

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5799159号  
(P5799159)

(45) 発行日 平成27年10月21日(2015.10.21)

(24) 登録日 平成27年8月28日(2015.8.28)

(51) Int. Cl. F I  
**FO3D 7/04 (2006.01)** FO3D 7/04 H  
**HO2P 9/00 (2006.01)** HO2P 9/00 F

請求項の数 12 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2014-501554 (P2014-501554)	(73) 特許権者	512197272
(86) (22) 出願日	平成24年3月23日 (2012.3.23)		ヴォッベン プロパティーズ ゲーエムベ ーハー
(65) 公表番号	特表2014-511968 (P2014-511968A)		WOBBEN PROPERTIES G MBH
(43) 公表日	平成26年5月19日 (2014.5.19)		ドイツ連邦共和国 26605 アウリッ ヒ ドレーカンブ 5
(86) 国際出願番号	PCT/EP2012/055226	(74) 代理人	100080816
(87) 国際公開番号	W02012/130761		弁理士 加藤 朝道
(87) 国際公開日	平成24年10月4日 (2012.10.4)	(74) 代理人	100098648
審査請求日	平成25年11月27日 (2013.11.27)		弁理士 内田 深人
(31) 優先権主張番号	102011006670.5	(74) 代理人	100119415
(32) 優先日	平成23年4月1日 (2011.4.1)		弁理士 青木 充
(33) 優先権主張国	ドイツ (DE)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 風力発電装置及び風力発電装置の運転方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

調節可能な回転数を有する空気力学的ロータを有する発電機を有し、電力網に接続される風力発電装置の制御方法において、

・前記風力発電装置は、支配的風条件に関し最適な運転点において最適回転数で運転されること、

・前記風力発電装置は、運転の切り替えに際し、非最適運転点において非最適回転数で運転されること、該非最適回転数は前記最適回転数よりも大きいこと、

・部分負荷運転においては、最適回転数を有する夫々の最適運転点の調節のために第1運転特性曲線が設定されかつ前記風力発電装置を前記非最適回転数で制御するために第2運 10  
転特性曲線が使用され、該非最適回転数は該第2運転特性曲線によって調節されること、

・前記第2運転特性曲線に基づいて、前記最適運転点における対応する最適回転数の場合と同じ出力で、より大きな回転数に調節されること

を特徴とする方法。

【請求項 2】

全負荷運転から前記部分負荷運転に移行の際に風速が低下する場合、当初は、出力が低下され、他方、回転数は一定に維持されること

を特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記風力発電装置は、調節可能なロータブレード角を有する 1 又は複数のロータブレード 20

ドを有し、前記非最適運転点のロータブレード角はその都度前記最適運転点のロータブレード角に対して変更されること

を特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記運転の切り替えは通知信号の受信によって作動され、前記最適運転点における運転から前記非最適運転点における運転に切り替えられること

を特徴とする請求項 1 ~ 3 の何れかに記載の方法。

【請求項 5】

前記通知信号は、電力網管理者によって伝達される外部の通知信号であること

を特徴とする請求項 4 に記載の方法。

10

【請求項 6】

前記風力発電装置が前記非最適運転点において運転される場合、該風力発電装置から運動エネルギーが取り出され、この運動エネルギーは、該風力発電装置が前記支配的風条件に基づいて実際の風から取り出すことが可能なよりも、短時間、より多くの有効電力を電力網に給電するために使用されること

を特徴とする請求項 1 ~ 3 の何れかに記載の方法。

【請求項 7】

前記風力発電装置の回転数は、電力網への前記より多くの有効電力の給電のための前記運動エネルギーの取出によって、前記非最適回転数から少なくとも前記最適回転数に低下されること

を特徴とする請求項 6 に記載の方法。

20

【請求項 8】

前記非最適回転数は前記最適回転数よりも凡そ毎分 0.5 ~ 1.5 回転より大きいことを特徴とする請求項 1 ~ 3 の何れかに記載の方法。

【請求項 9】

調節可能な回転数を有する空気力学的ロータを有する発電機及び制御システムを有する風力発電装置において、

前記制御システムは、請求項 1 ~ 8 の何れかに記載の方法による前記風力発電装置の運転に適合されていること

を特徴とする風力発電装置。

30

【請求項 10】

前記空気力学的ロータと前記発電機の間はダイレクトドライブ方式で構成されていること

を特徴とする請求項 9 に記載の風力発電装置。

【請求項 11】

前記風力発電装置は FACTS 機能を有するよう構成され、及び / 又は前記発電機の生成電気エネルギーを整流し、電力網の周波数、電圧及び位相に適合する状態で該電力網に給電するために交流に変換するための 1 又は複数の交流変換器を有すること

を特徴とする請求項 9 又は 10 に記載の風力発電装置。

【請求項 12】

請求項 9 ~ 11 の何れかに記載の少なくとも 2 つの風力発電装置と、少なくとも 2 つのないし前記 2 つの風力発電装置の電氣的出力を給電するための少なくとも 1 つの共通の給電点を含むウインドパーク。

40

【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方法及び対応する風力発電装置に関する。

【背景技術】

【0002】

風力発電装置は一般的に既知であり、風から運動エネルギーを取り出し、電気エネルギーに

50

変換し、これを電力網に給電するために使用される。その際、風力発電装置には、今日では、該風力発電装置が給電を行う電力網を保護するという課題もある。

【 0 0 0 3 】

例えば、2000年のドイツ特許出願DE 100 22 974 A1（出願公開日2001年11月22日）には、周波数依存の出力調整が記載されている。これによれば、電力網周波数が上昇すると、風力発電装置が電力網に給電する出力は該電力網周波数が所定の閾値を上回ると直ちに低減される。

【 0 0 0 4 】

これによって、エネルギーの供給過剰が生じる電力網状況が顧慮されるが、これは、大型発電所の挙動に応じて、上記公開公報DE 100 22 974 A1に記載された発明が取り扱う周波数上昇に至る。

【 0 0 0 5 】

エネルギーの供給不足ないし電力網における需要増大が生じた場合、周波数低下が生じ得るが、これは理想的には給電される出力の増大をもって応答され得るであろう。しかしながら、給電されるべき出力の増大は1つの風力発電装置によって実現することは困難である。なぜなら、該（1つの）風力発電装置は風から取り出し可能な最大の出力を既に最適な態様で給電しているからである。それにも拘らず少なくとも短時間の出力増大を可能にするために、例えばドイツ特許出願DE 10 2009 014 012 A1に応じて、ロータ - 発電機システムの慣性モーメントに蓄積された回転エネルギーを利用して短時間の出力増大を実行することが提案されている。しかしながら、そのような方法は、ロータ - 発電機システムに蓄積されている回転エネルギーに依存せざるを得ない。

【 0 0 0 6 】

これの代わりに一般的に以下の刊行物が更なる技術水準として指摘される：DE 103 41 504 A1、WO 2011/000531 A2及びWO 2005/025026 A1。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 7 】

【 特許文献 1 】 DE 100 22 974 A1

【 特許文献 2 】 DE 10 2009 014 012 A1

【 特許文献 3 】 DE 103 41 504 A1

【 特許文献 4 】 WO 2011/000531 A2

【 特許文献 5 】 WO 2005/025026 A1

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 8 】

それゆえ、本発明の課題は、上述の問題の少なくとも1つを解消又は改善することである。とりわけ、電力網保護の改善された可能性を提案する解決策を提案する。少なくとも、代替的な解決策を提案する。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 9 】

本発明により、請求項1の方法が提案される。

（形態1）上記の課題を解決するために、本発明の第1の視点により、調節可能な回転数を有する空気力学的ロータを有する発電機を有し、電力網に接続される風力発電装置の制御方法が提供される。この方法において、

・前記風力発電装置は、支配的風条件に関し最適な運転点において最適回転数で運転されること、

・前記風力発電装置は、運転の切り替えに際し、非最適運転点において非最適回転数で運転されること、該非最適回転数は前記最適回転数よりも大きいこと、

・部分負荷運転においては、最適回転数を有する夫々の最適運転点の調節のために第1運転特性曲線が設定されかつ前記風力発電装置を前記非最適回転数で制御するために第2運

10

20

30

40

50

転特性曲線が使用され、該非最適回転数は該第2運転特性曲線によって調節されること、  
・前記第2運転特性曲線に基づいて、前記最適運転点における対応する最適回転数の場合  
と同じ出力で、より大きな回転数に調節されることを特徴とする。

(形態2)上記の方法において、全負荷運転から前記部分負荷運転に移行の際に風速が低下する場合、当初は、出力が低下され、他方、回転数は一定に維持されることが好ましい。

(形態3)上記の方法において、前記風力発電装置は、調節可能なロータブレード角を有する1又は複数のロータブレードを有し、前記非最適運転点のロータブレード角はその都度前記最適運転点のロータブレード角に対して変更されることが好ましい。

(形態4)上記の方法において、前記運転の切り替えは通知信号の受信によって作動され、前記最適運転点における運転から前記非最適運転点における運転に切り替えられることが好ましい。

(形態5)上記の方法において、前記通知信号は、電力網管理者によって伝達される外部の通知信号であることが好ましい。

(形態6)上記の方法において、前記風力発電装置が前記非最適運転点において運転される場合、該風力発電装置から運動エネルギーが取り出され、この運動エネルギーは、該風力発電装置が前記支配的風条件に基づいて実際の風から取り出すことが可能なよりも、短時間、より多くの有効電力を電力網に給電するために使用されることが好ましい。

(形態7)上記の方法において、前記風力発電装置の回転数は、電力網への前記より多くの有効電力の給電のための前記運動エネルギーの取出によって、前記非最適回転数から少なくとも前記最適回転数に低下されることが好ましい。

(形態8)上記の方法において、前記非最適回転数は前記最適回転数よりも凡そ毎分0.5~1.5回転より大きいことが好ましい。

(形態9)調節可能な回転数を有する空気力学的ロータを有する発電機及び制御システムを有する風力発電装置であって、前記制御システムは、上記形態1~8の何れかの方法による前記風力発電装置の運転に適合されていることが好ましい。

(形態10)上記の風力発電装置において、前記空気力学的ロータと前記発電機の間はダイレクトドライブ方式で構成されていることが好ましい。

(形態11)上記の風力発電装置において、前記風力発電装置はFACTS機能を有するよう構成され、及び/又は前記発電機の生成電気エネルギーを整流し、電力網の周波数、電圧及び位相に適合する状態で該電力網に給電するために交流に変換するための1又は複数の交流変換器を有することが好ましい。

(形態12)上記形態9~11の何れかの少なくとも2つの風力発電装置と、少なくとも2つのないし前記2つの風力発電装置の電氣的出力を給電するための少なくとも1つの共通の給電点を含むウインドパークも好ましい。

更に、以下の態様も好ましい。

(態様1)調節可能な回転数を有する空気力学的ロータを有する発電機を有し、電力網に接続される風力発電装置の制御方法が提供される。この方法において、

前記風力発電装置は、支配的風条件に関し最適な運転点において最適回転数で運転可能に構成され、

前記風力発電装置は、移行期間の間又は非最適運転点においては持続的に非最適回転数で運転され、該非最適回転数は前記最適回転数よりも大きいことが好ましい。

(態様2)上記の方法において、部分負荷運転においては、夫々の最適運転点の調節のために第1運転特性曲線が設定されかつ前記風力発電装置を前記非最適回転数で制御するために第2運転特性曲線が使用され、該非最適回転数は該第2運転特性曲線によって調節されることが好ましい。

(態様3)上記の方法において、全負荷運転から部分負荷運転に移行の際に風速が低下する場合、当初は、とりわけ予め設定された風速領域の間は、出力が低下され、他方、回転数は一定に維持されることが好ましい。

(態様4)上記の方法において、前記風力発電装置は、調節可能なロータブレード角を有

10

20

30

40

50

する1又は複数のロータブレードを有し、前記非最適運転点のロータブレード角はその都度前記最適運転点のロータブレード角に対して変更されることが好ましい。

(態様5) 上記の方法において、とりわけ、通知信号の、とりわけ電力網管理者によって伝達される外部の通知信号の、受信によって作動されて、前記最適運転点における運転から前記非最適運転点における運転に切り替えられることが好ましい。

(態様6) 上記の方法において、前記風力発電装置が前記非最適運転点において運転される場合、該風力発電装置から運動エネルギーが取り出され、この運動エネルギーは、該風力発電装置が前記支配的風条件に基づいて実際の風から取り出すことが可能なよりも、短時間、より多くの有効電力を電力網に給電するために使用されることが好ましい。

(態様7) 上記の方法において、前記風力発電装置の回転数は、電力網への前記より多くの有効電力の給電のための前記運動エネルギーの取出によって、前記非最適回転数から少なくとも前記最適回転数に低下されることが好ましい。

(態様8) 上記の方法において、前記非最適回転数は前記最適回転数よりも凡そ毎分0.5~1.5回転、とりわけ凡そ毎分1回転、より大きいことが好ましい。

(態様9) 調節可能な回転数を有する空気力学的ロータを有する発電機を有する風力発電装置が提供される。該風力発電装置は支配的風条件に関し最適な運転点において最適回転数で運転可能に構成されること、及び

該風力発電装置は、移行期間の間又は非最適運転点においては持続的に非最適回転数で運転され、該非最適回転数は前記最適回転数よりも大きいことが好ましい。

(態様10) 上記の風力発電装置において、部分負荷運転においては、夫々の最適運転点の調節のために第1運転特性曲線が設定されかつ前記風力発電装置を前記非最適回転数で制御するために第2運転特性曲線が使用され、該非最適回転数は該第2運転特性曲線によって調節されることが好ましい。

(態様11) 上記の風力発電装置において、全負荷運転から部分負荷運転に移行の際に風速が低下する場合、当初は、とりわけ予め設定された風速領域の間は、出力が低下され、他方、回転数は一定に維持されることが好ましい。

(態様12) 上記の風力発電装置において、前記風力発電装置は、調節可能なロータブレード角を有する1又は複数のロータブレードを有し、前記非最適運転点のロータブレード角はその都度前記最適運転点のロータブレード角に対して変更されることが好ましい。

(態様13) 上記の風力発電装置において、とりわけ、通知信号の、とりわけ電力網管理者によって伝達される外部の通知信号の、受信によって作動されて、前記最適運転点における運転から前記非最適運転点における運転に切り替えられることが好ましい。

(態様14) 上記の風力発電装置において、前記風力発電装置が前記非最適運転点において運転される場合、該風力発電装置から運動エネルギーが取り出され、この運動エネルギーは、該風力発電装置が前記支配的風条件に基づいて実際の風から取り出すことが可能なよりも、短時間、より多くの有効電力を電力網に給電するために使用されることが好ましい。

(態様15) 上記の風力発電装置において、前記風力発電装置の回転数は、電力網への前記より多くの有効電力の給電のための前記運動エネルギーの取出によって、前記非最適回転数から少なくとも前記最適回転数に低下されることが好ましい。

(態様16) 上記の風力発電装置において、前記非最適回転数は前記最適回転数よりも凡そ毎分0.5~1.5回転、とりわけ凡そ毎分1回転、より大きいことが好ましい。

(態様17) 上記の風力発電装置において、前記空気力学的ロータと前記発電機の間には伝動機構が設けられていないことが好ましい。

(態様18) 上記の風力発電装置において、前記風力発電装置はFACTS機能を有するよう構成され、及び/又は前記発電機の生成電気エネルギーを整流し、電力網の周波数、電圧及び位相に適合する状態で該電力網に給電するために交流に変換するための1又は複数の交流変換器を有することが好ましい。

(態様19) 上記態様9~18の何れかの少なくとも2つの風力発電装置と、少なくとも2つのないし前記2つの風力発電装置の電氣的出力を給電するための少なくとも1つの給電点を含むウインドパークも有利である。

10

20

30

40

50

## 【発明を実施するための形態】

## 【0010】

これに応じ、発電機と、調節可能な回転数を有する空気力学的なロータとを有し、電力網に接続される風力発電装置の制御方法が提案される。空気力学的ロータは、発電機の構成要素である電気力学的ロータと区別されるべきものである。発電機、従って風力発電装置全体は、回転数が調節可能に構成されたタイプのものである。従って、回転数は、同義的に電気ネットワークとして称されることもある電力網の周波数に固定的に連動ないし連携されるのではなく、該電力網周波数に依存しないで調節されることが可能である。

## 【0011】

そのような風力発電装置は、その都度の支配的（優勢）風条件に関し、最適な運転点（動作点）で運転されることが可能であり、かつ、通常はそのように運転される。支配的風条件は、とりわけ支配的風速に関するが、これについては、以下において簡略化のために支配的風条件の唯一の特徴として考察する。尤も、現実的には、例えば風の突風性や空気の密度のような更なる条件が考慮されるべきであろうが、ここでは簡略化のため考慮しない。かくして、基本的に、各風速を夫々1つの最適運転点に割り当て可能である。この場合、最適運転点とは、その際に風力発電装置が可及的に多くのエネルギーを風から取り出して電力網に給電するようなものとして理解されるべきであるが、この場合、とりわけ運転点の安定性のような境界条件及びとりわけ風力発電装置の消耗のような装置（機械）的負荷が同時に考慮される。そのような最適運転点はとりわけ相応の最適回転数及び最適出力（電力）供給（Leistungsabgabe）によって特徴付けられるが、以下の説明のためにはこれだけで十分である。なお、この場合、出力（電力）供給（Leistungsabgabe）とは電力網に給電される出力（電力）に関する。この場合、発電機自体が生成する出力（電力）はより大きい場合がある。なぜなら、当該出力（電力）からは例えば損失が差し引かれ得るからである。

## 【0012】

最適回転数によるそのような最適運転点は個々の風力発電装置について原理的に個々の風速に対して存在するにも拘らず、移行期間の間に風力発電装置を非最適運転点で運転すること、但し、この非最適運転点における回転数即ち非最適回転数は支配的風速の最適運転点の最適回転数より大きいことが本発明に応じて提案される。

## 【0013】

より大きい回転数によるそのような運転は、風力発電装置が電力網に追加の有効電力、即ち、支配的風条件即ちとりわけ風速に基づいて実際に電力網に給電されることが可能であろう有効電力を超える追加の有効電力を給電すべきことが予期されるか又はその蓋然性が高い場合に提案される。この場合、即ちとりわけ移行期間の間、風力発電装置はより大きい回転数で運転され、それによって、より多くの運動エネルギーが空気力学的ロータにも発電機の電気力学的ロータにも蓄積される。移行期間は、原理的には、例えば、10 - 30秒間、2 - 10分間又は1 - 5時間、更には1 - 5日間持続し得る。ここで、非最適運転点における運転が移行期間の相応の長さに対しどの程度まで正当化（許容）されるかについては、状況に応じてその都度決定されるべきことである。原理的には、風力発電装置は、回転数が上昇された非最適運転点においても持続的に運転されることは可能である。しかしながら、そのような運転は、非最適運転点におけるそのような持続的運転が過度（比例範囲を超える：unverhaeltnismässig）になればなるほど不利に風力発電装置に影響を及ぼし得る。尤も、そのような運転も技術的には可能であろう。

## 【0014】

電力網に給電される出力（電力）が最適運転点の場合に比べて低減されることなく、風力発電装置を最適回転数より大きい回転数で運転することは原理的に可能である。それにも拘らず、この非最適運転点は、回転数の増加は例えば摩耗の増大を伴うため、不利であり得る。更に、回転数の増加は、その運転点は最適運転点よりも安定性が小さくなるので空気力学的に不都合であり得る。このため、このことは、場合によっては、調節（制御）の手間（ないし必要）の増大、従って回転モーメント又はロータ角の調節のような制御要

10

20

30

40

50

素の投入の増加が必要になることがあり、かくして例えば摩擦も大きくなり得る。

【0015】

有利には、伝動機構（ないし変速機）を備えない（ダイレクトドライブ方式の）風力発電装置が使用される。そのような伝動機構不装備方式の（ダイレクトドライブ方式の）風力発電装置は発電機のロータの極めて大きな慣性モーメントを有するが、これは運動エネルギーを蓄積するために有利に利用することができる。かくして、回転数の増加によって、より多くの運動エネルギーが蓄積可能になる。この場合、そのような回転する部材に蓄積される運動エネルギーは回転数の2乗に比例することが顧慮されるべきである。蓄積されるエネルギーが比例する慣性モーメントは、均質なフルシリンダの場合、半径の4乗で増大する。従って、直径2メートルのフルシリンダは、材料と長さが同じで直径が1メートルのフルシリンダと比べると16倍の慣性モーメントを有する。このことから明らかなことは、伝動機構不装備方式の風力発電装置は多くの運動エネルギーを蓄積することができかつこの蓄積された運動エネルギーは回転数の増加によって更に過度（過比例：ueberproportional）に大きくなることのできることである。

10

【0016】

本発明の一実施形態により、部分負荷領域においてその都度の最適運転点を調節（決定）するために、第1の運転特性曲線を風力発電装置に設定（記憶）する（hinterlegt）ことが提案される。風力発電装置はこの運転特性曲線を用いてその都度（1つの）最適運転点を調節（決定）することができる。このために、運転特性曲線は回転数 - 出力の特性曲線として設定（記憶）することができる。変換（Umsetzung）は、回転数が測定され、更に夫々の（対応する）出力が運転特性曲線に従って調節（決定）されるようにして実行することができる。風から例えばより多くの出力を取り出すことができるとき、回転数は更に増大し、特性曲線に従って対応して新しい出力値が調節される。出力は発電機の回転モーメントを調節（決定）することによって調節（決定）することができる。回転モーメントの調節（決定）は風力発電装置のタイプに依存する。例えば直流励磁ロータを有する同期発電機が使用される場合は、回転モーメントは励磁を調節するための対応の直流を介して調節（決定）される。

20

【0017】

そのような最適運転特性曲線は、原理的に、夫々1つの支配的風条件、とりわけ支配的風速に対し最適である多くの最適運転点を並べた（プロットした）ものである。相応して、本出願においては、任意のないし特定の最適運転点とは - このことは任意のないし特定の非最適運転点に対しても合理的に妥当する - その都度の支配的な（優勢な）風条件ないし風速と理解されるべきである。従って、最適運転点とは個々の条件に対する風力発電装置についての唯一の絶対的な運転点を意味するのではなく、その都度の実際の風条件に対する多くの運転点の単なる1つのことである。

30

【0018】

そのような運転特性曲線はとりわけ部分負荷運転について設定（記憶）される。ここで取り扱う回転数可変の風力発電装置の部分負荷運転では、通常、ロータブレード角は、調節可能である限り、この部分負荷運転のための風条件即ち風速から独立して一定に維持される。既述の通り、単に、その都度有効な（妥当な）運転点、即ち出力及び回転数の調節（決定）が実行されるだけである。部分負荷運転において移行期間の間に増加した回転数（回転数の増加）を調節（決定）するために、第1の最適運転特性曲線の代わりに、第2の非最適運転特性曲線を用いることが提案される。そして、この非最適運転特性曲線に基づいて、より大きな回転数が、有利には対応する最適運転点の場合と同じ出力で、調節（決定）される。従って、この第2の非最適運転特性曲線は、夫々対応する最適運転点のものより大きい回転数を有する多くの非最適運転点を並べた（プロットした）ものである。従って、増加した回転数をもつての風力発電装置の運転の変換は、対応の第2運転特性曲線が設定（記憶）されることによって、部分負荷運転においては簡単な態様で実行することができる。

40

【0019】

50

更に、本発明の更なる一実施形態により、風速が低下する場合、全負荷運転から部分負荷運転に移行する過程において、まず、とりわけ予め設定された風速領域の間、出力が低下され、他方、回転数は一定に維持される。全負荷運転とは、風速が定格風速の値に到達し、かつ、風力発電装置が最適な場合に定格出力及び定格回転数で運転されることをいう。回転数が更に増加すると、ロータブレード角の変更、いわゆるピッチングが実行されて、ロータの空気力学特性 (Aerodynamik) を低下させ、風から取り出すエネルギーを少なくし、以て、回転数の更なる増加に対抗作用 (阻止) する。風速が再び低下し、風力発電装置が全負荷運転から再び部分負荷運転に移行すると、この場合、当初は、出力のみが低下され、回転数はまだ低下されないか通常の場合と比べて僅かな量だけ低下されることが提案される。その限りでは、回転数を当初低下させないということは、風速が定格風速を予め設定された値だけ下回ったときに初めて回転数が低下されることを意味する。その限りでは、回転数を当初低下させないということは、時間的観点からのものと把握されるべきではない。

10

## 【 0 0 2 0 】

更に、本発明の一実施形態により、全負荷運転において [ 回転数を ] 移行期間の間定格回転数より大きい回転数で風力発電装置を運転することが提案される。過大に増加した回転数によるそのような運転は、風力発電装置の寿命を短くする可能性があり、従って、可及的短時間に留められるべきであろう。従って、移行期間は、可及的短時間に、例えば、10分間のみ或いは1分間のみ留められるべきであろう。

## 【 0 0 2 1 】

20

風力発電装置が調節可能なロータブレード角を有する (ロータブレード角が調節可能な) 1又は複数のロータブレードを有し、その都度非最適運転点のロータブレード角が最適運転点のロータブレード角に対して変化されると好都合である。ロータブレード角が調節可能な1又は複数のロータブレードを有する風力発電装置の使用は、その限りでは、風力発電装置のタイプをも説明する。ロータブレード角の調節とは、ロータブレード角のアクティブで規定的 (deterministisch) な調節として理解されるべきである。換言すれば、これは、モータ又は他のアクチュエータを介してのロータブレード角の調節に関する。有利には、風力発電装置は、水平ないし実質的に水平なロータ軸を有する。この水平なロータ軸もまた、風力発電装置のタイプ、即ちいわゆる水平軸 - 風力発電装置として理解されるべきである。例えば凡そ5°又は10°のような僅かな角度だけの水平軸に対するロータ軸の軽度の傾斜角もそれに該当する。

30

## 【 0 0 2 2 】

最適回転数と比べてより大きい回転数の調節 (決定) は、従って、相応のロータブレード角調節を介して又はそれを用いて実行される。かくして、部分負荷運転における非最適運転特性曲線は、最適運転特性曲線のためのものとは異なるロータブレード角を使用することができる。更に、既知にして設定 (記憶: hinterlegt) された最適運転特性曲線から離れ、部分負荷運転において、非最適運転特性曲線のために、ロータブレード角が一定のものとしては前提とされないフィードバック制御 (Regelung) が選択されることも可能である。

## 【 0 0 2 3 】

40

有利には、最適運転点における運転から非最適運転点における運転に切り替えられる。これは、とりわけ、増大された運動エネルギーが必要とされ得ることが予期される場合のために提案される。この切り替えは、有利には、通知信号ないし切替信号の受信によって作動されることができる。そのような通知信号ないし切替信号は、外部の電力網管理者から伝送されることができる。電力網管理者は、例えば、電力網を保護する必要性が生じたことを観測した場合に、そのような信号を伝送することができる。そのため、例えば、クリティカルな電力網状態に至り得る又はクリティカルな電力網状態を示す特別な状況が幾つか知られている。例えば、電力網の伝送ケーブルの分離 (切断) は、これは例えば修理目的又はその他の理由で一時的に実行されるものであるが、電力網をクリティカルな状態に陥らせ得る。このような場合のために、電力網管理者は、そのような通知信号ないし切替

50

信号を風力発電装置又は複数の風力発電装置を有するウインドパークに伝送することができる。

【0024】

有利には、風力発電装置が非最適運転点で運転されている場合に、該風力発電装置から運動エネルギーが取り出され、該風力発電装置が目下の（実際の）風から支配的風条件に基づいて取り出すことが可能なものより多くの有効電力を短時間電力網に給電するためにこの運動エネルギーを使用することが提案される。かくして、増加した回転数で運転されている風力発電装置に蓄積された運動エネルギーが電力網の支援のために使用される。

【0025】

有利には、このために、この運動エネルギーの取り出しが、風力発電装置の回転数が電力網に追加的な有効電力を給電するための運動エネルギーの取り出しによって非最適回転数から少なくとも最適回転数にまで低下されるように実行されることが提案される。有利には、回転数は、最適回転数より一層大きく低下される。かくして、まず第一に、蓄積された追加の運動エネルギーによって、追加の有効電力を電力網にその支援のために給電することができ、それとともにその際の（実際の）風から得られるより多く（のエネルギー）を取り出すことができる。

【0026】

有利には、非最適回転数は最適回転数より凡そ、0.5～1.5回転/分だけより大きい。更に有利には、非最適回転数は最適回転数より凡そ1回転/分だけより大きい。かくして、風力発電装置を過度に不都合な運転点で運転することなく、とりわけ過大な摩擦を引き起こすことなく及び風力発電装置の安定性に関し過大なリスクを伴うことなく、有意な回転数増加、従って同時に運動エネルギーの有意な増加を提案することができる。

【0027】

本発明は、それゆえ、風力発電装置の制御方法（Verfahren zum Steuern）に関する。これに関し、かかる制御方法は、一般的に制御（Steuerung）、即ちフィードバックを有することができ、それによってフィードバック制御（Regelung：閉ループ制御）を形成する制御、又は、フィードバックなしで実行可能である制御として理解されるべきである。換言すれば、フィードバック制御（Regelung）とは、フィードバックを伴う制御（Steuerung）であり、従って、（フィードバックを有するループの中に）所定の制御（Steuerung）を包含する。制御（Steuerung）という概念は、一般化された概念として使用される。

【0028】

更に、本発明により、発電機と、回転数が調節可能な空気力学的ないしエアロダイナミックな（aerodynamisch）ロータとを有し、本発明の方法によって運転される風力発電装置が提案される。有利には、この場合、伝動機構を備えない風力発電装置が使用される。

【0029】

本発明の一実施形態により、風力発電装置がFACTS機能を有することが提案される。名称FACTSは“Flexible-AC-Transmission-System（フレキシブル交流送電システム）”の略語であり、ドイツ語の用法として当業者に一般的に使用されている。これは、電気エネルギー技術においては、電流供給網において電力の流れに対し目標を定めた影響を及ぼすために使用される制御システムとして理解される。とりわけ、そのようなシステムは、目標を定めた有効電力及び/又は無効電力の給電をすることができる。更に、そのような給電は、電力網における測定に依存して実行され、それによって、例えば周波数変化に直接的に応答することができる。かくして、有利な態様で電力網支援のために投入可能な風力発電装置が提案される。移行期間の間に増加回転数を利用する方策（可能性）によって、増大されたエネルギーを運動エネルギーの形態で電力網の支援のために用立て（利用可能に）する方策（可能性）が得られる。これによって、そのような電力網を支援するシステムは、追加の有効電力を（電力網の）支援のために用立てし、必要に応じ電力網に給電することができる。

【0030】

有利には、風力発電装置は、発電機の生成電気エネルギーを直流にし、電力網に給電する

10

20

30

40

50

ために再び交流に変換し、それによって電力網の周波数、電圧及び位相への適合化を行う少なくとも1つの変換器（ないしインバータ：Wechselrichter）を有する。1又は複数のそのような変換器を有し、損失を無視すれば、生成電気エネルギーがすべて該1又は複数の変換器を介して案内される風力発電装置は、いわゆるフルインバータシステム（Vollumrichter-System）として称されることもある。

【0031】

更に、本発明により、本発明の制御方法を有する少なくとも2つの風力発電装置を含むウインドパークが提案される。その限りにおいて、ウインドパークは、連結された複数の風力発電装置、とりわけ電気ネットワークに電気エネルギーを給電するための1つの共通の給電点又は複数の共通の給電点を有する複数の風力発電装置の集合である。本発明の方法 10  
について及び本発明の風力発電装置について説明した利点は、このウインドパークによって統合され、かくして、有意に（著しく）大きな備蓄電力を用立てる（利用可能にする）ことができる。

【0032】

以下に、本発明の種々の実施例を添付の図面を参照して説明する。

【図面の簡単な説明】

【0033】

【図1】水平軸型風力発電装置の一例。

【図2】2つの、回転数 - 出力特性曲線を有するグラフの例。

【図3】3つの、風速依存グラフの例。 20

【実施例】

【0034】

図1は、基本的に従来技術から既知の水平軸型風力発電装置の一例を示す。図1に示したこの水平軸型風力発電装置は、本発明により、所定の方法、即ち本発明の運転管理（制御）方法が実行可能に構成されている。

【0035】

図2は、2つの運転特性曲線、即ち2つの回転数 - 出力特性曲線の例を模式的に示す。このグラフでは、最適運転特性曲線1は実線で描かれており、非最適運転特性曲線2は破線で描かれている。2つの運転特性曲線1及び2は、実際の推移とは異なり得る模式的な推移を示しているにすぎない。とりわけ、実際の推移は、単純化された線形グラフとは異なり得る。このグラフは、本質的に、最適運転特性曲線1と非最適運転特性曲線2の間の関係を具体的に説明すべきものである。その他、このことは、同様に実際の推移に対して大きく単純化されていることがあり得る図3のグラフについても妥当する。 30

【0036】

非最適運転特性曲線2は最適運転特性曲線1と比べると、同じ出力Pに対し夫々より大きい回転数nを有することを、図2のグラフから見出すことができる。従って、夫々の最適回転数に対する回転数の増加は、最適運転特性曲線1の代わりに非最適運転特性曲線2を使用することによって達成することができる。

【0037】

2つの運転特性曲線1及び2は、風力発電装置が定格回転数 $n_N$ 及び定格出力 $P_N$ で運転される定格点4において交わる。この定格点ないし定格運転点4での運転は定格風速の到達後に行うことができる。風力発電装置の過負荷を回避するために、出力Pも回転数Nもそれを超えて大きくされるべきではないであろう。尤も、回転数nを大きくすることは、少なくとも短時間であれば、状況に応じて可能であり得る。この様子は、点線で図示された選択的特性曲線部分6によって模式的に示されている。 40

【0038】

図3は、風力発電装置の運転管理（制御）の例を説明するための3つのグラフを示す。3つのグラフはすべて、風速 $V_w$ に依存するそれぞれ1つの運転パラメータ、即ち、グラフAについては供給出力（abgegebene Leistung）P、グラフBについては風力発電装置即ち空気力学的ロータの回転数n及びグラフCについてはロータブレード角  $\beta$  を示す。グ 50

ラフはすべて、風速がプロットされている同じ横軸に基づいて作成されている。

【 0 0 3 9 】

グラフ A は風速  $V_w$  に依存する出力  $P$  の特徴的な推移を示す。投入開始風速 (Einschaltwindgeschwindigkeit)  $V_{w_{ein}}$  のときに、出力 (電力) 生産が開始される。出力  $P$  は、定格風速  $V_{w_N}$  の際の定格出力  $P_N$  まで増大する。この領域は部分負荷領域とも称される。定格風速  $V_{w_N}$  から最大風速  $V_{w_{max}}$  までは、供給出力  $P$  は一定にとどまり、風力発電装置は定格出力  $P_N$  を供給する。最大風速  $V_{w_{max}}$  以降は、出力  $P$  は、風力発電装置の保護のために、風速  $V_w$  が更に増大すると低下される。回転数が本発明に応じて増加する際に、出力は、少なくとも 1 つの実施態様に応じて理想的には不変にとどまり、その限りにおいて、グラフ A は、最適運転点の使用に対しても非最適運転点の使用に対しても  
10 妥当する (適用可能な) 出力  $P$  の 1 つの特性曲線のみを示している。尤も、一実施態様に  
11 応じ、その都度の最適運転点の出力が対応する非最適運転点の出力と異なること、とりわけ  
12 幾分より大きいことはあり得る。

【 0 0 4 0 】

グラフ B は、実線で描かれた最適回転数特性曲線 3 1 の一例としての回転数  $n$  の推移と、破線で描かれた非最適回転数特性曲線 3 2 の一例の推移を模式的に示す。2 つの回転数  
13 特性曲線 3 1 及び 3 2 はグラフ A の出力特性曲線  $P$  に対応するが、本発明の思想をよりよく  
14 説明するために、グラフが模式的でありかつ理想化されていることは、この関係において  
15 ても同様に当て嵌まる。

【 0 0 4 1 】

図 3 のグラフ B によれば、非最適回転数特性曲線 3 2 に応じた回転数は、定格風速  $V_{w_N}$   
16  $N$  に到達するまで、即ち部分負荷領域において、最適回転数特性曲線 3 1 に応じた回転数  
17 を超えている (より高い値で推移している)。定格風速  $V_{w_N}$  への到達の際、風力発電装置  
18 はその運転点に到達し、従って、回転数  $n$  は、最適回転数特性曲線 3 1 に従っても、破  
19 線で描かれた非最適回転数特性曲線 3 2 に従っても定格回転数  $n_N$  に到達する。代替的に  
20 (その代わりに)、回転数  $n$  を定格回転数  $n_N$  を超えて更に増加させることも可能である  
21 が、これについては、点線で描かれた代替的特性曲線分枝部分 3 4 によって概略的に示さ  
22 れている。この場合、少なくとも所定の期間の間、相応の大きな回転数による風力発電装  
23 置の過負荷は受容される。

【 0 0 4 2 】

その他、最適運転と非最適運転の回転数  $n$  は、全負荷領域ないし全負荷運転において、  
24 即ち (定格) 風速  $V_{w_N}$  から最大風速  $V_{w_{max}}$  までの間においては一致する、即ち、定  
25 格回転数  $n_N$  を有する。これら (の回転数  $n$ ) は、いわゆる暴風領域 (Sturmbereich) に  
26 ついても即ち最大風速  $V_{w_{max}}$  より大きい風速についても同一である (一致する)。

【 0 0 4 3 】

原理的に示されたグラフ A に応じた出力推移及びグラフ B に応じた回転数推移は、グラ  
27 フ C に応じたロータブレード角 の推移に基づくことも可能である。グラフ C も具体化さ  
28 れた推移を模式的に示す。最適ロータブレード角特性曲線 4 1 はグラフ C では実線で描か  
29 れている。これは、部分負荷領域ないし部分負荷運転において、即ち定格風速  $V_{w_N}$  まで  
30 は水平に推移する、即ちロータブレード角は不変に維持される。全負荷領域ないし全負荷  
31 運転においては、即ち定格風速  $V_{w_N}$  以降においては、風からの保護のためにロータブレ  
32 ードを回転するために、ロータブレード角は増大される。最大風速  $V_{w_{max}}$  への到達以  
33 降は、風力発電装置を一層保護するために、ロータブレード角の更なる、とりわけより大  
34 きい調整が実行される。全負荷運転のために、ロータブレード角の増大 (Anstieg) とい  
35 う用語の代わりに、ロータブレード角の減少 (Abfall) という用語を用いることもあるが  
36 、これは異なる効果を記述するものではなく、単に命名法が相違するに過ぎない。全負荷  
37 運転におけるロータブレード角の調整は、一般的にはピッチングと称されるが、当業者に  
38 は原則的に既知である。

【 0 0 4 4 】

非最適ロータブレード角特性曲線 4 2 は破線で描かれており、部分負荷領域において、  
39

10

20

30

40

50

同じ領域における最適ロータブレード角特性曲線 4 1 より幾分より小さいロータブレード角を示す。このより小さいロータブレード角は、当初は、「(より)不都合」と見なされ得る。この場合、より小さい回転モーメント即ち対抗モーメント (Gegenmoment) に基づいてより大きい回転数が達成可能になる。相応に対抗モーメントも表すより小さい発電機モーメント (Generatormoment) によって、より大きい回転数が、グラフ B に示されているように、生成され得るが、これはまたもや流入角 (Anstroemwinkel) の変化を引き起こし得る。即ち、流入角は、風速  $V_W$  だけではなくロータの速度にも依存し、これら 2 つの速度からベクトル的に合成される。その他の点では、出力  $P$ 、回転数  $n$  及び回転モーメント  $M$  の間には以下の式に従った一般的に既知の関係が指摘される：

10

$$P = 2 \quad n M$$

【 0 0 4 5 】

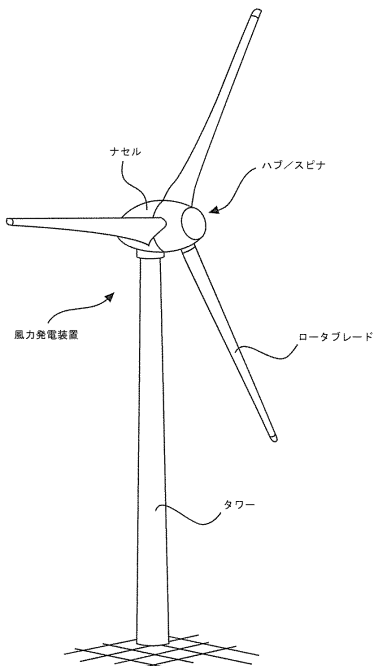
定格風速  $V_{WN}$  に到達すると、非最適ロータブレード (角) 特性曲線 4 2 によるロータブレード角は最適ロータブレード角特性曲線 4 1 によるロータブレード角に一致する。定格風速  $V_{WN}$  の領域において定格回転数より大きい回転数が使用されるべき場合、ロータブレード角は、定格風速  $V_{WN}$  に到達したとき、当初は、増大されない、即ち、ピッチングされないが、これについては、点線で描かれた代替的特性曲線分枝 4 4 によって明確に示されている。この場合は、上述したように、風力発電装置の過負荷は少なくとも所定の期間の間受容される。

20

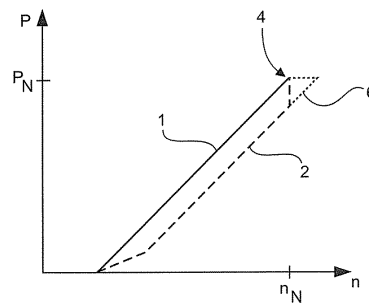
【 0 0 4 6 】

かくして、本発明により、移行期間の間に、所定のエネルギー備蓄を運動エネルギーとして利用可能にするために風力発電装置を少なくとも僅かに増加された回転数で運転することが提案される。

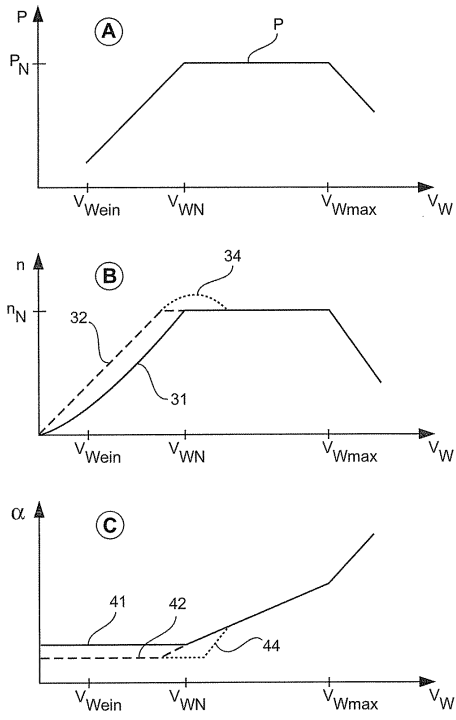
【 図 1 】



【 図 2 】



【 図 3 】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 ベークマン、アルフレート  
ドイツ連邦共和国 2 6 6 3 9 ヴィースモール アム パーク 3 0
- (72)発明者 ヴォルフガング デ ポエル  
ドイツ連邦共和国 2 6 8 0 2 モールマーラント ミスゲンシュターヴェーク 7 b

審査官 塩澤 正和

- (56)参考文献 米国特許出願公開第2003/0185665 (US, A1)  
国際公開第2011/000531 (WO, A2)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- |         |         |
|---------|---------|
| F 0 3 D | 7 / 0 4 |
| H 0 2 P | 9 / 0 0 |