

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2011-217574
(P2011-217574A)

(43) 公開日 平成23年10月27日(2011.10.27)

(51) Int. Cl.	F 1	テーマコード (参考)
H02P 9/00 (2006.01)	H02P 9/00 F	3H078
F03D 7/00 (2006.01)	F03D 7/00	5H590

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2010-85651 (P2010-85651)
(22) 出願日 平成22年4月2日 (2010.4.2)

(71) 出願人 000006105
株式会社明電舎
東京都品川区大崎2丁目1番1号
(74) 代理人 100096459
弁理士 橋本 剛
(74) 代理人 100104938
弁理士 鶴澤 英久
(72) 発明者 小野 夢樹
東京都品川区大崎2丁目1番1号 株式会
社明電舎内
Fターム(参考) 3H078 AA26 BB06 CC01 CC22 CC56
CC73

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 風力発電システム、回転機の制御装置および制御方法

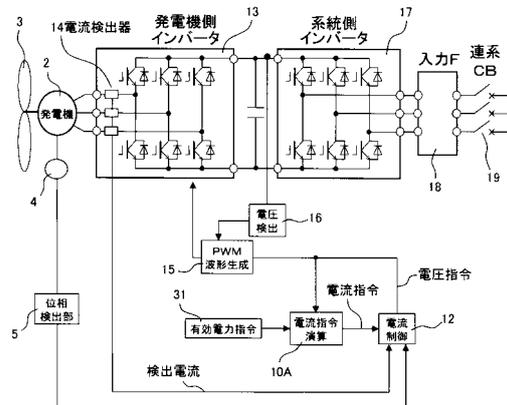
(57) 【要約】

【課題】複雑な演算要素および制御要素を不要にして、回転機出力の安定化制御ができる。

【解決手段】風車3で駆動される交流発電機2の発電出力を発電機側インバータ13で直流電力に変換し、この直流電力から系統側インバータで連系電源の周波数・電圧に合わせて交流電力に変換し、電流制御部12によってインバータの電流制御する風力発電システムにおいて、交流発電機の出力制御の目標値を有効電力指令値として有効電力指令器31に設定し、電流指令演算部10Aは有効電力指令値をインバータの出力電圧によって有効電流指令値に変換する。

または、発電機の出力制御の目標値を有効電流指令値と無効電流指令値とし、これら電流指令値によって発電機の出力を電流制御する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

風車で駆動される交流発電機と、この交流発電機の発電出力を直流電力に変換する発電機側インバータと、このインバータからの直流電力から連系電源の周波数・電圧に合わせて同期させた交流電力に変換する系統側インバータと、前記発電機側インバータの電流制御で該インバータの電力変換制御を行う制御装置とを備えた風力発電システムにおいて、

前記制御装置は、前記交流発電機の出力制御の目標値を有効電力指令値とし、この有効電力指令値を前記発電機側インバータの出力電圧によって有効電流指令値に変換して該発電機側インバータの電流指令値とする制御回路を備えたことを特徴とする風力発電システム。

10

【請求項 2】

風車で駆動される交流発電機と、この交流発電機の発電出力を直流電力に変換する発電機側インバータと、このインバータからの直流電力から連系電源の周波数・電圧に合わせて同期させた交流電力に変換する系統側インバータと、前記発電機側インバータの電流制御で該インバータの電力変換制御を行う制御装置とを備えた風力発電システムにおいて、

前記制御装置は、前記交流発電機の出力制御の目標値を有効電力指令値とし、この有効電力指令値を前記発電機の出力電圧検出値によって有効電流指令値に変換して該発電機側インバータの電流指令値とする制御回路を備えたことを特徴とする風力発電システム。

【請求項 3】

風車で駆動される交流発電機と、この交流発電機の発電出力を直流電力に変換する発電機側インバータと、このインバータからの直流電力から連系電源の周波数・電圧に合わせて同期させた交流電力に変換する系統側インバータと、前記発電機側インバータの電流制御で該インバータの電力変換制御を行う制御装置とを備えた風力発電システムにおいて、

前記制御装置は、前記交流発電機の出力制御の目標値を有効電流指令値と無効電流指令値とし、前記無効電流指令値の位相は前記交流発電機の磁束位相に同期させ、前記有効電流指令値の位相は前記磁束位相より 90° 進ませ、前記無効電流指令値と有効電流指令値を前記発電機側インバータの有効・無効電流指令値とする制御回路を備えたことを特徴とする風力発電システム。

20

【請求項 4】

前記有効電流指令値と無効電流指令値のうち、前記有効電流指令値は、前記交流発電機の出力制御の目標値とする有効電力指令値と前記発電機側インバータの出力電圧から変換、または該有効電力指令値と前記発電機の出力電圧検出値から変換して求める制御回路を備えたことを特徴とする請求項 3 に記載の風力発電システム。

30

【請求項 5】

交流電動機と、この交流電動機を力行運転または回生運転するインバータと、このインバータの電流制御で該インバータの電力変換制御を行う制御装置とを備えた回転機の制御装置において、

前記制御装置は、前記交流電動機の出力制御の目標値を有効電流指令値と無効電流指令値とし、前記無効電流指令値の位相は前記交流電動機の磁束位相に同期させ、前記有効電流指令値の位相は前記力行運転時は磁束位相より 90° 進ませ、前記回生運転時は磁束位相より 90° 遅らせ、前記無効電流指令値と有効電流指令値を前記インバータの有効・無効電流指令値とする制御回路を備えたことを特徴とする回転機の制御装置。

40

【請求項 6】

前記有効電流指令値と無効電流指令値のうち、前記有効電流指令値は、前記交流電動機の出力制御の目標値とする有効電力指令値と前記インバータの出力電圧から変換、または該有効電力指令値と前記交流電動機の出力電圧検出値から変換して求める制御回路を備えたことを特徴とする請求項 5 に記載の回転機の制御装置。

【請求項 7】

交流電動機と、この交流電動機を力行運転または回生運転するインバータと、このインバータの電流制御で該インバータの電力変換制御を行う制御装置とを備えた回転機の制御

50

装置において、

前記制御装置は、前記交流電動機の出力制御の目標値を有効電流指令値と無効電流指令値とし、前記無効電流指令値の位相は前記交流電動機の磁束位相に同期させ、前記有効電流指令値の位相は前記力行運転時は磁束位相より 90° 進ませ、前記回生運転時は磁束位相より 90° 遅らせ、前記無効電流指令値と有効電流指令値を前記インバータの有効・無効電流指令値とする制御手順を備えたことを特徴とする回転機の制御方法。

【請求項 8】

前記有効電流指令値と無効電流指令値のうち、前記有効電流指令値は、前記交流電動機の出力制御の目標値とする有効電力指令値と前記インバータの出力電圧から変換、または該有効電力指令値と前記交流電動機の出力電圧検出値から変換して求める制御手順を備えたことを特徴とする請求項 7 に記載の回転機の制御方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、風力発電システム、風車用交流発電機などの回転機の制御装置および制御方法に係り、特に電流制御によって回転機の出力を制御する装置および方法に関する。

【背景技術】

【0002】

風力発電システムでは、風車で駆動する交流発電機の発電電力を商用電源と連系して配電網へ供給するには、商用電力周波数に同期させた一定周波数/一定電圧で発電できることを必要とする。しかし、発電機を駆動する風車の回転エネルギーが頻繁にかつ大きく変動するため、風車を発電機に直結または変速ギアで結合するのでは発電周波数/発電電圧を一定化できない。そこで、発電機出力を一旦直流に電力変換し、この直流電力をインバータによって商用電源と連系できる周波数/電圧に制御した電力変換方式がある（例えば、特許文献 1、特許文献 2 参照）。

20

【0003】

図 4 は従来 of 風力発電システムの装置構成図を示す。この制御装置は速度指令に基づいて動作する場合と、トルク指令に基づいて動作する場合があり、速度制御とトルク制御を切り替えできるように構成される。

【0004】

速度指令器 1 は、制御装置に外部から与える、あるいは制御装置の内部で作成する速度指令を発生する。風車用の発電機 2 は、誘導機や永久磁石同期機で構成され、その軸に結合される風車（プロペラ）3 で駆動されて発電する。

30

【0005】

位置・速度検出器 4 は、発電機 2 に取り付けられてロータの位置・速度検出を行うもので、通常のパルスエンコーダのほか、アナログ信号を出力するエンコーダやレゾルバでもよい。位相検出部 5 は、位置・速度検出器 4 の出力から発電機 2 の磁束位相を演算する。なお、発電機 2 が誘導機の場合はこの位相検出部は無い。速度検出演算部 6 は、ある単位時間あたりに位相検出部 5 から得られる位相差から発電機 2 の速度検出値を演算で求める。

40

【0006】

速度制御器 7 は、通常は、速度指令器 1 で設定する速度指令と速度検出演算部 6 からの速度検出値を比較入力とし、例えば比例積分（PI）演算結果でトルク指令値を得る。このトルク指令値は、速度指令と速度検出値の偏差が無くなる様に自動制御系を構成する。トルクリミッタ 8 は、トルク指令が異常に大きくなりにリミッタ値に制限する。

【0007】

トルク指令器 9 は、制御装置に外部から与えられる、あるいは制御装置の内部で作成するトルク指令値を出力する。電流指令演算部 10 は、制御装置が速度指令に基づいて動作する場合はトルクリミッタ 8 の出力が選択され、制御装置がトルク指令に基づいて動作する場合はトルク指令器 9 の出力が選択され、これらトルク指令値に応じた電圧指令値に変

50

換する。電流指令演算部 10 は、ベクトル制御に適用できるよう、通常は、励磁電流指令値とトルク電流指令値の 2 成分で構成される。切換器 11 は、電圧指令値演算部のトルク指令値入力を切り替え、風力発電システムに適用される場合は、電流指令演算部 10 はトルク指令器 9 の出力に切り替えられる。

【0008】

電流制御器 12 は、電流指令演算部 10 からの電流指令値と、発電機 2 から発電機側インバータ 13 に供給する発電電流を検出する電流検出器 14 の検出電流とを比較し、両者を一致させるための電流指令値を出力する。PWM 変換器 15 は、電流制御器 12 の電圧指令値に応じたパルス幅の PWM 電圧波形に変換して発電機側インバータ 13 の各半導体スイッチングデバイスの PWM 制御によって、発電機 2 で発生した交流電力を直流に変換する。この変換に際して、電圧検出器 16 で検出するインバータ出力電圧を電圧指令値に一致させる。

10

【0009】

系統側インバータ 17 は、発電機側インバータ 13 の直流出力を電源とし、連系側電力に電圧・周波数および位相制御した交流出力に電力変換する。入力フィルタ 18 は系統側インバータ 17 の出力からノイズ成分を除去し、連系遮断器 19 は入力フィルタ 18 を通した交流出力を連系しようとする電力系統に接続・遮断する。

【0010】

以上のような風力発電システムにおいて、近年の発電電力の増大化に伴い、風車用の発電機 2 および風車（プロペラ）3 は大型化している（例えば、発電機の体格が直径数メートルに及ぶ）。この大型化に伴い、速度検出器 4（通常、産業用交流電動機に使用されるエンコーダやレゾルバが用いられる）の取り付けが機械的・構造的に困難となっており、速度検出器 4 に代えた速度検出で発電機を制御することが要望されている。

20

【0011】

この実現手法として、電流検出器 14 の電流検出値と、インバータ 13 の出力する電圧によって、発電機 2 の位相・速度を推定する制御方法（センサレス制御）とする装置もある。この場合の装置構成図を図 5 に示す。同図が図 4 と異なる部分は、同図の位置・速度検出用回路要素 4～6 に代えて、位相推定演算部 21 と速度推定演算部 22 を設けた点にある。

【0012】

位相推定演算部 21 は、電流検出器 14 の電流検出値と電流制御器 12 の電流指令値とから、発電機 2 の現在の位相（ロータ回転角）を推定する。この推定位相は電流制御器 12 におけるベクトル制御での基準位相として利用される。速度推定演算部 22 は、位相推定演算部 21 の推定位相を微分するなどの演算を行って速度を推定し、速度制御器 7 への速度検出値として利用される。

30

【0013】

このような位相・速度推定による制御方法は、回転機が誘導電動機の場合や永久磁石式同期電動機の場合など、いずれの場合でも利用できる。

【0014】

図 5 における電流指令演算部～回転機の部分について、より詳細なブロック構成図を図 6 の (a) に示し、ベクトル図を (b) に示す。電流指令演算部 10 は、インバータ 13 の出力を電力変換器 20（インバータ 13 と PWM 変換器 15 を合わせたもの）で電流ベクトル制御することを考慮して、発電機 2 の回転に同期した回転座標（直交 dq 軸）上の d 軸、q 軸電流指令値（無効電流指令値、有効電流指令値） i_d^* 、 i_q^* を電流制御器 12 の PI 演算部 12A に与える。PI 演算部 12A は、指令値 i_d^* 、 i_q^* とそれぞれの検出値 i_d 、 i_q が入力され、それぞれの偏差を比例積分（PI）して dq 軸の電圧指令値を得る。二相/三相座標変換部 12B は、回転座標系（二相）から固定座標系（三相）への座標変換器であり、二相の dq 軸電圧指令値を、基準位相（図 6 では推定値 $\hat{\theta}$ ）に同期させた三相の電圧指令値 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* に変換し、これらを電力変換器 20 に含む PWM 変換器 15 への電圧指令値とする。

40

50

【0015】

三相/二相座標変換部12Cは、固定座標系(三相)から回転座標系(二相)への座標変換部であり、電流検出器14で検出する三相電流 I_U, I_V, I_W をd-q軸の二相電流に変換してPI演算部12Aへの入力とする。同様に、三相/二相座標変換部12Dは、固定座標系(三相)から回転座標系(二相)への座標変換部であり、電力変換器20への電圧指令値 V_U^*, V_V^*, V_W^* をd-q軸の二相電圧に変換する。これら座標変換部12C、12Dの変換に際して、基準位相(推定位相 $\hat{\theta}$)が入力される。

【0016】

位相推定演算部21は、座標変換部12C、12Dで変換した発電機2の出力に相当する二相の電流、電圧信号から発電機2のロータ回転位置(位相)の推定値 $\hat{\theta}$ を求める。

10

【0017】

ここで、回転座標系と固定座標系の関係は図6の(b)に示す。固定座標系と回転座標系の関係は、固定座標系と回転座標系のいずれかの軸の位相差で結び付けられており、図6の(b)ではU軸とd軸間に位相 θ の差があることを示している。 θ は制御位相なので、時々刻々変化する。図4の様に発電機に位置・速度センサがついている場合は、そのセンサから得られる位相が θ である。図5や図6の様に発電機に位置・速度センサがついていない場合は、位相推定演算部21で得られる推定位相 $\hat{\theta}$ となる。

【0018】

UVW座標系が固定座標系(三相)で、この座標系は発電機の巻線配置に合わせるため通常このように各相間 120° 差で固定される座標軸となる。回転座標系は、この図ではd、q軸と示しているが、制御を簡略化するためにd軸とq軸は直交していることがほとんどで、d軸の方向は発電機の磁束方向と一致させることがほとんどであるが、いずれかの軸と固定座標系との位相差が θ という関係が守られれば、直交していなくとも良い。

20

【0019】

以上までの説明は、風力発電システムにおける発電機2からの発電出力の制御手法であるが、制御対象を交流電動機とし、制御装置では速度指令やトルク指令に従って交流電動機の電流を制御するシステムや装置においても同様の手法が採用されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0020】

30

【特許文献1】特許3435474号公報

【特許文献2】特開2006-246553号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0021】

発電機や交流電動機などの回転機の出力(発電出力、速度・トルク出力)制御には、トルク指令または速度指令を目標値としてこれらを電流指令に変換し、この電流指令に応じた回転機の電流制御によって回転機の出力を制御している。

【0022】

しかし、風車用発電機など、回転機を駆動する風車の回転エネルギーが頻繁にかつ大きく変動するシステムでは、トルク指令または速度指令を目標値として回転機の電流制御を行うのでは安定した発電出力またはトルク・速度出力が難しくなる。このため、特許文献1や2では、風車を可変ピッチとするシステムに適用するほか、制御系の伝達関数調整や制御パラメータの調整などで安定化を図ろうとしている。

40

【0023】

例えば、特許文献1では、発電機制御器は、トルク基準信号に応答して磁界座標における希望の直角軸電流を定め、この直角軸電流に対応する固定子電気を発生するようにしている。また、発電機トルク指令を回転子磁束磁界に垂直な回転磁界座標内のトルクを表す直角軸電流へ変換し、この直角軸電流に対応する固定子電気を発生させるようにしている。また、発電機制御器は、発電機の低回転速度においては固定子電流を制御すること

50

により発電機トルクを調整し、発電機のより高い回転速度においては固定子電圧を制御することにより発電機トルクを調整するようにしている。

【0024】

これら調整では、複雑な演算要素および制御要素が必要となるし、これらを組み合わせた制御系では制御の応答性にも影響を及ぼすおそれもあるし、効率良い制御ができないおそれがある。

【0025】

本発明の目的は、複雑な演算要素および制御要素を不要にして、回転機出力の安定化制御ができる風力発電システム、回転機の制御装置および制御方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0026】

本発明は、前記の課題を解決するため、基本的には、回転機の出力制御の目標値を有効電力指令値とし、この有効電力指令値を回転機出力を制御するインバータの出力電圧によって有効電流指令値に変換して回転機の出力を電流制御すること、または回転機の出力制御の目標値を有効電流指令値と無効電流指令値とし、これら電流指令値によって回転機の出力を電流制御するようにしたもので、以下のシステム、装置および方法の特徴とする。

【0027】

(システムの発明)

(1) 風車で駆動される交流発電機と、この交流発電機の発電出力を直流電力に変換する発電機側インバータと、このインバータからの直流電力から連系電源の周波数・電圧に合わせて同期させた交流電力に変換する系統側インバータと、前記発電機側インバータの電流制御で該インバータの電力変換制御を行う制御装置とを備えた風力発電システムにおいて、

前記制御装置は、前記交流発電機の出力制御の目標値を有効電力指令値とし、この有効電力指令値を前記発電機側インバータの出力電圧によって有効電流指令値に変換して該発電機側インバータの電流指令値とする制御回路を備えたことを特徴とする。

【0028】

(2) 風車で駆動される交流発電機と、この交流発電機の発電出力を直流電力に変換する発電機側インバータと、このインバータからの直流電力から連系電源の周波数・電圧に合わせて同期させた交流電力に変換する系統側インバータと、前記発電機側インバータの電流制御で該インバータの電力変換制御を行う制御装置とを備えた風力発電システムにおいて、

前記制御装置は、前記交流発電機の出力制御の目標値を有効電力指令値とし、この有効電力指令値を前記発電機の出力電圧検出値によって有効電流指令値に変換して該発電機側インバータの電流指令値とする制御回路を備えたことを特徴とする。

【0029】

(3) 風車で駆動される交流発電機と、この交流発電機の発電出力を直流電力に変換する発電機側インバータと、このインバータからの直流電力から連系電源の周波数・電圧に合わせて同期させた交流電力に変換する系統側インバータと、前記発電機側インバータの電流制御で該インバータの電力変換制御を行う制御装置とを備えた風力発電システムにおいて、

前記制御装置は、前記交流発電機の出力制御の目標値を有効電流指令値と無効電流指令値とし、前記無効電流指令値の位相は前記交流発電機の磁束位相に同期させ、前記有効電流指令値の位相は前記磁束位相より90°進ませ、前記無効電流指令値と有効電流指令値を前記発電機側インバータの有効・無効電流指令値とする制御回路を備えたことを特徴とする。

【0030】

(4) 前記有効電流指令値と無効電流指令値のうち、前記有効電流指令値は、前記交流発電機の出力制御の目標値とする有効電力指令値と前記発電機側インバータの出力電圧から変換、または該有効電力指令値と前記発電機の出力電圧検出値から変換して求める制御

10

20

30

40

50

回路を備えたことを特徴とする。

【0031】

(装置の発明)

(5) 交流電動機と、この交流電動機を力行運転または回生運転するインバータと、このインバータの電流制御で該インバータの電力変換制御を行う制御装置とを備えた回転機の制御装置において、

前記制御装置は、前記交流電動機の出力制御の目標値を有効電流指令値と無効電流指令値とし、前記無効電流指令値の位相は前記交流電動機の磁束位相に同期させ、前記有効電流指令値の位相は前記力行運転時は磁束位相より 90° 進ませ、前記回生運転時は磁束位相より 90° 遅らせ、前記無効電流指令値と有効電流指令値を前記インバータの有効・無効電流指令値とする制御回路を備えたことを特徴とする。

10

【0032】

(6) 前記有効電流指令値と無効電流指令値のうち、前記有効電流指令値は、前記交流電動機の出力制御の目標値とする有効電力指令値と前記インバータの出力電圧から変換、または該有効電力指令値と前記交流電動機の出力電圧検出値から変換して求める制御回路を備えたことを特徴とする。

【0033】

(方法の発明)

(7) 交流電動機と、この交流電動機を力行運転または回生運転するインバータと、このインバータの電流制御で該インバータの電力変換制御を行う制御装置とを備えた回転機の制御装置において、

前記制御装置は、前記交流電動機の出力制御の目標値を有効電流指令値と無効電流指令値とし、前記無効電流指令値の位相は前記交流電動機の磁束位相に同期させ、前記有効電流指令値の位相は前記力行運転時は磁束位相より 90° 進ませ、前記回生運転時は磁束位相より 90° 遅らせ、前記無効電流指令値と有効電流指令値を前記インバータの有効・無効電流指令値とする制御手順を備えたことを特徴とする。

20

【0034】

(8) 前記有効電流指令値と無効電流指令値のうち、前記有効電流指令値は、前記交流電動機の出力制御の目標値とする有効電力指令値と前記インバータの出力電圧から変換、または該有効電力指令値と前記交流電動機の出力電圧検出値から変換して求める制御手順を備えたことを特徴とする。

30

【発明の効果】

【0035】

以上のとおり、本発明によれば、回転機の出力制御の目標値を有効電力指令値とし、この有効電力指令値を回転機出力を制御するインバータの出力電圧によって有効電流指令値に変換して回転機の出力を電流制御すること、または回転機の出力制御の目標値を有効電流指令値と無効電流指令値とし、これら電流指令値によって回転機の出力を電流制御するようにしたため、複雑な演算要素および制御要素を不要にして、回転機出力の安定化制御ができる。

【0036】

具体的には、風力発電システムでは、トルクや速度ではなく有効電力を制御することにより、連系系統に従来より安定に電力を供給することができる。

40

【0037】

また、上位コントローラ側では通常、インバータの出力電圧(=回転機の端子電圧)を検出しない。上位コントローラで有効電力指令から有効電流指令を演算しようとする、インバータから電圧指令をコントローラに通信によって送信し、コントローラで演算後に有効電流指令を送らねばならず、応答性などの問題が起こるが、本発明によればそのような問題は起こらない。

【0038】

また、インバータの出力電圧を検出してフィードバックすることにより、インバータの

50

デッドタイムや IGBT の V_{ce} 電圧降下も含めてより正確な電圧情報に基づいた電力制御が可能となる。

【0039】

また、従来に比べて、座標変換演算の回数が減り、演算器の演算負荷を大幅に軽減することができる。なおかつ、低速（低周波数）回転機の制御において制御性能を劣化させない。

【図面の簡単な説明】

【0040】

【図1】本発明の実施形態1における風力発電システムの装置構成図。

【図2】本発明の実施形態2における風力発電システムの装置構成図。

10

【図3】本発明の実施形態2における風力発電システムの装置構成図とベクトル図。

【図4】従来の風力発電システムの装置構成図。

【図5】従来の風力発電システムの装置構成図（センサレス制御方法）。

【図6】電流制御系の詳細なブロック構成図とベクトル図。

【発明を実施するための形態】

【0041】

（実施形態1）

風力発電システムの発電機の制御装置は、図4や図5に示す従来のものでは発電機側インバータ13をトルク指令または速度指令に従って制御している。これらトルク指令または速度指令は、風力発電システム全体を制御する上位コントローラ（インバータ制御装置に対する遠方監視制御ができる中央司令室のコントローラ）から与えられる。

20

【0042】

風力発電システムでは、風によって得られるエネルギーを電気エネルギーに効率良く変換し、かつ連系電力系統に安定供給できることが重要である。そこで、本実施形態では、上位コントローラによって現地の風速等の所定の条件から風車用発電機が効率良く発電できる電力を演算で求め、この電力値を指令値として発電機側インバータを電流制御する。

【0043】

図1は、本実施形態による装置構成図を示す。同図は、風力発電システムに適用した制御装置のブロック構成図であり、図4や図5と同等の部分は同一符号で示す。

【0044】

30

有効電力指令器31は、発電機側インバータ13の制御装置によって設定されるもので、制御装置では風車が受ける風速等の所定の条件から発電機側インバータ13の有効電力出力を定期的に求め、この情報を制御装置内のレジスタやメモリに設定する。これにより、風力発電システム全体を制御する上位コントローラによる発電機側インバータ13の有効電力出力を定期的に求め、この情報を有効電力指令値として発電機側インバータ13の制御装置に定期的に伝送し、制御装置内のレジスタやメモリに設定する処理を不要にする。

【0045】

電流指令演算部10Aは、図4や図5の電流指令演算部10ではトルク指令 有効電流指令の演算を行っていたのに対し、有効電力指令器31により設定された有効電力指令値に応じた有効電流指令値を演算で求める。ここで、発電機側インバータ13は電流制御器によって発電機出力電流を制御しているため、その電流制御器へ与える電流指令（通常有効電流指令と無効電流指令）が必要となる。そこで、電流指令演算部10Aの演算には、電流制御部12等で求める電圧指令信号の位相に合わせた位相（有効電力成分）になるよう信号処理を行う。

40

【0046】

電流制御部12は、電流指令演算部10Aで求めた電流指令値と、発電機2から発電機側インバータ13に供給する発電電流の検出値とを比較し、この比較には位相検出部5で検出する基準位相で比較し、この比較で両者を一致させるための電流指令値を出力する。

【0047】

50

有効電力指令器 31 に設定する有効電流指令値は、各機器の効率を無視すると、下記の式に基づいて演算される。なお、無効電流指令値は発電機効率をよくするように発電機特性にあわせて設定すればよい。

【0048】

有効電流指令値 有効電力指令値 ÷ 出力電圧... (式1)

なお、有効電力指令値を基に電流制御された発電機によるインバータ 13 の出力直流電圧は、系統側インバータ 17 による連系電力制御により一義的に設定される。ここでは、出力電圧を直接測定していないので、電流制御部 12 の出力電圧指令を出力電圧とみなし、電流指令演算部 10A で有効電流を演算する。無効電流は電流指令演算 10A 又は電流制御部 12 で加算すればよい。電流制御部 12 は、発電機電流を有効電流指令 + 無効電流指令になるように制御する電圧指令を生成する。また、発電機側インバータ 13 への PWM 波形は直流電圧によって異なるので、PWM 波形生成部には電圧検出器 16 による直流電圧検出値を取り込む。

10

【0049】

また、本実施形態は、図 4 に示すような、発電機 2 に位相・速度検出器 4 ~ 6 が備えられているシステムでも、図 5 に示すような位相推定・速度推定器 21, 22 が備えられているセンサレス制御システムでも、いずれにも適用可能である。

【0050】

以上のように、本実施形態では、従来のトルク指令ではなく、有効電力指令を指令値源とし、その有効電力指令と発電機側インバータの出力電圧によって有効電流指令を演算して制御・運転を行うため、従来の制御系の伝達関数調整や制御パラメータの調整など複雑な演算要素および制御要素を不要にして、回転機出力の安定化制御ができる。

20

【0051】

また、本実施形態によるメリットは、コントローラとして風車を含めた全システムの制御で重要なのは発電電力 (= 有効電力) である。したがって、上位コントローラ側でわざわざ有効電力指令値を演算する必要がなくなるし、この演算にインバータの電圧検出信号を取得することを不要になり、風力変化に対する制御の応答性や発電効率で好ましい制御・運転が可能となる。

【0052】

(実施形態 2)

実施形態 1 では、(式 1) に示すように、発電機側インバータ 13 に与える有効電流指令値の演算に出力電圧指令を用いていたが、発電機側インバータ 13 で用いられる半導体スイッチングデバイスにおける電圧降下 (例: IGBT の C - E 端子間の電圧降下) や、そこにおける PN 短絡防止のためのデッドタイムが存在するので、電流制御部 12 からの電圧指令と発電機側インバータ 13 の出力電圧 (= 発電機の端子電圧) との間には誤差がある。

30

【0053】

この誤差を具体的に説明する。風力発電装置が大型化して、装置の定格発電電力が大きくなるとともに、発電機 (回転機) が大型化し、その発電機を制御するための発電機側インバータも大型化する。発電機側インバータが大型化すると、その中の電力変換回路に用いられる半導体スイッチングデバイスも大容量のものとなる。近年ではその半導体スイッチングデバイスに、スイッチングスピードが高速な IGBT を用いるが (IGBT の場合 ON/OFF スwitching が 0.5 ~ 1 μ秒以下)、IGBT であっても大容量デバイスの場合にはデッドタイムを 5 μ秒程度とるのが通常であるので、前述したような電圧指令値と発電機側インバータ 13 の出力電圧 (= 回転機の端子電圧) との間には誤差が大きくなる。

40

【0054】

以上のことに着目し、本実施形態では、発電機側インバータ 13 と発電機 2 の間に、電圧検出器を設けることで上記の誤差を解消する。

【0055】

50

本実施形態による装置構成図を図 2 に示す。同図における電圧検出器 3 2 は、発電機 2 の出力電圧を検出するもので、具体的には、同期用トランスなどのデバイスを用いて線間電圧から出力電圧を求める。電流指令演算部 1 0 A は、電圧検出器 3 2 によって得られる出力電圧検出信号を用いて発電機側インバータ 1 3 に与える有効電流指令を演算する。この演算式は、例えば、以下の通りである。

【 0 0 5 6 】

有効電流指令値 有効電力指令値 ÷ 出力電圧... (式 2)

本実施形態によれば、電圧検出器 3 2 により正確な電圧を検出することで、インバータのデッドタイムや IGBT の Vce 電圧降下も含めてより正確な電圧情報を得、その電圧情報と有効電力指令器 3 1 から得られる有効電流指令値がより正確な値となるため、系統へより安定した電力供給を行うことができる。

10

【 0 0 5 7 】

なお、本実施形態においても、図 4 に示すような、発電機 2 に位相・速度検出器 4 ~ 6 が備えられているシステムでも、図 5 に示すような位相推定・速度推定器 2 1 , 2 2 が備えられているセンサレス制御システムでも、いずれにも適用可能である。

【 0 0 5 8 】

(実施形態 3)

風車のプロペラは、風車が大型 (全長 5 0 以上程度) の場合にはその回転速度は高くても 3 0 回転 / 分 (回転 / 分は以下 r / m と記す) 程度である。風車のプロペラと風車用発電機の間に変速ギアが用いられていないシステムにおいては、その発電機の回転速度も 3 0 r / m 以下である。したがって、回転機の極対数が数十極と多い場合であっても、その誘起起電力の周波数は高くても 1 0 H z 程度で、これが制御対象の周波数となる。

20

【 0 0 5 9 】

発電機の制御装置は、その演算周期 (演算器やゲートアレイのクロック周波数数十 M H z 以上) に対して制御対象周波数が最大 1 0 H z 程度なので、従来のように、回転座標系を用いなくても制御性能が落ちないと考えられる。

【 0 0 6 0 】

そこで、本実施形態では装置構成図を下図の図 3 の (a) に示す構成とする。図 3 の (a) において、有効電流指令器 4 1 は、図 1 の有効電流指令器 3 1 と同様に、ベクトル制御系のトルク電流指令値に相当する値が設定される。この有効電流指令値 I_T^* は、上位コントローラによって、例えば前記 (式 1) により、演算される。このとき使用する電圧は $V_U^* \cdot V_W^*$ の指令値を用いる。無効電流指令器 4 2 は、発電機 2 が誘導発電機の場合の磁束電流指令や、永久磁石同期発電機の場合の弱め界磁電流指令などが無効電流指令値 I_M^* として設定される。電流指令演算部 4 3 は、有効電流指令値 I_T^* と無効電流指令値 I_M^* が入力され、U 相・W 相電流指令値 I_U^* , I_W^* を出力する (演算方法は下記で説明する)。

30

【 0 0 6 1 】

PI 演算部 4 4 は、U 相・W 相電流指令値 I_U^* , I_W^* とそれぞれの検出値 I_U , I_W が入力され、それぞれの偏差を比例積分 (PI) して U 相・W 相の電圧指令値 V_U^* , V_W^* を得る。V 相電圧指令値演算部 4 5 は、電圧指令値 V_U^* , V_W^* から $V_V^* = - (V_U^* + V_W^*)$ の演算を行うことで、V 相電圧指令値 V_V^* を求める。

40

【 0 0 6 2 】

位相推定演算部 4 6 は、各相電圧指令値 V_U^* , V_V^* , V_W^* と、電流検出器 1 4 で検出する各相電流指令値 I_U^* , I_V^* , I_W^* から発電機 2 のロータ回転位置 (位相) の推定値 $\hat{\theta}$ を求める。

【 0 0 6 3 】

以上の構成により、回転座標系を用いることなく、制御性能が落ちない回転機の制御ができることを説明する。磁束制御のための無効電流の位相は、発電機の磁束位相に一致しなければならない。発電機のトルク有効電流を制御するためには、有効電流の位相は、電力変換器から回転機にエネルギー (電力) を与える場合 (力行トルク) は磁束位相から 9 0 ° 進んだ位相に一致しなければならない、発電機から電力変換器にエネルギー (電力) が

50

与えられる場合（回生トルク）は磁束位相から 90° 遅れた位相に一致しなければならない。

【0064】

これらを図示したのが図3の(b)に示すベクトル関係である。この図中で、 I_M^* は無効電流指令、 I_T^* は有効電流指令である。 I_M^* 、 I_T^* からU相電流指令 I_U^* 、W相電流指令 I_W^* を求める演算式は下記の通り。

【0065】

$$I_U^* = I_M^* \times \cos \quad + I_T^* \times \cos (\quad + 90^\circ)$$

$$I_W^* = I_M^* \times \cos (\quad + 240^\circ) + I_T^* \times \cos (\quad + 90^\circ + 240^\circ)$$

ここでは全て \cos で記述したが、実際の演算器では \sin 演算を用いても良い。

10

【0066】

上記演算は電流指令演算部43で行うが、この演算で制御性能を低下させることはない。これを具体的に説明する。通常、速度・トルク制御応答は 10 rad/s 程度であるから、電流指令演算部43の演算も速度・トルク制御応答と同じ演算周期で実行すればよい。従来方法の2相 3相座標変換を図3の演算ブロックで置き換えたとみることができるが、従来方法では電流制御と同じ演算周期で行う必要があり、さらに、位置・速度センサ付システムの場合は2相 3相座標変換1箇所、3相 2相座標変換1箇所の合計2箇所、図6に示す位置・速度センサレスシステムではさらに位相推定演算部21に入力する電圧フィードバックのために3相 2相座標変換が1箇所増えるので合計3箇所ある。

【0067】

これに対し本実施形態では、同等の演算が1箇所だけなので、演算器の演算負荷を大幅に軽減できる。なおかつ、低速（低周波数）回転機の制御において制御性能を劣化させない。

20

【0068】

なお、本実施形態ではU相とW相の電流を制御する構成を示しているが、UVWの3相の内いずれか2相を制御すればよい。

【0069】

また、以上までの実施形態1, 2, 3は 風力発電システムの発電機の制御に適用した場合を示すが、交流電動機のトルク指令や速度指令を基にした電流制御で交流電動機の出力制御を行う制御装置に代えて、有効電力指令値を基にした電流制御で交流電動機の出力制御を行うことで、交流電動機出力を頻繁にかつ大きく変化させる場合にも、複雑な演算要素および制御要素を不要にして、安定化制御ができる。

30

【符号の説明】

【0070】

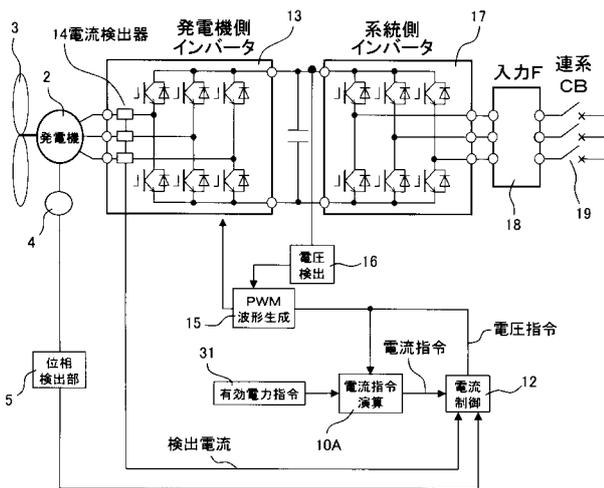
- 1 速度指令器
- 2 風車用交流発電機
- 9 トルク指令器
- 10 電流指令演算部
- 12 電流制御部
- 13 発電機側インバータ
- 14 電流検出器
- 15 PWM変換器
- 16 電圧検出器
- 17 系統側インバータ
- 31 有効電力指令器
- 32 電圧検出器
- 41 有効電流指令器
- 42 無効電流指令器
- 43 電流指令演算部
- 44 PI演算部

40

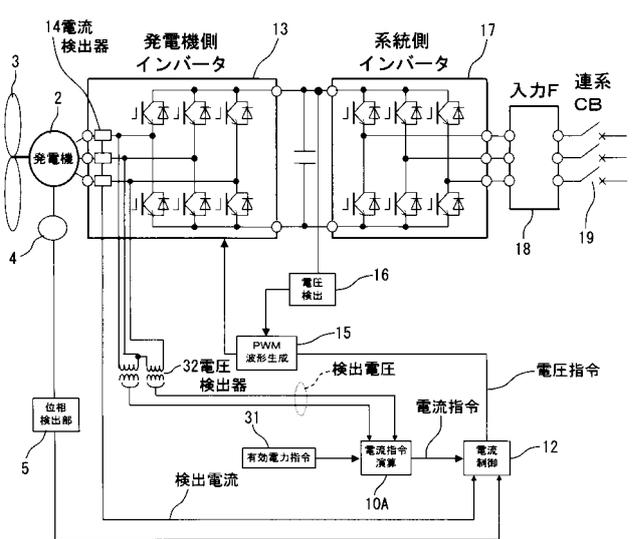
50

- 4 5 V相電圧指令値演算部
- 4 6 位相推定演算部

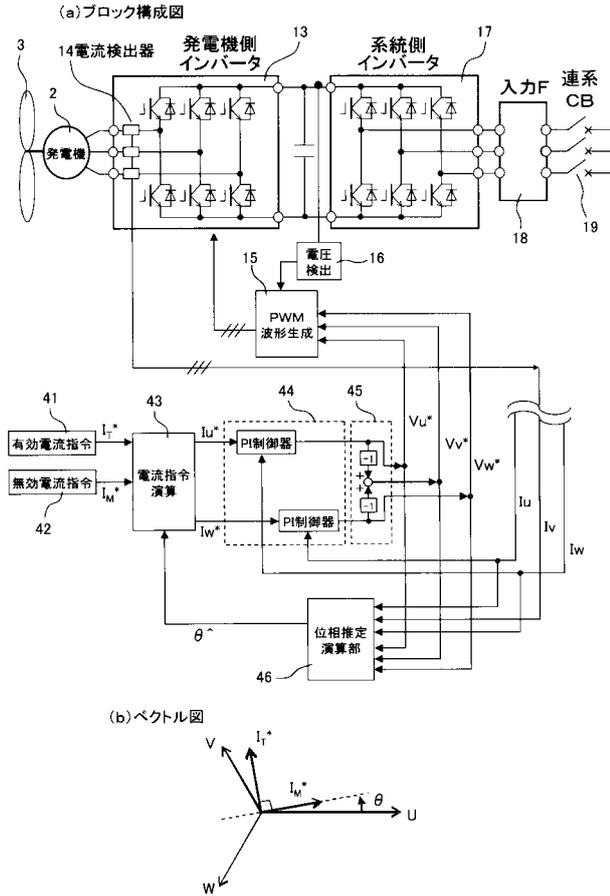
【図1】



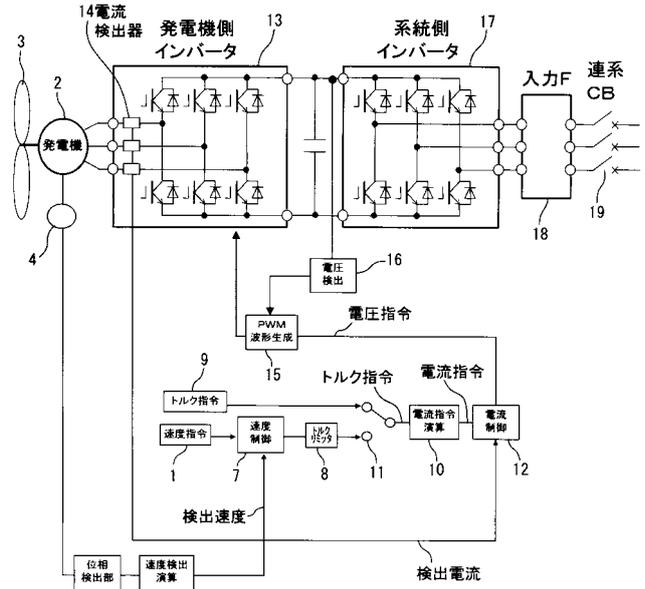
【図2】



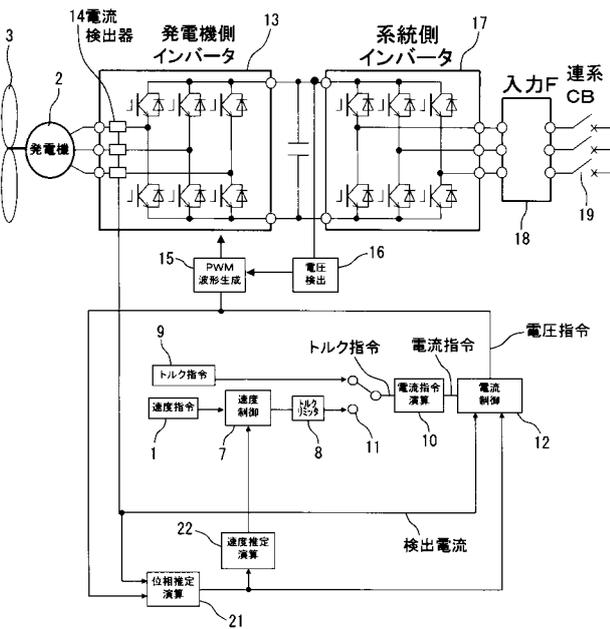
【図3】



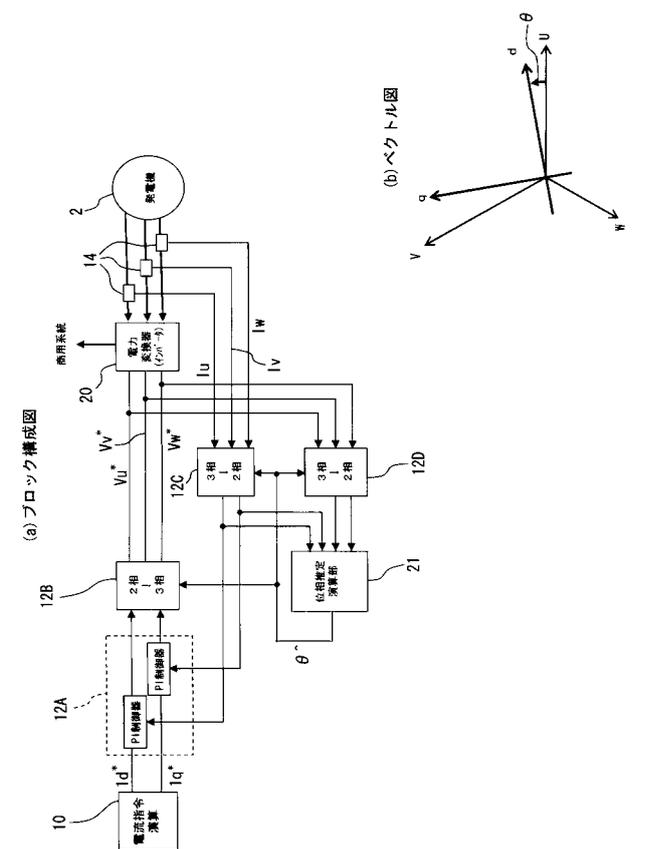
【図4】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

Fターム(参考) 5H590 AA11 AA21 CA14 CC02 CC08 CD01 CD03 EB03 EB04 EB22
FA08 FB02 FB07 FC12 GA02 GA04 GA06 HA02 HA04 HA10
HB01 JA12 JA13 JB02