 0 0 6 】

この点、特許文献 1 には、風速の変化による制御の過度な切り替わりに対する具体的な対策は何ら記載されていない。

【 0 0 0 7 】

上述の事情に鑑みて、本発明の少なくとも一実施形態は、風速の変化による制御の過度な切り替わりを防止し得る風力発電装置の制御方法および制御装置、並びに風力発電装置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】

【 0 0 0 8 】

(1) 本発明の少なくとも一実施形態に係る風力発電装置の制御方法は、
少なくとも一本のブレードを含むロータを備えた風力発電装置の制御方法であって、
前記ロータの回転数を所定の回転数に制御するために前記ロータのトルクを制御する第 1 制御モードと、前記ロータの回転数を一定に維持するために前記ブレードのピッチ角を制御する第 2 制御モードとの間において、前記風力発電装置の制御モードを切り替える制御モード切替ステップを備え、

前記制御モード切替ステップでは、

前記ロータのトルク指令値が第 1 トルク閾値よりも大きいことを含む第 1 条件を満たしたとき、前記第 1 制御モードから前記第 2 制御モードに前記制御モードを切り替えて、前記ブレードのピッチ角指令値が第 2 ピッチ角閾値よりも小さくなるまで前記制御モードの切り替え時における前記トルク指令値を保持し、前記ピッチ角指令値が第 2 ピッチ角閾値よりも小さくなったときに前記トルク指令値を最大値まで増加させて該最大値で固定し、

前記ブレードのピッチ角指令値が第 1 ピッチ角閾値よりも大きいことを含む第 2 条件を満たしたとき、前記第 2 制御モードから前記第 1 制御モードに前記制御モードを切り替えて、前記トルク指令値が第 2 トルク閾値よりも小さくなるまで前記制御モードの切り替え時における前記ピッチ角指令値を保持し、前記トルク指令値が第 2 トルク閾値よりも小さくなったときに前記ピッチ角指令値を最大値まで増加させて該最大値で固定することを特徴とする。

【 0 0 0 9 】

上記 (1) の風力発電装置の制御方法によれば、風速の変化による制御の過度な切り替わりを防止し、風力発電装置の安定的な運転が可能となる。

すなわち、上記風力発電装置の制御方法では、ロータのトルク指令値が第 1 トルク閾値よりも大きいことを含む第 1 条件を満たしたとき、第 1 制御モードから第 2 制御モードに制御モードを切り替える。このとき、ブレードのピッチ角指令値が第 2 ピッチ角閾値よりも小さくなるまでの期間は、制御モードの切り替え時におけるトルク指令値を保持するようになっている。この期間においては、トルクが上昇しないため、風速がそれ程大きくなりない場合であってもピッチ角の大幅な増加を招くことなくロータの回転数を維持することができる。これにより、第 1 制御モードから第 2 制御モードへの切り替え直後にピッチ角が第 1 ピッチ角閾値を超えて第 1 制御モードへ戻ることを回避できる。

そして、ピッチ角指令値が第 2 ピッチ角閾値よりも小さくなったときにトルク指令値を最大値まで増加させて該最大値で固定するようになっている。第 2 ピッチ角閾値は、第 2 制御モードから第 1 制御モードへの切り替えに用いられる第 1 ピッチ角閾値よりも小さい

値に設定されている。そのため、ピッチ角指令値が、第2ピッチ角閾値よりも小さくなったときは、ピッチ角指令値と第1ピッチ角閾値との間に十分な余裕ができ、ある程度の風速変化に対してもピッチ角が第1ピッチ角閾値よりも下回っている状態を維持できる。これにより、第2制御モードによる安定的な運転が可能となる。

【0010】

また、ブレードのピッチ角指令値が第1ピッチ角閾値よりも大きいことを含む第2条件を満たしたとき、第2制御モードから第1制御モードに制御モードを切り替えるようになっている。このとき、トルク指令値が第2トルク閾値よりも小さくなるまでの期間は、ピッチ角指令値を制御モードの切り替え時におけるピッチ角指令値に保持するようになっている。この期間においては、ピッチ角が上昇しないため、風速がそれ程小さくならない場合であってもトルクの大幅な増加を招くことなくロータの回転数を維持することができる。これにより、第2制御モードから第1制御モードへの切り替え直後にトルクが第1トルク閾値を超えて第2制御モードへ戻ることを回避できる。

そして、トルク指令値が第2トルク閾値よりも小さくなったときにピッチ角指令値を最大値まで増加させて該最大値で固定するようになっている。第2トルク指令値は、第1制御モードから第2制御モードへの切り替えに用いられる第1トルク閾値よりも小さい値に設定されている。そのため、トルク指令値が、第2トルク閾値よりも小さくなったときは、トルク指令値と第1トルク閾値との間に十分な余裕ができ、ある程度の風速変化に対してもトルクが第1トルク閾値を下回っている状態を維持できる。これにより、第1制御モードによる安定的な運転が可能となる。

なお、本明細書において、ピッチ角は、ファイン状態のブレードの方がフェザー状態のブレードよりも大きい。例えばピッチ角は、フルファインピッチ角において100%であり、フルフェザーピッチ角において0%である。

【0011】

(2) 幾つかの実施形態では、上記(1)の方法において、

前記制御モード切替ステップでは、

前記第1制御モードにおいて前記ピッチ角指令値が最大値に固定されており、且つ、前記トルク指令値が前記第1トルク閾値よりも大きいとき、前記第1制御モードから前記第2制御モードに前記制御モードを切り替え、

前記第2制御モードにおいて前記トルク指令値が最大値に固定されており、且つ、前記ピッチ角指令値が前記第1ピッチ角閾値よりも大きいとき、前記第2制御モードから前記第1制御モードに前記制御モードを切り替える。

【0012】

上記(2)の方法では、第1制御モードにおいてピッチ角指令値が最大値に固定されており、且つ、トルク指令値が第1トルク閾値よりも大きいとき、第1制御モードから第2制御モードに制御モードを切り替えるようになっている。第1制御モードにおいてピッチ角指令値が最大値に固定されているということは、第2制御モードから第1制御モードに切り替わった後、風速が十分に低下して、トルク指令値が第2トルク閾値を下回ったことを意味する。このように、単にトルク指令値が第1トルク閾値よりも大きいという条件を満たしただけで第1制御モードから第2制御モードに切り替える場合に比べて、第1制御モードにおいてピッチ角指令値が最大値に固定されているという条件を付加することで、第2制御モードから第1制御モードへの切替え直後に第2制御モードに再び戻ってしまう事態を効果的に回避できる。

また、第2制御モードにおいてトルク指令値が最大値に固定されており、且つ、ピッチ角指令値が第1ピッチ角閾値よりも大きいとき、第2制御モードから第1制御モードに制御モードを切り替えるようになっている。第2制御モードにおいてトルク指令値が最大値に固定されているということは、第1制御モードから第2制御モードに切り替わった後、風速が十分に増大して、ピッチ角指令値が第2ピッチ角閾値を下回ったことを意味する。このように、単にピッチ角指令値が第1ピッチ角閾値よりも大きいという条件を満たしただけで第2制御モードから第1制御モードに切り替える場合に比べて、第2制御モードに

においてトルク指令値が最大値に固定されているという条件を付加することで、第 1 制御モードから第 2 制御モードへの切替え直後に第 1 制御モードに再び戻ってしまう事態を効果的に回避できる。

【 0 0 1 3 】

(3) 幾つかの実施形態では、上記 (1) 又は (2) の方法において、

前記制御モード切替ステップでは、

前記ロータの回転数が定格回転数よりも大きい上限値以上になったとき、前記トルク指令値の大きさにかかわらず、前記第 1 制御モードから前記第 2 制御モードに前記制御モードを切り替え、

前記ロータの回転数が定格回転数よりも小さい下限値以下になったとき、前記ピッチ角指令値の大きさにかかわらず、前記第 2 制御モードから前記第 1 制御モードに前記制御モードを切り替える。

【 0 0 1 4 】

上記 (3) の方法によれば、ロータの回転数が定格回転数よりも大きい上限値以上になったとき、トルク指令値の大きさにかかわらず、第 1 制御モードから第 2 制御モードに制御モードを切り替えるようになっている。これにより、例えば突風発生時のような急激な風速上昇時におけるロータの過回転を防止できる。

また、ロータの回転数が定格回転数よりも小さい下限値以下になったとき、ピッチ角指令値の大きさにかかわらず、第 2 制御モードから第 1 制御モードに制御モードを切り替えるようになっている。これにより、急激な風速低下時におけるロータの回転数低下を防止できる。

【 0 0 1 5 】

(4) 本発明の少なくとも一実施形態に係る風力発電装置の制御装置は、

少なくとも一本のブレードを含むロータを備えた風力発電装置の制御装置であって、

前記ロータの回転数を一定に維持するために前記ロータのトルクを制御する第 1 制御モードと、前記ロータの回転数を一定に維持するために前記ブレードのピッチ角を制御する第 2 制御モードとの間において、前記風力発電装置の制御モードを切り替えるように構成された制御モード切替部を備え、

前記制御モード切替部は、

前記ロータのトルク指令値が第 1 トルク閾値よりも大きいことを含む第 1 条件を満たしたとき、前記第 1 制御モードから前記第 2 制御モードに前記制御モードを切り替えて、前記ブレードのピッチ角指令値が第 2 ピッチ角閾値よりも小さくなるまで前記制御モードの切り替え時における前記トルク指令値を保持し、前記ピッチ角指令値が第 2 ピッチ角閾値よりも小さくなったときに前記トルク指令値を最大値まで増加させて該最大値で固定し、

前記ブレードのピッチ角指令値が第 1 ピッチ角閾値よりも大きいことを含む第 2 条件を満たしたとき、前記第 2 制御モードから前記第 1 制御モードに前記制御モードを切り替えて、前記トルク指令値が第 2 トルク閾値よりも小さくなるまで前記制御モードの切り替え時における前記ピッチ角指令値を保持し、前記トルク指令値が第 2 トルク閾値よりも小さくなったときに前記ピッチ角指令値を最大値まで増加させて該最大値で固定するように構成された

ことを特徴とする。

【 0 0 1 6 】

上記 (4) の風力発電装置の制御装置によれば、風速の変化による制御の過度な切り替わりを防止し、風力発電装置の安定的な運転が可能となる。

すなわち、上記風力発電装置の制御装置では、ロータのトルク指令値が第 1 トルク閾値よりも大きいことを含む第 1 条件を満たしたとき、第 1 制御モードから第 2 制御モードに制御モードを切り替えて、ブレードのピッチ角指令値が第 2 ピッチ角閾値よりも小さくなるまで制御モードの切り替え時におけるトルク指令値を保持する。そして、ピッチ角指令値が第 2 ピッチ角閾値よりも小さくなったときにトルク指令値を最大値まで増加させて該

最大値で固定する。これにより、第 1 制御モードから第 2 制御モードへの切り替え直後にピッチ角が第 1 ピッチ角閾値を超えて第 1 制御モードへ戻ることを回避でき、第 2 制御モードによる安定的な運転が可能となる。

また、ブレードのピッチ角指令値が第 1 ピッチ角閾値よりも大きいことを含む第 2 条件を満たしたとき、第 2 制御モードから第 1 制御モードに制御モードを切り替えて、トルク指令値が第 2 トルク閾値よりも小さくなるまでピッチ角指令値を制御モードの切り替え時におけるピッチ角指令値を保持する。そして、トルク指令値が第 2 トルク閾値よりも小さくなったときに前記ピッチ角指令値を最大値まで増加させて該最大値で固定する。これにより、第 2 制御モードから第 1 制御モードへの切り替え直後にトルクが第 1 トルク閾値を超えて第 2 制御モードへ戻ることを回避でき、第 1 制御モードによる安定的な運転が可能となる。

【 0 0 1 7 】

(5) 幾つかの実施形態では、上記 (4) の構成において、
前記制御モード切替部は、

前記第 1 制御モードにおいて前記ピッチ角指令値が最大値に固定されており、且つ、前記トルク指令値が前記第 1 トルク閾値よりも大きいとき、前記第 1 制御モードから前記第 2 制御モードに前記制御モードを切り替え、

前記第 2 制御モードにおいて前記トルク指令値が最大値に固定されており、且つ、前記ピッチ角指令値が前記第 1 ピッチ角閾値よりも大きいとき、前記第 2 制御モードから前記第 1 制御モードに前記制御モードを切り替える
ように構成されている。

【 0 0 1 8 】

上記 (5) の構成によれば、第 1 制御モードにおいてピッチ角指令値が最大値に固定されており、且つ、トルク指令値が第 1 トルク閾値よりも大きいとき、第 1 制御モードから第 2 制御モードに制御モードを切り替えるようになっている。このように、単にトルク指令値が第 1 トルク閾値よりも大きいという条件を満たしただけで第 1 制御モードから第 2 制御モードに切り替える場合に比べて、第 1 制御モードにおいてピッチ角指令値が最大値に固定されているという条件を付加することで、第 2 制御モードから第 1 制御モードへの切り替え直後に第 2 制御モードに再び戻ってしまう事態を効果的に回避できる。

また、第 2 制御モードにおいてトルク指令値が最大値に固定されており、且つ、ピッチ角指令値が第 1 ピッチ角閾値よりも大きいとき、第 2 制御モードから第 1 制御モードに制御モードを切り替えるようになっている。このように、単にピッチ角指令値が第 1 ピッチ角閾値よりも大きいという条件を満たしただけで第 2 制御モードから第 1 制御モードに切り替える場合に比べて、第 2 制御モードにおいてトルク指令値が最大値に固定されているという条件を付加することで、第 1 制御モードから第 2 制御モードへの切り替え直後に第 1 制御モードに再び戻ってしまう事態を効果的に回避できる。

【 0 0 1 9 】

(6) 幾つかの実施形態では、上記 (4) 又は (5) の構成において、
前記制御モード切替部では、

前記ロータの回転数が定格回転数よりも大きい上限値以上になったとき、前記トルク指令値の大きさにかかわらず、前記第 1 制御モードから前記第 2 制御モードに前記制御モードを切り替え、

前記ロータの回転数が定格回転数よりも小さい下限値以下になったとき、前記ピッチ角指令値の大きさにかかわらず、前記第 2 制御モードから前記第 1 制御モードに前記制御モードを切り替える
ように構成されている。

【 0 0 2 0 】

上記 (6) の構成によれば、ロータの回転数が定格回転数よりも大きい上限値以上になったとき、トルク指令値の大きさにかかわらず、第 1 制御モードから第 2 制御モードに制御モードを切り替えるようになっている。これにより、例えば突風発生時のような急激な

風速上昇時におけるロータの過回転を防止できる。

また、ロータの回転数が定格回転数よりも小さい下限値以下になったとき、ピッチ角指令値の大きさにかかわらず、第２制御モードから第１制御モードに制御モードを切り替えるようになっている。これにより、急激な風速低下時におけるロータの回転数低下を防止できる。

【００２１】

(７) 本発明の少なくとも一実施形態に係る風力発電装置は、
少なくとも一本のブレードを含むロータと、
上記(４)乃至(６)の何れかに記載の制御装置と、
を備えることを特徴とする。

上記(７)の構成によれば、風速の変化によって制御が過度に切り替わることがなく、安定的な運転が可能な風力発電装置を提供できる。

【発明の効果】

【００２２】

本発明の少なくとも一実施形態によれば、風速の変化による制御の過度な切り替わりを防止し、風力発電装置の安定的な運転が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【００２３】

【図１】一実施形態に係る風力発電装置を示す概略構成図である。

【図２】一実施形態に係る風力発電装置の制御装置を示すブロック図である。

【図３】一実施形態に係る風力発電装置の制御方法(第１制御モードから第２制御モードへの切り替え)を示すフローチャートである。

【図４】一実施形態に係る風力発電装置の制御方法(第２制御モードから第１制御モードへの切り替え)を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【００２４】

以下、添付図面を参照して本発明の幾つかの実施形態について説明する。ただし、実施形態として記載されている又は図面に示されている構成部品の寸法、材質、形状、その相対的配置等は、本発明の範囲をこれに限定する趣旨ではなく、単なる説明例にすぎない。

【００２５】

図１は、一実施形態に係る風力発電装置１を示す概略構成図である

同図に示すように、一実施形態に係る風力発電装置１は、少なくとも一枚のブレード２と、ブレード２と共に回転するように構成された回転シャフト４と、ブレード２及び回転シャフト４を含むロータ５の回転エネルギーによって駆動するように構成された発電機６と、を備える。なお、風力発電装置１は、陸上に設置されていてもよいし、洋上に設置されていてもよい。

【００２６】

図示される具体的な一構成例においては、ブレード２は、ハブ３の周囲に複数取り付けられている。回転シャフト４は、ハブ３を介してブレード２に連結されており、ブレード２が風を受けることによって、ブレード２及びハブ３と共にロータ５として一体的に回転するようになっている。

【００２７】

なお、図示される例では、回転シャフト４と発電機６とが直結されている構成を例示したが、回転シャフト４と発電機６との間に、ギア又は油圧トランスミッション等のドライブレインが設けられていてもよい。ここで、油圧トランスミッションは、回転シャフト４に取り付けられた油圧ポンプと、高圧油ライン及び低圧油ラインを介して油圧ポンプに接続される油圧モータと、を含んで構成される。油圧ポンプで生成された圧油は高圧油ラインを介して油圧モータに供給され、この圧油によって油圧モータが駆動される。油圧モータで仕事をした後の低圧の作動油は、低圧油ラインを経由して油圧ポンプに再び戻される。油圧モータの出力軸は発電機６の入力軸に接続されており、油圧モータの回転が発電

機 6 に入力されて発電が行われるようになっている。

【 0 0 2 8 】

上記した風力発電装置 1 は、ロータ 5 の回転数制御を行うための制御装置 10 をさらに備えている。

図 1 及び図 2 を参照して、制御装置 10 の具体的な構成について説明する。なお、図 2 は、一実施形態に係る風力発電装置 1 の制御装置 10 を示すブロック図である。

【 0 0 2 9 】

制御装置 10 は、風力発電装置 1 の制御モードを切り替えるように構成された制御モード切替部 11 を備えている。

制御モード切替部 11 は、ロータ 5 の回転数を所定の回転数に維持するためにロータ 5 のトルクを制御する第 1 制御モードと、ロータ 5 の回転数を一定に維持するためにブレード 2 のピッチ角を制御する第 2 制御モードとの間において、風力発電装置 1 の制御モードを切り替えるように構成されている。

【 0 0 3 0 】

具体的には、制御モード切替部 11 は、トルク指令計算部 12 と、ピッチ角指令計算部 13 と、を含む。

トルク指令計算部 12 は、第 1 制御モードにおいて、ロータ 5 に取り付けられた回転数センサ 8 (図 1 参照) で検出したロータ 5 の回転数に基づいて、該回転数が所定の値となるようなトルク指令値を計算するようになっている。トルク指令計算部 12 は、ロータ 5 の回転数が一定の値となるようなトルク指令値を計算してもよい。ここで算出されたトルク指令値は、風力発電装置 1 のトルク制御機構に送られて、トルク制御機構によってロータ 5 のトルクをトルク指令値とするような制御が行われる。例えば、油圧トランスミッションを備える風力発電装置の場合、トルク制御機構は、油圧ポンプの押しのけ容積を変化させるための機構である。あるいは、ギア式ドライブレインを備える風力発電装置の場合、トルク制御機構は、発電機 6 の電磁トルクを変化させるための機構である。

ピッチ角指令計算部 13 は、第 2 制御モードにおいて、回転数センサ 8 で検出したロータ 5 の回転数に基づいて、該回転数が一定の値となるようなピッチ角を計算するようになっている。ここで算出されたピッチ角指令値は、ブレード 2 のピッチ駆動機構に送られて、ピッチ駆動機構によってブレード 2 のピッチ角がピッチ角指令計算部 13 で計算されたピッチ角指令値となるような制御が行われる。

【 0 0 3 1 】

幾つかの実施形態において、制御モード切替部 11 は、ロータ 5 のトルク指令値が第 1 トルク閾値よりも大きいことを含む第 1 条件を満たしたとき、第 1 制御モードから第 2 制御モードに制御モードを切り替えるよう構成されている。なお、第 1 条件は、ロータ 5 のトルク指令値が第 1 トルク閾値よりも大きいこと以外の他の条件を含んでいてもよい。例えば、第 1 条件は、ロータ 5 のトルク指令値が第 1 トルク閾値よりも大きく、且つ、ピッチ角指令値が最大値である、ことを条件とする。

第 2 制御モードに切り替えられた後、ピッチ角指令計算部 13 は、ブレード 2 のピッチ角指令値が第 2 ピッチ角閾値よりも小さくなるまで制御モードの切り替え時におけるトルク指令値を保持し、ピッチ角指令値が第 2 ピッチ角閾値よりも小さくなったときにトルク指令値を最大値まで増加させて該最大値で固定するようになっている。なお、第 2 ピッチ角閾値は、第 2 制御モードから第 1 制御モードへの切り替えに用いられる第 1 ピッチ角閾値よりも小さい値に設定されている。この第 1 ピッチ角閾値については後述する。また、本実施形態において、ピッチ角は、ファイン状態のブレードの方がフェザー状態のブレードよりも大きい。例えばピッチ角は、フルファインピッチ角において 100 % であり、フルフェザーピッチ角において 0 % である。

【 0 0 3 2 】

すなわち、第 1 制御モードから第 2 制御モードに切り替えた直後、トルク指令計算部 12 において、ブレード 2 のピッチ角指令値が第 2 ピッチ角閾値よりも小さくなるまでの期間は、制御モードの切り替え時におけるトルク指令値を保持するようになっている。この

期間においては、トルクが上昇しないため、風速がそれ程大きくなりえない場合であってもピッチ角の大幅な増加を招くことなくロータ5の回転数を維持することができる。これにより、第1制御モードから第2制御モードへの切り替え直後にピッチ角が第1ピッチ角閾値を超えて第1制御モードへ戻ることを回避できる。

そして、トルク指令計算部12は、ピッチ角指令値が第2ピッチ角閾値よりも小さくなったときにトルク指令値を最大値まで増加させて該最大値で固定するようになっている。第2ピッチ角閾値は、第2制御モードから第1制御モードへの切り替えに用いられる第1ピッチ角閾値よりも小さい値に設定されているから、ピッチ角指令値が、第2ピッチ角閾値よりも小さくなったときは、ピッチ角指令値と第1ピッチ角閾値との間に十分な余裕ができる。そのため、ある程度の風速変化に対してもピッチ角が第1ピッチ角閾値よりも下回っている状態を維持できる。これにより、第2制御モードによる安定的な運転が可能となる。

【0033】

また、制御モード切替部11は、ブレード2のピッチ角指令値が第1ピッチ角閾値よりも大きいことを含む第2条件を満たしたとき、第2制御モードから第1制御モードに制御モードを切り替えるように構成されている。なお、第2条件は、ブレード2のピッチ角指令値が第1ピッチ角閾値よりも大きいこと以外の他の条件を含んでいてもよい。例えば、第2条件は、ブレード2のピッチ角指令値が第1ピッチ角閾値よりも大きく、且つ、トルク指令値が最大値である、ことを条件とする。

第1制御モードに切り替えられた後、トルク指令計算部12は、トルク指令値が第2トルク閾値よりも小さくなるまでピッチ角指令値を制御モードの切り替え時におけるピッチ角指令値を保持し、制御モード切替部11は、トルク指令値が第2トルク閾値よりも小さくなったときにピッチ角指令値を最大値まで増加させて該最大値で固定するようになっている。なお、なお、第2トルク閾値は、第1制御モードから第2制御モードへの切り替えに用いられる第1トルク閾値よりも小さい値に設定されている。

【0034】

すなわち、第2制御モードから第1制御モードに切り替えた直後、ピッチ角指令計算部13において、トルク指令値が第2トルク閾値よりも小さくなるまでの期間は、ピッチ角指令値を制御モードの切り替え時におけるピッチ角指令値に保持するようになっている。この期間においては、ピッチ角が上昇しないため、風速がそれ程小さくなりえない場合であってもトルクの大幅な増加を招くことなくロータ5の回転数を維持することができる。これにより、第2制御モードから第1制御モードへの切り替え直後にトルクが第1トルク閾値を超えて第2制御モードへ戻ることを回避できる。

そして、ピッチ角指令計算部13は、トルク指令値が第2トルク閾値よりも小さくなったときにピッチ角指令値を最大値まで増加させて該最大値で固定するようになっている。第2トルク指令値は、第1制御モードから第2制御モードへの切り替えに用いられる第1トルク閾値よりも小さい値に設定されているから、トルク指令値が、第2トルク閾値よりも小さくなったときは、トルク指令値と第1トルク閾値との間に十分な余裕ができる。そのため、ある程度の風速変化に対してもトルクが第1トルク閾値を下回っている状態を維持できる。これにより、第1制御モードによる安定的な運転が可能となる。

【0035】

一実施形態において、制御モード切替部11は、第1制御モードにおいてピッチ角指令値が最大値に固定されており、且つ、トルク指令値が第1トルク閾値よりも大きいとき、第1制御モードから第2制御モードに制御モードを切り替えるように構成されている。

第1制御モードにおいてピッチ角指令値が最大値に固定されているということは、第2制御モードから第1制御モードに切り替わった後、風速が十分に低下して、トルク指令値が第2トルク閾値を下回ったことを意味する。このように、単にトルク指令値が第1トルク閾値よりも大きいという条件を満たしただけで第1制御モードから第2制御モードに切り替える場合に比べて、第1制御モードにおいてピッチ角指令値が最大値に固定されているという条件を付加することで、第2制御モードから第1制御モードへの切り替え直後に第

2 制御モードに再び戻ってしまう事態を効果的に回避できる。

【0036】

また、制御モード切替部 11 は、第 2 制御モードにおいてトルク指令値が最大値に固定されており、且つ、ピッチ角指令値が第 1 ピッチ角閾値よりも大きいとき、第 2 制御モードから第 1 制御モードに制御モードを切り替える。

第 2 制御モードにおいてトルク指令値が最大値に固定されているということは、第 1 制御モードから第 2 制御モードに切り替わった後、風速が十分に増大して、ピッチ角指令値が第 2 ピッチ角閾値を下回ったことを意味する。このように、単にピッチ角指令値が第 1 ピッチ角閾値よりも大きいという条件を満たしただけで第 2 制御モードから第 1 制御モードに切り替える場合に比べて、第 2 制御モードにおいてトルク指令値が最大値に固定されているという条件を付加することで、第 1 制御モードから第 2 制御モードへの切替え直後に第 1 制御モードに再び戻ってしまう事態を効果的に回避できる。

【0037】

さらに、制御モード切替部 11 は、以下の構成を備えていてもよい。

制御モード切替部 11 は、ロータ 5 の回転数が定格回転数よりも大きい上限値以上になったとき、トルク指令値の大きさにかかわらず、第 1 制御モードから第 2 制御モードに制御モードを切り替えるように構成される。例えば、ロータ 5 の回転数が定格回転数の 1.1 倍になったときに、第 1 制御モードから第 2 制御モードに制御モードを切り替える。

これにより、例えば突風発生時のような急激な風速上昇時におけるロータ 5 の過回転を防止できる。

【0038】

また、制御モード切替部 11 は、ロータ 5 の回転数が定格回転数よりも小さい下限値以下になったとき、ピッチ角指令値の大きさにかかわらず、第 2 制御モードから第 1 制御モードに制御モードを切り替えるように構成される。例えば、ロータ 5 の回転数が定格回転数の 0.9 倍になったときに、第 2 制御モードから第 1 制御モードに制御モードを切り替える。これにより、急激な風速低下時におけるロータ 5 の回転数低下を防止できる。

【0039】

次に、一実施形態に係る風力発電装置 1 の制御方法について説明する。なお、以下の説明では、上述した図 1 及び図 2 に示す符号を適宜用いている。

【0040】

一実施形態に係る風力発電装置 1 の制御方法は、ロータ 5 の回転数を所定の回転数に制御するためにロータ 5 のトルクを制御する第 1 制御モードと、ロータ 5 の回転数を一定に維持するためにブレード 2 のピッチ角を制御する第 2 制御モードとの間において、風力発電装置 1 の制御モードを切り替える制御モード切替ステップを備えている。

制御モード切替ステップでは、ロータ 5 のトルク指令値が第 1 トルク閾値よりも大きいことを含む第 1 条件を満たしたとき、第 1 制御モードから第 2 制御モードに制御モードを切り替える。第 2 制御モードでは、ピッチ角指令計算部 13 において、ロータ 5 の回転数が一定となるようなピッチ角指令値を計算し、ピッチ駆動機構に出力する。そして、ブレード 2 のピッチ角指令値が第 2 ピッチ角閾値よりも小さくなるまで制御モードの切り替え時におけるトルク指令値を保持し、ピッチ角指令値が第 2 ピッチ角閾値よりも小さくなったときにトルク指令値を最大値まで増加させて該最大値で固定する。

また、ブレードのピッチ角指令値が第 1 ピッチ角閾値よりも大きいことを含む第 2 条件を満たしたとき、第 2 制御モードから第 1 制御モードに制御モードを切り替える。そして、トルク指令値が第 2 トルク閾値よりも小さくなるまで制御モードの切り替え時におけるピッチ角指令値を保持し、トルク指令値が第 2 トルク閾値よりも小さくなったときにピッチ角指令値を最大値まで増加させて該最大値で固定する。

【0041】

一実施形態において、制御モード切替ステップでは、第 1 制御モードにおいてピッチ角指令値が最大値に固定されており、且つ、トルク指令値が第 1 トルク閾値よりも大きいとき、第 1 制御モードから第 2 制御モードに制御モードを切り替える。

また、第 2 制御モードにおいてトルク指令値が最大値に固定されており、且つ、ピッチ角指令値が第 1 ピッチ角閾値よりも大きいとき、第 2 制御モードから第 1 制御モードに制御モードを切り替える。

【 0 0 4 2 】

さらに、制御モード切替ステップでは、ロータ 5 の回転数が定格回転数よりも大きい上限値以上になったとき、トルク指令値の大きさにかかわらず、第 1 制御モードから第 2 制御モードに制御モードを切り替えてもよい。

また、ロータ 5 の回転数が定格回転数よりも小さい下限値以下になったとき、ピッチ角指令値の大きさにかかわらず、第 2 制御モードから第 1 制御モードに制御モードを切り替えてもよい。

【 0 0 4 3 】

ここで、図 3 及び図 4 を参照して、風力発電装置 1 の具体的な制御方法の一例について説明する。なお、以下の説明でも、図 1 及び図 2 に示した各部位の符号を適宜用いている。

【 0 0 4 4 】

図 3 は、一実施形態に係る風力発電装置 1 の制御方法（第 1 制御モードから第 2 制御モードへの切り替え）を示すフローチャートである。

同図に示すように、ステップ S 1 において、第 1 制御モードでトルクによるロータ回転数制御を実施しているとき、ステップ S 2 にて、制御モード切替部 11 では、トルク指令値が第 1 トルク閾値よりも大きく、且つ、ピッチ角指令値が最大値に固定された状態を示す pitchstate=1 である第 1 条件を満たしているか否かを判断する。第 1 条件を満たしていない場合、ステップ S 3 において、ロータ回転数が、定格回転数よりも大きい上限値以上であるか否かを判断する。ロータ回転数が上限値未満である場合、ステップ S 1 の第 1 制御モード (pitchstate=1) を継続する。

【 0 0 4 5 】

ステップ S 2 において第 1 条件を満たしていない場合、又は、ステップ S 3 においてロータ回転数が上限値以上である場合、ステップ S 4 において第 2 制御モードに切り替え、ピッチ角によるロータ回転数制御を開始する。

第 2 制御モードでは、まずステップ S 5 において、制御モード切替時のトルク指令値に固定する。このときのトルク指令値は最大値よりも小さく、この状態を torquestate=0 とする。第 2 制御モード (torquestate=0) の実行中、ステップ S 6 にてピッチ角指令値が第 2 ピッチ角閾値よりも小さいか否かを判断する。ピッチ角指令値が第 2 ピッチ角閾値以上である場合は、制御モード切替時のトルク指令値に固定した状態 (torquestate=0) を継続する。ピッチ角指令値が第 2 ピッチ角閾値よりも小さくなったら、ステップ S 7 において、トルク指令値を増加させ、トルク指令値を最大値に固定する。この状態を torquestate=1 とし、第 2 制御モード (torquestate=1) を実施する。

【 0 0 4 6 】

図 4 は、一実施形態に係る風力発電装置 1 の制御方法（第 2 制御モードから第 1 制御モードへの切り替え）を示すフローチャートである。

同図に示すように、ステップ S 8 において、第 2 制御モードでピッチ角によるロータ回転数制御を実施しているとき、ステップ S 9 にて、制御モード切替部 11 では、ピッチ角指令値が第 1 ピッチ角閾値よりも大きく、且つ、トルク指令値が最大値に固定された状態を示す torquestate=1 である第 2 条件を満たしているか否かを判断する。第 2 条件を満たしていない場合、ステップ S 10 において、ロータ回転数が、定格回転数よりも小さい下限値以下であるか否かを判断する。ロータ回転数が下限値を超える場合、ステップ S 8 の第 2 制御モード (torquestate=1) を継続する。

【 0 0 4 7 】

ステップ S 9 において第 2 条件を満たしている場合、又は、ステップ S 10 においてロータ回転数が下限値以下である場合、ステップ S 11 において第 1 制御モードに切り替え、トルクによるロータ回転数制御を開始する。

第1制御モードでは、まずステップS12において、制御モード切替時のピッチ角指令値に固定する。このときのピッチ角指令値は最大値よりも小さく、この状態をpitchstate=0とする。第2制御モード(pitchstate=0)の実行中、ステップS13にてトルク指令値が第2トルク閾値よりも小さいか否かを判断する。トルク指令値が第2トルク閾値以上である場合は、制御モード切替時のピッチ角指令値に固定した状態(pitchstate=0)を継続する。トルク指令値が第2トルク閾値よりも小さくなったら、ステップS14において、ピッチ角指令値を増加させ、ピッチ角指令値を最大値に固定する。この状態をpitchstate=1とし、第1制御モード(pitchstate=1)を実施する。

【0048】

これにより、第1制御モードから第2制御モードへの切り替え直後にピッチ角が第1ピッチ角閾値を超えて第1制御モードへ戻ることを回避でき、第2制御モードによる安定的な運転が可能となる。同様に、第2制御モードから第1制御モードへの切り替え直後にトルクが第1トルク閾値を超えて第2制御モードへ戻ることを回避でき、第1制御モードによる安定的な運転が可能となる。

また、ロータ5の回転数が定格回転数よりも大きい上限値以上になったとき、トルク指令値の大きさにかかわらず、第1制御モードから第2制御モードに制御モードを切り替えるようになっている。これにより、例えば突風が発生時のような急激な風速上昇時におけるロータ5の過回転を防止できる。同様に、ロータ5の回転数が定格回転数よりも小さい下限値以下になったとき、ピッチ角指令値の大きさにかかわらず、第2制御モードから第1制御モードに制御モードを切り替えるようになっている。これにより、急激な風速低下時におけるロータ5の回転数低下を防止できる。

【0049】

上述したように、本発明の実施形態によれば、風速の変化による制御の過度な切り替わりを防止し、風力発電装置1の安定的な運転が可能となる。

【0050】

本発明は上述した実施形態に限定されることはなく、上述した実施形態に変形を加えた形態や、これらの形態を適宜組み合わせた形態も含む。

【0051】

例えば、「ある方向に」、「ある方向に沿って」、「平行」、「直交」、「中心」、「同心」或いは「同軸」等の相対的或いは絶対的な配置を表す表現は、厳密にそのような配置を表すのみならず、公差、若しくは、同じ機能が得られる程度の角度や距離をもって相対的に変位している状態も表すものとする。

例えば、「同一」、「等しい」及び「均質」等の物事が等しい状態であることを表す表現は、厳密に等しい状態を表すのみならず、公差、若しくは、同じ機能が得られる程度の差が存在している状態も表すものとする。

例えば、四角形状や円筒形状等の形状を表す表現は、幾何学的に厳密な意味での四角形状や円筒形状等の形状を表すのみならず、同じ効果が得られる範囲で、凹凸部や面取り部等を含む形状も表すものとする。

一方、一の構成要素を「備える」、「含む」、又は、「有する」という表現は、他の構成要素の存在を除外する排他的な表現ではない。

【符号の説明】

【0052】

- 1 風力発電装置
- 2 ブレード
- 3 ハブ
- 4 回転シャフト
- 5 ロータ
- 6 発電機
- 8 回転数センサ
- 10 制御装置

- 1 1 制 御 モ ー ド 切 替 部
- 1 2 ト ル ク 指 令 計 算 部
- 1 3 ピ ッ チ 角 指 令 計 算 部