

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6694494号
(P6694494)

(45) 発行日 令和2年5月13日(2020.5.13)

(24) 登録日 令和2年4月21日(2020.4.21)

(51) Int.Cl.		F I			
HO2J	3/38	(2006.01)	HO2J	3/38	160
HO2J	3/18	(2006.01)	HO2J	3/18	135

請求項の数 16 外国語出願 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2018-227509 (P2018-227509)	(73) 特許権者	518431624
(22) 出願日	平成30年12月4日 (2018.12.4)		ゼンヴィオン・ゲゼルシャフト・ミット・
(65) 公開番号	特開2019-103389 (P2019-103389A)		ベシュレンクテル・ハフツング
(43) 公開日	令和1年6月24日 (2019.6.24)		SENVION GmbH
審査請求日	平成30年12月4日 (2018.12.4)		ドイツ22297ハンブルク、ユーバーゼ
(31) 優先権主張番号	10 2017 011 235.5		ーリング10番
(32) 優先日	平成29年12月6日 (2017.12.6)	(74) 代理人	100145403
(33) 優先権主張国・地域又は機関	ドイツ(DE)		弁理士 山尾 憲人
		(74) 代理人	100112911
			弁理士 中野 晴夫
		(72) 発明者	ハインツヘルマン・レタス
			ドイツ24796ボヴェナウ、アム・レッ
			ダー11番
		審査官	下林 義明

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 自律型位相角調整を有するウインドファーム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数の風力エネルギー設備(1)を備え、各設備は、ロータ(12)を介して駆動され、変換器(14)を有する、電気エネルギーを生成するための発電機(13)を有し、ファーム内部網(3)に接続され、内部網は前記風力エネルギー設備(1)を集電ステーション(8)に接続し、送電網への接続のための中央送電ライン(9)は前記集電ステーション(8)へ接続され、位相角()は前記ファーム内部網(3)における電流と電圧との間の位相シフトの測定値であり、前記風力エネルギー設備のそれぞれは有効/無効電力のための制御装置(2)を有し、制御装置は前記位相角に応じて前記各変換器(14)上で作動する、ウインドファームであって、

基準角発生器(6)が更に前記ウインドファーム内に設けられ、前記ファーム内部網(3)内の前記風力エネルギー設備(1)の有効及び無効軸を定義する座標系のための基準角(θ_{ext})を生成し、前記風力エネルギー設備の少なくとも1つの参加部分の前記変換器(14)は、前記基準角発生器(6)によって生成され、信号ライン(4)を介して前記各風力エネルギー設備(1)の有効/無効電力調整器(21、22)に適用される前記基準角(θ_{ext})のために位相の観点から外部で制御される、ウインドファーム。

【請求項2】

合成座標系が、前記ファーム内部網(3)の座標系に対して浮動しているゼロ角度と共に前記基準角発生器(6)の前記基準角(θ_{ext})により形成される、請求項1に記載のウインドファーム。

【請求項 3】

前記ファーム内部網(3)における実位相角(θ_{lcl})を検出し、前記ファーム内部網(3)における局所的な実位相角(θ_{lcl})と基準位相角(θ_{ext})との間の差を形成してそれを限界値と比較し、前記限界値を超えた場合に前記基準角発生器(6)を調整するよう構成される位相モニタ(64)が設けられる、請求項1又は2に記載のウインドファーム。

【請求項 4】

前記各風力エネルギー設備(1)の有効/無効電力調整器(21、22)は、基準位相角と局所実位相角との間の角度差(θ)に基づくフィードフォワード制御装置(61、62)を備える、請求項1～3のいずれか一項に記載のウインドファーム。

10

【請求項 5】

前記フィードフォワード制御装置(61)は実際に出力される有効電流を検出し、合成座標系への座標変換を行うよう構成され、電力仕様の適合は、特に、前記位相角の余弦値による増幅を用いて提供されるのが好ましい、請求項4に記載のウインドファーム。

【請求項 6】

前記フィードフォワード制御装置(62)は実際に出力される無効電流を検出し、合成座標系への座標変換を行うよう構成され、電力仕様の適合は、特に、前記位相角の正弦値による増幅を用いて提供されるのが好ましい、請求項4又は5に記載のウインドファーム。

【請求項 7】

参加風力エネルギー設備(1)は、好ましくは基準位相角のための局所オフセットを考慮に入れることによる異なる基準位相角を有する、請求項1～6のいずれか一項に記載のウインドファーム。

20

【請求項 8】

前記局所オフセットは前記各風力エネルギー設備(1)の動作点によって決まる、請求項7に記載のウインドファーム。

【請求項 9】

参加風力エネルギー設備(1)はグループ(I、II)に細分され、前記グループ(I、II)は異なる基準位相角を有する、請求項1～8のいずれか一項に記載のウインドファーム。

30

【請求項 10】

前記ウインドファームの前記風力エネルギー設備(1)のうちの少なくとも1つは基準位相角として実位相角を用いて動作し、前記集電ステーション(8)における前記実位相角はこの風力エネルギー設備に適用されるのが好ましい、請求項1～9のいずれか一項に記載のウインドファーム。

【請求項 11】

前記有効/無効電力調整器は、更に、局所実位相角のための入力及び基準位相角のための入力を有し、一方の入力から他方の入力へ徐々に切り替わるよう構成される切替モジュール(7)を備える、請求項1～10のいずれか一項に記載のウインドファーム。

【請求項 12】

前記風力エネルギー設備(1)が局所的位相角により起動され、基準位相角への切替が次いで、動作中に行われるような方法で、前記切替モジュール(7)と相互に作用する始動モジュール(76)が更に設けられる、請求項11に記載のウインドファーム。

40

【請求項 13】

無効電力/無効電流のための異なる規定値が、好ましくは局所電圧に適應する方法で参加風力エネルギー設備の前記制御装置(2)に適用され、更に好ましくは、隣接する風力エネルギー設備のための適合は、局所的に循環する無効電流を生成するように、反対方向である、請求項1～12のいずれか一項に記載のウインドファーム。

【請求項 14】

前記集電ステーション(8)は無効電力を受容せず、特に、受動式ダイオード整流器を

50

有する、請求項 1 ~ 13 のいずれか一項に記載のウインドファーム。

【請求項 15】

複数の風力エネルギー設備を備え、各設備は、ロータを介して駆動され、変換器を有する、電気エネルギーを生成するための発電機を有し、ファーム内部網に接続され、内部網は前記風力エネルギー設備を集電ステーションに接続し、送電網への接続のための中央送電ラインは前記集電ステーションへ接続され、位相角は前記ファーム内部網における電流と電圧との間の位相シフトの測定値であり、前記風力エネルギー設備のそれぞれは有効/無効電力のための制御装置を有し、制御装置は前記位相角に応じて前記各変換器上で作動する、ウインドファームを動作させるための方法であって、

基準角発生器を用いて前記ウインドファーム内に専用の座標系を生成することと、

それに基づいて、前記ファーム内部網内の有効及び無効軸のための基準角を定義することと、

前記基準角発生器により生成され、信号ラインを介して前記各風力エネルギー設備の有効/無効電力調整器に適用される前記基準角のために、前記風力エネルギー設備のうちの少なくとも1つの参加部分の前記変換器を位相の観点から外部で制御することとを特徴とする方法。

【請求項 16】

請求項 1 ~ 14 のいずれか一項に記載のウインドファームを用いることを特徴とする、請求項 15 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は自律型位相調整を有するウインドファームに関する。前記ウインドファームは、ファーム内部網を介して集電ステーションに接続される発電用の複数の風力エネルギー設備を備えている。送電網へ接続するための中央送電ラインが前記集電ステーションに接続される。

【背景技術】

【0002】

遠隔地のウインドファーム、特に外洋上にあるものは、多くの場合、特別な送電線を介して接続されている。比較的長距離にわたるかかる送電リンクの場合、送電される無効電力に関して、往々にして制限が存在する。これは特に、原理的に無効電力を全く送電できない直流リンクの場合に顕著である。

【0003】

直流リンク（高圧直流送電）の場合、ウインドファームにおいて、ファーム内部網を流れる三相電流を直流に変換し、従って、直流接続を介して送電するために、整流器が設けられる。対応する遠隔ステーションは陸上に配置され、送電された直流を再度三相電流に変換し、それを結合点（PCC）において送電網に供給する。

【0004】

ウインドファームの集電ステーションに編成される整流器には、異なる主な2種類が存在する。すなわち、主な1種類は能動素子として制御されたIGBTを有し、他方はパワーダイオード（例えば、Siemens製DRUタイプ）を有する制御されていない素子を有する。

【0005】

後者の変形はその構造において極めて簡単であり、僅かな費用のみを必要とする。総じて、それはあまり複雑ではなく、重要な動作パラメータ、特に電力、ロバスト性、コンパクト性等に関して大きな利点をもたらす。しかし、この変形は重大な欠点を有している。すなわち、それはファーム内部網から何の無効電力も取り出すことができない。これは、風力エネルギー設備が任意に無効電力を生成することはできないが、むしろ、全体で後者のライン、変圧器、及び他の操作機器を介する無効電力損失の結果としてのファーム内部網内の無効電力損失を補うこととまさしく同程度だけを生成するという結果を有する。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 6 】

しかし、現代の風力エネルギー設備は特定の無効電力を印加するよう設計されている。それは、風力エネルギー設備が接続される電力網は無効電力を送電することができるという前提に基づいている。しかし、それは明確に、ここで一例として説明するような直流リンクを介して接続される洋上風力発電所等の遠隔地のウインドファームにおける使用に対して適用しないということを前提としている。無効電力は送電することができず、すなわち、特定の無効電力を印加する現代の風力エネルギー設備の資産とは相容れない。不整合が存在している。この点において、ファーム内部網は無効電力の観点から過剰判断されている。

【 発明の概要 】

10

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 7 】

従来手段、例えば、STATCOM又は他のタイプの移相器の設備により、それに対処することが知られている。この全ては、生産の観点からコストのかかる追加装置を必要とし、より複雑でありながら、それに応じたより大きな障害を受け易くなる。

【 0 0 0 8 】

本発明は、これらの欠点が回避されるウインドファーム及び対応する運転方法を規定する目的に基づいている。

【 0 0 0 9 】

本発明による解決法は独立クレームの特徴内に存在する。従属クレームは有益な発展に関係している。

20

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 1 0 】

複数の風力エネルギー設備を備え、各設備は、ロータを介して駆動され、変換器を有する、電気エネルギーを生成するための発電機を有し、ファーム内部網に接続され、内部網は風力エネルギー設備を集電ステーションに接続し、送電網への接続のための中央送電ラインは集電ステーションへ接続され、位相角はファーム内部網における電流と電圧との間の位相シフトの測定値であり、風力エネルギー設備のそれぞれは有効/無効電力のための制御装置を有し、制御装置は位相角に応じて各変換器上で作動する、ウインドファームにおいて、本発明によれば、自律型基準角発生器が更にウインドファーム内に設けられ、ファーム網内の風力エネルギー設備の有効及び無効軸を定義する座標系のための基準角を生成し、風力エネルギー設備の少なくとも1つの参加部分の変換器は、基準角発生器によって生成され、信号ラインを介して各風力エネルギー設備の有効/無効電力制御装置に適用される基準角のために位相の観点から外部で制御されることが提供される。

30

【 0 0 1 1 】

最初に、用いられる幾つかの用語を説明する。

【 0 0 1 2 】

基準角発生器とは、ファーム内部網における座標系に関する基準角（基準位相角又は略して基準角）を生成する装置を意味すると理解される。基準角発生器は、また、ファーム内部網のための基準周波数も生成する。

40

【 0 0 1 3 】

静止座標系とは、回転しない座標系を意味すると理解される。その一例は、3つの電圧フェーズが3つの相に対して回転する三相システムの静止座標系である。座標系の絶対角度位置は必ずしもゼロである必要はなく、すなわち、後者は「傾斜」していてもよい。この角度位置は変化してもよい（浮動ゼロ角）。

【 0 0 1 4 】

本発明は、ウインドファームにおける無効電力が可能な限り互いに補償し合うように、風力エネルギー設備の調整をファーム内部網との相互作用においてそれらの変換器と共に修正するという概念に基づいている。これは、この必要とする費用的に追加される移相器又はSTATCOM等のハードウェアを用いず、その変換器を有する風力エネルギー設備

50

の調整において本発明によって達成することができる。本発明は、これがウインドファームにおける専用の本質的に全て人工的な座標系を生成することによって達成できることを認識した。従来から、風力エネルギー設備がその接続端末においてファーム内部網への電圧及び電流に対する値を検出し、それから実際の位相角を判断し、それに基づいて、有効及び無効成分への分解を行うことがある。調整はこの実際の座標系において行われる（接続端末において測定される）。調整は、次いで、有効及び無効電流を印加する。本発明はこの長年続く決まりきった原則から離れ、ここで風力エネルギー設備の有効及び無効電力の調整のための基礎として取り入れられる専用のウインドファーム自律型の根本的に人工の座標系を提供する。従って、有効及び無効電力に関して、風力エネルギー設備の局所的な調整はそれ自体の局所的な電圧位相システムを採用しないが、むしろ外部から風力エネルギー設備に適用される人工的な電圧基準システムを採用し、従って、その位相に関して外部で制御される。

10

【 0 0 1 5 】

これは大きな利点を必然的に伴う。驚くことに、各風力エネルギー設備外部の位相角のこの仕様は追加の自由度を必然的に伴う。これは、ここで風力エネルギー設備がその接続端末における普及等のまさに位相角によりその電力の供給を行わないが、むしろ外部で予め定義されたものを供給するからである。従って、外部で制御され、外部から印加される位相角と各風力エネルギー設備の接続端末に実際に存在する実位相角との間に差が生じる可能性がある、また、差が生じる。ある特定のインピーダンスがこの点において生じる。それは、位相角のために本質的に不適切な無効電流が外部から印加されるように風力エネルギー設備が供給を行った場合、実際に出力される有効/無効電力の分配が、特に、それがファーム網によって指定される物理的境界条件と一致するまでの範囲に変化する結果として、局所的な電圧フェーザの回転に通じる不一致が生じるような効果を有する。

20

【 0 0 1 6 】

外部で位相角を指定する本発明のおかげで、変換器における設定を実際に広がる位相角から切り離す。この分離のために、風力エネルギー設備はウインドファーム内に実際に広がる条件にそれ自体を良好に調整できる。特に、これは、そうでなければ、集電ステーションが無効電力を送電することができなかった場合、強制的な仕様の結果としてウインドファーム内に生じるような危険を伴う過度な決定を抑制する。例えば、受動式ダイオード整流器が高圧直流送電の整流器として用いられた場合、かかる無効電力を受容しない集電ステーションが存在する。

30

【 0 0 1 7 】

従って、逆説的に言えば、位相角の外部印加は結果として、風力エネルギー設備のためのより大きな自由度を生じる。遠隔地のウインドファーム、特に洋上ウインドファームのファーム内部網における過度な決定は、従って、効果的に回避することができる。STATCOM又は移相器等の高価な追加機器は必要としない。これは従来技術において例が無い。

【 0 0 1 8 】

驚くことに、本発明によれば、位相が外部から印加されても、変換器は過度に高い電流から保護されることがわかった。本発明は、見掛けの電流が外部位相仕様にもかかわらず一定に維持され得ることを認識した。これは、本質的に、有効及び無効電流の異なる組み合わせが同じ見掛け電流に通じる可能性があるような状況があるからである。従って、この点において、実際の条件に対応しない値が外部仕様によって指定されても問題にはならない。従って、危険を伴う電流限界値超過は、本発明により回避される。

40

【 0 0 1 9 】

合成座標系は、基準角発生器によって生成される位相角により有利に生成される。前記座標系は、ファーム内部網自体の実際の座標系に対してそのゼロ角度に関して浮動している。これは、絶対位相角が変化できることを意味している。これは、座標系の絶対位置が変化できるという事実を考慮に入れている。これは、一方での合成座標系と他方での各風力エネルギー設備における実位相角との間の適切な相対的回転を用いて、適合を行うこと

50

ができるという可能性をもたらす。これは基本的に、最適な自動調整を可能にする。

【0020】

便宜上、ファーム網における実位相角を検出し、ファーム網における局所的な実位相角と基準位相角との間の差を形成してそれを限界値と比較し、限界値を超えた場合に基準角発生器を調整するよう構成される位相モニタが設けられる。これは、位相角に関する実際の条件が全て基準位相角によって与えられる合成座標系の位相角から離れて逸脱しないことを保証することができる。これは、各風力エネルギー設備及びシステム全体の有効及び無効電力に対する調整の安定性を維持する。位相角のための監視モジュールが有利に設けられる。それは、便宜上、逸脱が生じた場合に基準角発生器を調整するよう構成される。従って達成されるものは、過度に大きい逸脱が生じた場合には、基準角発生器の調整によって合成座標系がそれに応じて追跡されることである。システムの安全性及び安定性は、従って維持される。

10

【0021】

各風力エネルギー設備の有効/無効電力調整器はフィードフォワード制御装置を備えるのが好ましい。後者は、一方での基準位相角と他方での局所実位相角との間の角度差に基づくように具現化される。このように、有効及び/又は無効電力の仕様は、言うなれば、基準位相角を有する外部で与えられる合成座標系における対応する変数に変換することができる。従って、フィードフォワード制御は良好に適合させることができる。従って、一方での適用された基準位相角と他方での実位相角との間の可能性のある偏差に対してより堅固になる。

20

【0022】

フィードフォワード制御装置は実際に出力される有効電流を検出し、合成座標系への座標変換を行うよう構成されるのが好ましく、電力仕様の適合は、特に、基準位相角の余弦値による増幅を用いて提供されるのが好ましい。これは、ある種の増幅が一方での基準位相角を考慮に入れる間にもたらされる仮想有効電流と他方での実位相角を考慮に入れる間にもたらされる実有効電流との間に生じるという見識に基づいている。この増幅は、基準位相角と実位相角との間の角度差の余弦に対応する因子によって振幅を修正する対応するフィードフォワード制御装置によって振幅の観点から補償され得る。従って、高速で正確な調整をフィードフォワード制御装置によって達成することができる。これは管理行動及びシステム安定性を向上させる。

30

【0023】

従って、フィードフォワード制御装置は実際に出力される無効電流を検出し、合成座標系への座標変換を行うよう構成され、電力仕様の適合は、特に、位相角の正弦値による増幅を用いて提供されるのが好ましい。有効電流に関して上で与えた説明は同様に適用できる。

【0024】

ウインドファームの全ての風力エネルギー設備に適用される本発明による基準位相角にとって、それは不可欠とは限らない。風力エネルギー設備の一部のみがそれに参加していたとしても十分である可能性があり、少なくとも1つは参加しなければならない。参加風力エネルギー設備は、必ずしも全て同じ基準位相角を得る必要はない。更に、参加風力エネルギー設備が、好ましくは基準位相角のための局所オフセットを考慮に入れることによる異なる基準位相角を有していたとしても十分である可能性がある。従って、個々の風力エネルギー設備のそれぞれ個々の条件への適合が行われてもよい。これは、ある特定の風力エネルギー設備が遠隔に配置されるか、又はそうでなければ、ファーム内部網におけるそれらの電気パラメータに関して異なっていたとしても、特に有利である。更に、局所オフセットは各風力エネルギー設備の動作点によって決まることが提供されてもよい。これは、ウインドファームの風力エネルギー設備間の特に無効電力生産の適合及び負荷の分配に対して更なる可能性を与える。

40

【0025】

基準位相角の異なる仕様が個々の風力エネルギー設備に対して設備に特化して行われて

50

もよい。しかし、また、参加風力エネルギー設備がグループに細分され、グループが異なる基準位相角を有することが提供されてもよい。グループへの分割は、概して、僅かな支出で良好な調整を可能にする。

【0026】

特に、ウインドファームの風力エネルギー設備のうちの少なくとも1つが基準位相角として実位相角を用いて動作し、集電ステーションにおける実位相角はこの風力エネルギー設備に適用されるのが好ましい場合に、都合が良い。これは、少なくとも1つの風力エネルギー設備がウインドファームの位相角に関する実際のパラメータにより動作することを可能にする。この風力エネルギー設備は、また、位相に関するスラックノードとして機能する。それはシステム安定性にとって都合が良い。それは、特にこの風力エネルギー設備が集電ステーションに又はその近傍に配置され、従って、後者と同じ位相角を有している場合に事実である。未だ位相角偏差が存在する場合、それらはこの風力エネルギー設備によって識別され、補償することができる。故に、位相角ゼロ、従って無効電力からの自由が結果として集電ステーションに広がるように、細かい調整も行われる。ウインドファームの少なくとも1つの更なる風力エネルギー設備が本発明による人工電圧基準システムにより動作することは言うまでもない。

10

【0027】

更に、局所実位相角のための入力及び前記基準角のための入力を有し、一方の入力から他方の入力へ徐々に切り替わるよう構成される切替モジュールを備えることが有利である。従って、一方での合成座標系の人工の仮想基準位相角と他方での局所実位相角との間で調整を連続的に変化して実行することが可能である。これは、特に風力エネルギー設備の接続に関して重要な利点を与える。従って、それらは少なくとも初期に実際に存在する位相角により動作させ、次いで、後に安定動作中に本発明による位相角の外部仕様に連続的に切り替えることができる。

20

【0028】

本発明の更なる有利な形態に従って、個々の風力エネルギー設備に対する無効電力の特定の仕様が、それに応じて実行される。最も単純な実施形態において、全ての風力エネルギー設備は同じ特定値により動作する。しかし、これは不可欠とは限らない。また、風力エネルギー設備が負荷に依存する方法で無効電力に関する規定値を適合させることも提供されてもよい。このように、高負荷で動作する風力エネルギー設備は低い無効電力を与えることができる一方で、低出力のかかる風力エネルギー設備はそれらの未だ十分な蓄えを利用してより高い無効電力を与えることができる。また、適合はファーム網内の電圧に依存して行うことができることも提供され得る。適切な場合、独立した保護に値する1つの特に都合が良い種類の適合は、相互に隣接する風力エネルギー設備が反対方向に変化する規定値を取得することである。この点において、例として、隣接する設備のうちの1つはある特定の大きさに増加する供給無効電力のための設定点の値を取得することができる一方で、隣接設備は、それに応じて大きさが減少する供給無効電力のための設定点の値を取得する。無効電力は従って、これら2つの風力エネルギー設備の間を循環し、その結果として、反対に向かう規定値の適切な選択の場合、それらの風力エネルギー設備間のインピーダンスの補償を達成することができる。原点位置における直接的なインピーダンスの局所補償に対する機能は、本発明の特定の成果である。

30

40

【0029】

本発明は更にウインドファームを運用するための対応方法にも適用される。

【0030】

本発明を好ましい実施形態に基づいて一例として以下で説明する。

【図面の簡単な説明】

【0031】

【図1】図1は、本発明の例示の一実施形態に従うウインドファームの略図を示す。

【図2】図2は、ファーム内部網のための同等の回路図を示す。

【図3】図3は、風力エネルギー設備のベクトルをベースとした調整のためのブロック図

50

を示す。

【図4】図4は、図1に従うウインドファームにおける複数の風力エネルギー設備に関する機能図を示す。

【図5】図5は、フィードフォワード制御装置に関するブロック図を示す。

【図6】図6は、座標系内の電流に関する図を示す。

【図7】図7は、切替モジュールに関するブロック図を示す。

【図8】図8は、切替モジュールに従う基準角に関する機能図を示す。

【発明を実施するための形態】

【0032】

本発明の例示的な一実施形態によるウインドファームを図1に示す。ウインドファームは、発電用の複数の風力エネルギー設備1と、風力エネルギー設備1が発電した電力を出力するファーム内部網3と、ファーム内部網3が接続されるファーム変圧器18と、ウインドファームの風力エネルギー設備1によって発電され、ファーム内部網3を介して集電される電力を送電ライン9へ出力する集電ステーション8とを備えている。ファーム内部網は三相ネットワークとして具現化され、送電ラインは、好ましくは、高圧直流送電（HVDC送電）及び受動式ダイオード整流器として具現化される。ファームマスタ5は風力エネルギー設備1を監視し、その上位制御を行うために設けられる。前記ファームマスタは通信ネットワーク4を介して個々の風力エネルギー設備1に接続されている。図1に示されている3つの風力エネルギー設備1は単なる例として考えるべきであり、ウインドファームは極めてより多くの風力エネルギー設備を有することができる。しかし、最低でも2つ、好ましくは少なくとも3つの風力エネルギー設備1を有している。

【0033】

風力エネルギー設備1は略従来通りに具現化される。それは、タワーの上端部において方位に整えられ得るように配置されたナセル11を有するタワー10を備えている。ウインドロータ12はナセル11の端部側に回動自在に固定され、前記ウインドロータはロータ軸（図示せず）を介して発電するための発電機13を駆動している。発電機13は変換器14と組み合わせられ、それらは発電した電力を接続ライン16及び任意選択の設備変圧器17を介してファーム内部網3へ出力する。変換器14は完全な変換器又は（発電機としての二重給電非同期機を有する）部分的な変換器として具現化できる。風力エネルギー設備1の動作制御装置2がナセル11に更に配置されている。それは風力エネルギー設備及びその構成部品、特に変換器14の動作を監視し、制御するよう構成される。各風力エネルギー設備1の制御装置2はファームマスタ5との通信用の通信ネットワーク4に接続されている。

【0034】

更に、専用の自律的に作動する基準角発生器6がウインドファーム内に設けられている。前記基準角発生器は、基準電圧系統及び特に、ファーム網3内の風力エネルギー設備1の有効及び無効軸を定義する座標系のための基準角を生成する周波数発生器60を備えている。周波数発生器60は従って、専用の準合成座標系を作成し、それを風力エネルギー設備1に与え、風力エネルギー設備は変換器14を用いてそれらによって発電された電力の出力のための基準として（場合によっては変更と共に）それを用いる。かかる自己定義された合成座標系は、遠隔地において及び/又は位相不感接続ライン（直流送電、例えば、受動式ダイオード整流器を有するHVDC送電等）を介して、相互接続された電力網に接続されるかかるウインドファームに特に適している。それは特に洋上ウインドファームにおける用途に適用される。

【0035】

ここで、ファーム内部網3のための代替であり同等の回路図を、それに接続される構成部品と共に示す図2A、Bを参照する。図2Aは、ファーム変圧器18のインピーダンスと集電ステーション8のインピーダンスが送電ライン16のインピーダンスとファーム内部網3のライン自体のインピーダンスを単純化するために組み合わせられる従来と同等の回路図を示している。集電ステーション8は、パワーダイオードにより構築される整流器と

10

20

30

40

50

して示されており、ここでパワーダイオードは順電圧を表すものとして同等の抵抗 8 1、理想ダイオード 8 2、及び直流電圧源 8 3 によって略図的に示されている。

【 0 0 3 6 】

符号 R 及び X 並びに後続の指標は抵抗誘導性インピーダンスを意味し、ここで添字 LL はライン自体を表し、添字 LC はその容量結合を表し、添字 P はファーム変圧器 1 8 の一次側を表し、添字 S はその二次側を表し、添字 H はその主磁場インダクタンスを表し、添字 TX は集電ステーション 8 におけるそれぞれの値を表している。風力エネルギー設備 1 の出力に広がる電圧は V_{wea} と表され、流れる電流は I_{wea} と表される。最終的に集電ステーションの入力に存在する三相ネットワーク内の電圧は V_{AC} と表され、そこを流れる電流は I_{AC} と表される。(理想)ダイオード 8 2 に存在する交流電圧は V_{ACX} と表され、理想整流後にそれから結果として生じる直流電圧は V_{DCX} と表され、それから V_{DC} の直流電圧値及び I_{DC} の直流が素子 8 3 を用いて順電圧を考慮しながら結果として生じる。

10

【 0 0 3 7 】

図示を単純にするため、便宜上、同じタイプの素子を一まとめにし、次いで、図 2 B の同等の回路図をもたらし。新しい値として、電圧 V_{ACY} がここで追加され、誘導性、容量性、及び抵抗性インピーダンス間の結合点における電圧を説明している。残りは、図 2 A に示す素子に対応している。

【 0 0 3 8 】

電流 I_{AC} を駆動する差分電圧 $V_{ACY} - V_{ACX}$ があり、それが有効電力流を定義するものであることが略図から見て取ることができる。以下が有効電流に対して適用される：抵抗グループ内の抵抗が比較的低いことを考慮した場合、これは、 V_{ACY} の比較的小さな上昇でさえも高い有効電流を生じさせる可能性があることを意味している。電圧 V_{ACX} は H_{VDC} 送電接続 9 の直流電圧 V_{DCX} 及び V_{DC} に依存する。同様に、以下が無効電流に対して適用される：それらは、グラウンドに接続されるインピーダンスのインピーダンスによって分割される電圧 V_{ACY} に直接起因する。この電流は比較的低く、大まかに言えば、風力エネルギー設備の有効電力動作点及び電圧 V_{ACY} に略受動的に起因する。更に、電圧 V_{ACY} 及び V_{wea} は、風力エネルギー設備電流 I_{wea} のために誘導性直列インピーダンス X_{LL} 、 X_P 、及び X_S 間の電圧降下の結果として位相シフトされる。

20

30

【 0 0 3 9 】

本発明は、電圧 V_{ACY} 又は、より正確にするために、 V_{ACY} と V_{ACX} との間の電圧差を制御することにより有効電流を印加することによってこれを利用しており、ここで電圧 V_{ACY} は実際に測定できる電圧ではない。無効電流は印加されない。

【 0 0 4 0 】

ここでの必須要素は、本発明により、風力エネルギー設備がそれによって発電した電力を専用の接続ライン 1 6 において測定された位相角でファーム内部網 3 に供給しないが、代わりに、外部で特定された位相角を基準として取るという点にある。この外部で特定された位相角は風力エネルギー設備 1 のベクトルをベースとした調整に用いられ、図 3 において視覚化する。

40

【 0 0 4 1 】

ここで、図 3 を参照する。発電機 1 3 は基本的に従来のものであり、前記発電機は変換器 1 4 に接続され、後者は次に、変換後ライン 1 6 を介して電力を出力する。三相システムの 3 つのライン上に適切なセンサを用いて、電圧及び電流が検出され、座標変換用のブロック 2 0 に印加される。前記ブロック 2 0 は、三相ネットワークの三相システムにおいて検出された電圧及び電流のための値を回転ベクトルへ向けられる二軸座標系(いわゆる DQ 座標)に変換し、従って、(調整器 2 1 を用いて)有効電力及び(調整器 2 2 を用いて)無効電力を調節するようそれらを用いるために、それら処理において角度の点で逆方向(-)に回動するよう構成される。有効/無効電力の調整は、従って、DQ 座標系において行われる。最終的に、再度、座標系の逆変換を提供する必要がある。ブロック 2 3

50

はこの目的のために設けられ、二軸座標系を再度、三相システムに変換し、それに応じて、それを処理において角度の点で順方向(+)に回転させ、これに基づき、制御信号を変換器14の制御装置15に印加する。座標変換の静止/回転又は回転/静止のために、ブロック20及びブロック23の両方は位相角についての情報を必要とする。後者は従来から、接続ライン16に実際に存在する位相から判断され、 θ_{lc1} として測定される。この値は図3において破線で説明的に表されている。しかし、この値は本発明による座標変換20、23のために用いられない。外部で特定される(基準角発生器6)位相角 θ_{ext} が代わりに用いられる。それは、有効及び無効成分による電流の位相分割が、従って、風力エネルギー設備1の接続ライン16上の上の実際の位相角 θ_{lc1} に基づいては行われぬが、むしろ、基本的には仮定の、外部で特定される位相角 θ_{ext} に基づいて行われることを意味する。

10

【0042】

この座標変換及び基準として取られる座標系を図6に示す。接続ライン16に実際に広がる条件を表す座標系が実線で表されている。無効成分(「react」)は横座標に表され、有効成分(「act」)が縦座標に表されている。基準角発生器6によって合成されて生成される外部座標系は破線で表されている。それは、実際の座標系に対して基本的に本質的に任意の位相角を有するという点で実際の座標系とは異なる(ここで、偏差は、便宜上、過度に大きいべきではない)。接続ライン16を介して変換器14によって実際に出力される見掛けの電流をIとする。電流は実際のものであり、有効及び無効成分にそれぞれ分解するために座標系を用いることは無関係に存在する。実際の座標系(実線軸

20

において、この総電流Iは実有効電流成分 I_{act_lc1} 及び実無効成分 I_{R_lc1} (実線矢印で表す)に分解することができる。合成されて生成された仮想座標系において、同じ見掛けの電流Iは仮想有効電流成分 I_{act_ext} 及び仮想無効電流成分 I_{R_ext} (太い破線矢印で表す)から構成されている。

【0043】

明らかのように、有効成分及び無効成分の大きさは、実座標系及び仮想座標系における表現の間で大きく異なっている。仮想座標系において、有効及び無効電流に対する大きさは、結果として以下の関係に従って生じる。

$$I_{act_ext} = |I| \times \cos(\theta_{lc1} - \theta_{ext}) = |I| \times \cos(\theta_{ext} - \theta_{lc1}) \quad (1)$$

30

$$I_{R_ext} = |I| \times \sin(\theta_{lc1} - \theta_{ext}) = |I| \times \sin(\theta_{ext} - \theta_{lc1}) \quad (2)$$

【0044】

この場合、 $\theta_{ext} - \theta_{lc1}$ は $\theta_{ext} - \theta_{lc1}$ の差である。従って、有効電流及び無効電流は2つの座標系に対して別々に割り当てられると言うことができ、ここで見掛けの電流は両方の場合において同じである。

【0045】

しかし、それはまた、 $\theta_{ext} - \theta_{lc1}$ の仮定した位相差を与えた場合、仮想座標系における有効電流は常に、上記の関係に従って大きさの観点から実有効電流とは異なることを意味しており、同じことが同様に無効電流にも適用される。本発明により、外部で合成されて生成された仮想位相角が風力エネルギー設備1の制御装置2に適用されるという事実のおかげで、有効電力調整器21及び無効電力調整器22も仮想座標系において動作する。従って、それらは、実際の条件とは異なる大きさの有効電力(及び無効電力のそれぞれ)に調整する。それらに起因する偏差は、管理行動及びシステム安定性における問題に通じる可能性がある。これを回避するために、本発明はフィードフォワード制御装置(図5も参照)を設けるのが好ましい。これに関して、最初に、有効電力フィードフォワード制御装置61が有効電力調整器21のために設けられる。前記有効電力フィードフォワード制御装置は、上で示した関係性(1)に従って、仮想座標系における有効電流が実際の条件とは異なることに従う関係を実装する。これはフィードフォワード制御装置61によって考慮される。これは有効電流に関する実際の及び仮想条件が大きく逸脱することを防いでいる。同じことが無効電流に対して同様に適用される。この場合、無効電流のための対応するフィ

40

50

ードフォワード制御装置 6 2 が無効電力調整器 2 2 のために設けられる。

【 0 0 4 6 】

ここで、更に図 4 を参照する。フィードフォワード制御装置 6 1、6 2 によって橋渡しされる不一致があまり大きくならないように、実際の及び仮想の座標系の間の角度差はあまり大きくなってはならない。このために、位相モニタ 6 4 が設けられるのが好ましい。それは 2 つの入力を有し、ここで実位相角 θ_{lc1} は一方の入力に適用され、基準角発生器 6 によって生成された外部位相角 θ_{ext} は他方の入力に適用される。位相モニタ 6 4 は前記位相角同士の間の差を形成し、設定され得る限界値とそれを比較する。差が設定され得る限界値未満にあるような範囲に低減されるように、その位相角が変化するために、位相モニタ 6 4 が作動信号を基準角発生器 6 に出力する場合に限り、前記限界値を超える。このように、2 つの座標系は、そうでなければ大きく傾斜し、従って安定性の問題に通じる可能性のある超過して逸脱することが防止される。

10

【 0 0 4 7 】

図 7 に示すように、ある特定の状況において、風力エネルギー設備 1 は外部で特定される基準角 θ_{ext} で動作しないが、むしろ局所的な基準角で動作することが任意選択により提供されてもよい。これは、特に風力エネルギー設備が始動（起動）する場合に有利である可能性がある。この場合、風力エネルギー設備 1 がその時の実際の状態に従う位相角 θ_{lc1} で動作すれば好都合である。起動プロセス後、風力エネルギー設備 1 を穏やかに外部基準角 θ_{ext} に切り替えるために、切替モジュール 7 が設けられるのが好ましい。後者は実位相角 θ_{lc1} 用の入力 7 1 及び外部位相角 θ_{ext} 用の入力 7 2 を有している。それらは増倍素子 7 3 及び 7 4 のそれぞれに印加される。0 ~ 100 % の混合比に対して 0 から 1 へ傾斜状に進む制御信号 CTL が更に印加される。この値は倍率としてそれぞれ反対方向に 2 つの増倍素子 7 3、7 4 へ適用される。その出力は最終的に混合出力信号 7 7 を生成する加算素子 7 5 へ接続される。局所位相角 θ_{lc1} と仮想基準角 θ_{ext} との間の連続可変遷移はこのように達成することができる。制御信号 CTL は始動モジュール 7 6 によって生成される。

20

【 0 0 4 8 】

始動モジュール 7 6 による切替モジュール 7 の動作形態を図 8 に示す。図 8 A において、仮想基準角 θ_{ext} は破線で表されており、実位相角 θ_{lc1} は実線で表されている。制御信号 CTL を図 8 C に示す。それは初期状態で 1 であり、実局所位相角 θ_{lc1} が 100 % 用いられることを目的とすることを意味している。制御信号 CTL の値は、次いで、直線的に傾斜状に値 0 まで降下し、それは外部基準角 θ_{ext} への切替が徐々に行われることを意味している。結果として生じる出力信号を図 8 B に示す。跳躍の無い調和遷移が位相角に関して行われることが明らかである。

30

【 0 0 4 9 】

ウインドファームの風力エネルギー設備 1 は全て同じ外部基準角で作動してもよい。しかし、これは不可欠とは限らない。風力エネルギー設備 1 を異なる外部基準角で作動するグループ I、II（図 4 参照）に組み合わせることにしてもよい。このために、オフセットモジュール 6 6 が便宜上かかるグループ内に設けられる。これは、オフセット角 θ_{off} によって外部で特定される基準角 θ_{ext} を変更するよう構成される。更に、オフセット角は、グループ II が異なるオフセット角 θ_{off}' で動作するように、グループ I、II 間で異なってもよい。

40

【 0 0 5 0 】

オフセット角 θ_{off} は静的である必要はないが、むしろ、例えば、各風力エネルギー設備の電圧又は動作点に応じて、オフセットモジュール 6 6 によって変更されてもよい。適合は、また、無効電流が好ましくは隣接する風力エネルギー設備 1 間を循環するような方法で提供されてもよい。結果として、介在するラインインピーダンスの結果としてのファーム網における電圧降下を低減又は補償することが可能である。このために、各風力エネルギー設備 1 における有効電流及び、特に無効電流に対する仕様を追加の値を用いて反対方向に変更することに、便宜上、対応している。このように、図 4 において中央に配置

50

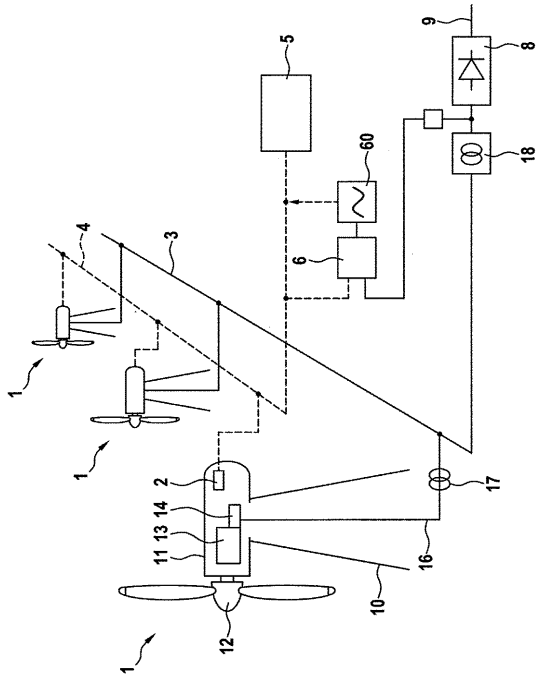
された風力エネルギー設備で反対方向に向いた2つの矢印によって示すように、局所的に循環する追加の無効電流が生成される。

【符号の説明】

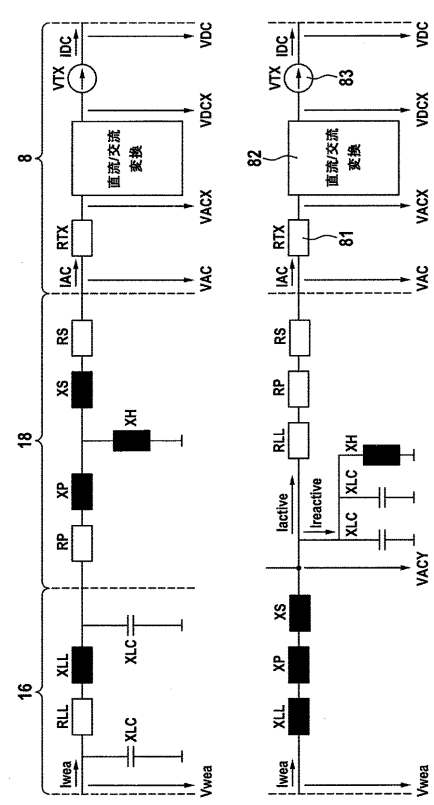
【0051】

- | | | |
|-------|---------------|----|
| 1 | 風力エネルギー設備 | |
| 2 | 制御装置 | |
| 3 | ファーム内部網 | |
| 4 | 信号ライン | |
| 5 | ファームマスタ | |
| 6 | 自律型基準角発生器 | 10 |
| 7 | 切替モジュール | |
| 8 | 集電ステーション | |
| 9 | 中央送電ライン | |
| 10 | タワー | |
| 11 | ナセル | |
| 12 | ロータ | |
| 13 | 発電機 | |
| 14 | 変換器 | |
| 15 | 制御装置 | |
| 16 | 接続ライン | 20 |
| 17 | 設備変圧器 | |
| 18 | ファーム変圧器 | |
| 20、23 | ブロック | |
| 21、22 | 有効/無効電力制御装置 | |
| 60 | 周波数発生器 | |
| 61、62 | フィードフォワード制御装置 | |
| 64 | 位相モニタ | |
| 66 | オフセットモジュール | |
| 71、72 | 入力 | |
| 73、74 | 増倍素子 | 30 |
| 75 | 加算素子 | |
| 76 | 始動モジュール | |
| 81 | 抵抗 | |
| 82 | 理想ダイオード | |
| 83 | 直流電圧源 | |
| | 位相角 | |
| | ext 基準角 | |
| | lcl 実位相角 | |
| | 角度差 | |

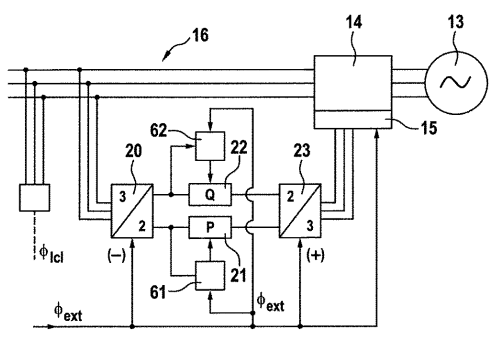
【 図 1 】



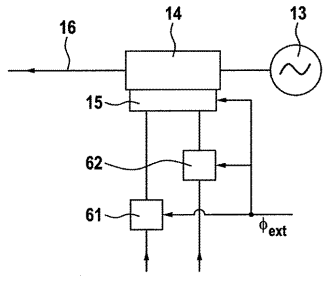
【 図 2 】



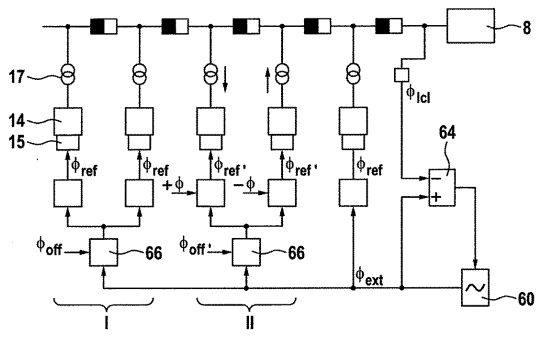
【 図 3 】



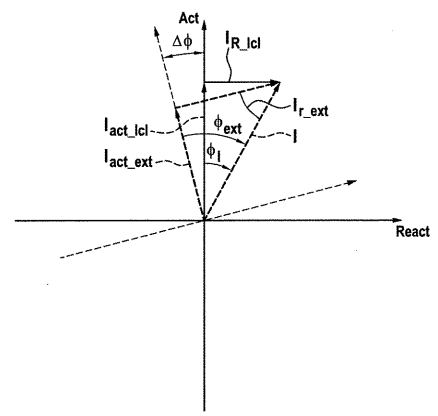
【 図 5 】



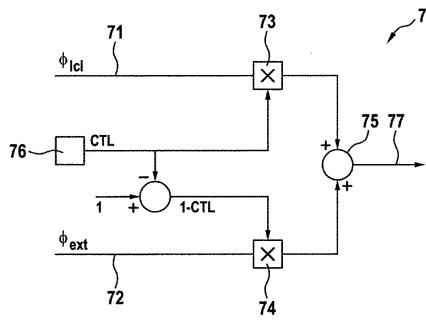
【 図 4 】



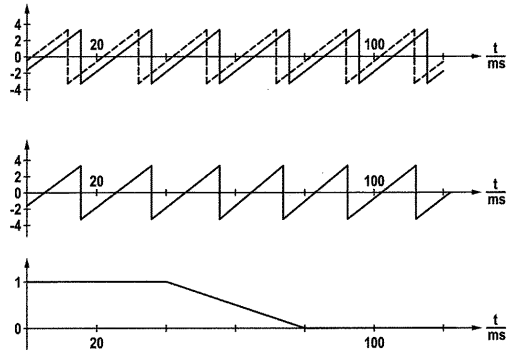
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】



フロントページの続き

(56)参考文献 特表2017-501672(JP,A)
特開2003-023733(JP,A)
特表2013-528350(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02J	3/00	-	5/00
H02P	9/00	-	9/48
H02M	7/42	-	7/98
F03D	1/00	-	80/80