(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2014 年 5 月 15 日(15.05.2014)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2014/073030 A1

(51) 国際特許分類:
F03D 9/02 (2006.01) *H02P 9/14* (2006.01)
H02M 7/48 (2007.01) *H02P 9/48* (2006.01)
H02P 9/00 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2012/078687

(22) 国際出願日: 2012 年 11 月 6 日(06.11.2012)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(71) 出願人: 株式会社日立製作所 **(HITACHI, LTD.)** [JP/JP]; 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目６番６号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 中原　貢 **(NAKABARU Mitsugu)**; 〒3191292 茨城県日立市大みか町七丁目１番１号　株式会社日立製作所　日立研究所内 Ibaraki (JP). 角谷 啓 **(KAKUYA Hiromu)**; 〒3191292 茨城県日立市大みか町七丁目１番１号　株式会社日立製作所　日立研究所内 Ibaraki (JP). 鈴木　英一 **(SUZUKI Eiichi)**; 〒3191292 茨城県日立市大みか町七丁目１番１号　株式会社日立製作所　日立研究所内 Ibaraki (JP).

(74) 代理人: ポレール特許業務法人 **(POLAIRE I.P.C.)**; 〒1040032 東京都中央区八丁堀二丁目７番１号 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

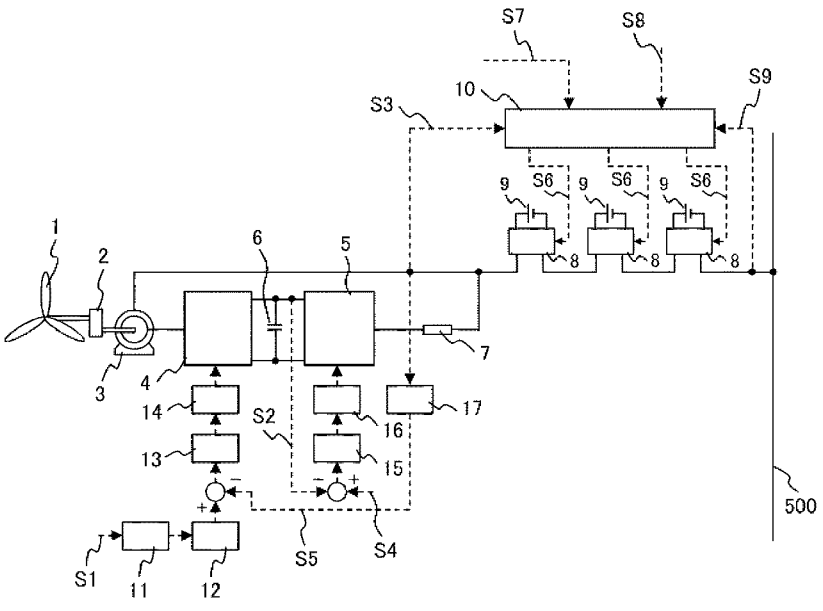
(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) **Title**: ELECTRICITY GENERATION SYSTEM AND WIND-POWERED ELECTRICITY GENERATION SYSTEM

(54) 発明の名称 : 発電システム及び風力発電システム

図 1



(57) **Abstract**: The present invention provides a wind-powered electricity generation system with which a generator and an electrical grid can be linked in a stable manner even when the wind speed is low, and with which the operational range of the electricity generation system when the wind speed is low can be expanded, thereby improving the utilization ratio for an electricity generation facility. This wind-powered electricity generation system is characterized by being equipped with a wind-powered generator, which is driven by a windmill that rotates when wind is received, and multiple power conversion devices, one end of each of which is connected to the wind-powered generator, and the other end of each of which is connected to an electrical grid, and which have a power storage device, with the stator of the wind-powered generator and the multiple power conversion devices being connected in series, and when a difference in voltage occurs between the wind-powered generator and the electrical grid the power conversion devices are controlled, thereby charging or discharging the power storage devices and decreasing or increasing the output voltage to the electrical grid from the power conversion devices so as to eliminate the difference in voltage.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2014/073030 A1

添付公開書類:
— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）
— 補正された請求の範囲及び説明書（条約第 19 条(1)）

本発明は、風速が減少した低風速時であっても、発電機と電力系統とを安定に連系させることができ、発電システムの低風速における運転可能範囲を拡張でき、その結果として発電設備の利用率向上が図れる風力発電システムを提供する。　本発明による風力発電システムは、風を受けて回転する風車により駆動される風力発電機と、該風力発電機に一端が接続されていると共に、他端が電力系統に接続され、かつ、蓄電装置を有する複数の電力変換装置とを備え、前記風力発電機の固定子と前記複数の電力変換装置が直列に接続され、前記風力発電機と前記電力系統に電圧差が生じた際に、前記電力変換装置を制御することによって、前記蓄電装置を充放電させて前記電圧差をなくすように前記電力変換装置の前記電力系統側の出力電圧が加減調整されることを特徴とする。

明　細　書

発明の名称 ： 発電システム及び風力発電システム

技術分野

[0001] 本発明は発電システム及び風力発電システムに係り、例えば、風速によって発電電圧が変化する風力発電機のように、電力系統の系統電圧と異なる発電機電圧が生じるものに好適な発電システム及び風力発電システムに関する。

背景技術

[0002] 本発明の技術分野である風力発電システムに係る背景技術として、特許文献１が挙げられる。この特許文献１には、風力発電システムなどの自然エネルギー利用発電システムについて記載され、風力発電機から出力される電力を、蓄電装置を備えた順変換及び逆変換の電力変換器で調整し、風力発電機を電力系統に連系する構成及び風力発電システムを構成する電力変換器の直流部に蓄電装置を備え、この蓄電装置の充放電量を低減し、蓄電装置が発生する損失を低減することが記載されている。

[0003] また、特許文献１には、風力発電システムに採用される風力発電機として、永久磁石型発電機、二次励磁型発電機、或いは誘導発電機を使用した場合であって、更に、蓄電装置を備えた電力変換装置の具体的な構成について記載されている。

[0004] 上記特許文献１に記載されている背景技術によれば、風力発電システムは、広範囲の風速に対して発電できると共に、電力系統にも安定に連系でき、更に、充放電時の損失の低減を図った蓄電装置を利用して電力系統へ出力する有効電力の変動を抑制することができる。

[0005] また、他に関連する背景技術としては特許文献２がある。この特許文献２には、風車の利用率の向上と、風車の出力変動による出力電力の変動を抑制するために、風車の軸に同期発電機の回転子が接続され、前記同期発電機の固定子に接続する順変換器と、前記順変換器に接続し、かつ、電力系統に接

続する逆変換器とを備え、前記同期発電機の可変周波数の発電電力を前記順変換器で直流電力に変換し、前記逆変換器で前記直流電力を固定周波数の交流電力に変換し、前記順変換器と前記逆変換器の間に充放電可能な二次電池を直結し、電力系統へ出力する有効電力の変動を抑制するように前記二次電池を常時充放電制御することが記載されている。

[0006] この特許文献２によれば、特許文献１と同様に、風力発電システムと電力系統とを安定に連系できることは勿論、充放電可能な二次電池を利用して電流系統へ出力する有効電力の変動を抑制することができる。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：特開２０１２－７５２９９号公報

特許文献2：特開２００３－３３３７５２号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] 上述した特許文献１には、風力発電システムの風力発電機として二次励磁型発電機を使用した例が記載されている。この二次励磁型発電機の回転子励磁系には、二次励磁型発電機から得られる交流電力を直流電力に電力変換する系統側電力変換器、及びこの直流電力を交流電力に電力変換する回転子側電力変換器を備えている。二次励磁型発電機の入力となる風速が変化すると、この二次励磁型発電機の発電機回転子の回転数も同様に変化する。ここで、二次励磁型発電機の回転子励磁系に供給される電力は、発電機固定子側から得られる発電機電圧の周波数を電力系統の周波数に一致するように制御される。また、この時、発電機固定子の電圧は、発電機固定子が電力系統に接続されているために電力系統の電圧と一致している。

[0009] このように、二次励磁型発電機は、広範囲に変化する風速に対して発電する可変周波数の風力発電機を電力系統に安定に接続するために、発電機回転子の励磁系に供給する電力を調整し、電力系統に接続された発電機固定子か

ら発電機電力を得ると共に、電力系統の周波数に一致するように発電機電圧の周波数を調整するものである。

[0010] 従って、風力発電機と電力系統との連系において、電力変換器により発電機電力の周波数変換を必要とする永久磁石型発電機とは異なり、二次励磁型発電機では、発電機固定子と電力系統とを直接接続することが可能となる。

[0011] また、風力発電システムにおける二次励磁型発電機の固定子電圧は、風速が増加すると共に上昇する。この時、二次励磁型発電機が電力系統に連系接続された状態においては、発電機固定子電圧と電力系統電圧との電圧差がなくなるように二次励磁型発電機の固定子電流が変化し、最終的には発電機出力である発電電力が上昇するような発電機出力特性を示す。

[0012] 更に、風速が上昇し二次励磁型発電機の同期回転数を越えて発電機回転子が回転した場合には、二次励磁型発電機は、発電機回転子の回転数と電力系統の系統周波数との差に応じて、発電機固定子からだけではなく、発電機回転子からも発電機電力が出力される。

[0013] 一方、風速が減少し低風速（風車は回転しているが、発電には寄与しない程度の風速）となった場合には、二次励磁型発電機の発電機電圧を電力系統の電圧と同じに維持した状態では、発電機固定子から出力される電力は減少する。二次励磁型発電機の回転子励磁系の電力は、二次励磁型発電機が同期回転数以下においては、発電機固定子から出力される電力より供給されているため、風速の減少の程度によっては、二次励磁発電機の固定子電圧を電力系統電圧に維持することができなくなる。最終的には、二次励磁型発電機は、風速はある程度あるものの低風速がゆえに発電電力不足となり、電力系統から解列されることになる。

[0014] 二次励磁型発電機の固定子電圧を電力系統電圧に維持できないような風速条件（低風速）においては、発電機電圧を系統電圧以下に低下させた状態を実現できれば、二次励磁型発電機から引き続き電力を得ることは可能となる。その結果、従来の二次励磁型発電機の発電可能範囲を低風速側に拡張することとなり、風力発電設備の利用率を高めることができる。そのためには、

二次励磁型風力発電機と電力系統との間に蓄電装置を備えた電力変換手段を組み込んで電圧調整を行えば、二次励磁型発電機と電力系統とが連系可能となる。

[0015] また、上述した特許文献２には、風力発電システムの風力発電機として永久磁石型発電機を可変周波数の同期発電機として使用すると共に、二次電池を備えた風力発電装置に関する例について記載されている。

[0016] 上記した可変周波数の同期発電機は、風速によって同期発電機の回転数が変化することから同期発電機の電圧及び電流の周波数も変化する。この時、電力系統の周波数は、必ずしも風力発電機の電圧及び電流の周波数と一致しないことから、この風力発電機を電力系統に直接連系することはできない。

[0017] このため、特許文献２に示すように、同期発電機で発電した電力を順変換器で交流電力から直流電力に一時的に順変換し、その後、逆変換器で系統周波数及び系統電圧と一致するように直流電力を交流電力に逆変換することで、最終的には電力系統に連系可能としている。また、二次電池は順変換器と逆変換器との間に並列的に接続され、風速変化により変動した風力発電機の発生電力の変化に起因する順変換器の有効電力の変動、更には、逆変換器から電力系統へ出力される有効電力の変動について、その電力変動を抑制するように、二次電池が常時充放電制御されている。

[0018] このように、広範囲に変化する風速に対して発電する可変周波数の風力発電機を電力系統と安定に連系するためには、交流電力から直流電力への順変換器及び直流電力から系統周波数への周波数変換を兼ねた交流電力への逆変換器は、風力発電システムにおいては必須の構成要素となる。また、二次電池を順変換器と逆変換器との間に並列的に設置して充放電することは、電力系統へ出力される有効電力の変動の抑制のためには効果的な方法である。

[0019] 更に、風力エネルギーを電気エネルギーにエネルギー変換する風力発電システムのエネルギー変換効率を高めるためには、風力発電機の発電開始風速の低風速化、電力変換器である順変換器及び逆変換器の変換効率の向上などの方法がある。特に、電力変換器である順変換器及び逆変換器は、蓄電池を

備えた複数の直列接続された電力変換装置に置き換えることができ、その結果、低耐圧の電力変換装置を適用することが可能であることから、個々の電力変換装置の電力変換損失を低減できることが期待される。

[0020] 特許文献１及び２に記載されているように、風力発電システムにおいて、安定に風力発電機と電力系統とが連系している状態は、発電機電圧が調整されて電力系統電圧との電圧差がない状態であり、発電機電流が電力系統に流れ有効電力が電力系統に供給される。この時、風速変化によっては風力発電機で発生した有効電力が変動する可能性があるが、充放電可能な蓄電装置を備えた電力変換装置によって電力系統に出力される有効電力を調整し、風力発電機が接続された電力系統における電力変動を抑制している。

[0021] ところが、風力発電システムでは、風速によって風力発電機の発電電圧が変化し、特に、低風速時には風力発電機で発生する発電機電圧が低下するため、電力系統と安定に連系できるだけの発電機電力が得られない。

[0022] また、風速が減少した低風速時においては、風力発電機には発電に必要とされる風力エネルギーが十分入力されない場合があり、この時、風力発電機の発生電圧は、電力系統の系統電圧より低くなる。実際には、風力発電機と電力系統とは電気的に接続されているため、このような場合には、風力発電機の発電電流が低下することで、発電電圧と系統電圧との電圧差の調整がなされるが、更に低風速となり、発電機電圧と電力系統電圧との電圧調整ができない場合、即ち、発電電流が得られない場合には、風力発電機は発電機から電動機として動作するが、電動機動作を回避するために風力発電機は電力系統から解列されることになる。

[0023] しかしながら、上記した特許文献１及び２には、上述した風速が減少した低風速時における課題等については、全く考慮されていない。

[0024] 本発明は上述の点に鑑みなされたもので、その目的とするところは、風速が減少した低風速時であっても、発電機と電力系統とを安定に連系させることができ、発電システムの低風速における運転可能範囲を拡張でき、結果として発電設備の利用率向上が図れる発電システム及び風力発電システムを提

供することにある。

課題を解決するための手段

[0025] 本発明の発電システムは、上記目的を達成するために、発電機と、該発電機に一端が接続されていると共に、他端が電力系統に接続され、かつ、蓄電装置を有する複数の電力変換装置とを備え、前記発電機と前記複数の電力変換装置が直列に接続され、前記発電機と前記電力系統に電圧差が生じた際に、前記電力変換装置を制御することによって、前記蓄電装置を充放電させて前記電圧差をなくすように前記電力変換装置の前記電力系統側の出力電圧が加減調整されることを特徴とする。

[0026] また、本発明の風力発電システムは、上記目的を達成するために、風を受けて回転する風車により駆動される風力発電機と、該風力発電機に一端が接続されていると共に、他端が電力系統に接続され、かつ、蓄電装置を有する複数の電力変換装置とを備え、前記風力発電機の固定子と前記複数の電力変換装置が直列に接続され、前記風力発電機と前記電力系統に電圧差が生じた際に、前記電力変換装置を制御することによって、前記蓄電装置を充放電させて前記電圧差をなくすように前記電力変換装置の前記電力系統側の出力電圧が加減調整されるか、

或いは、風を受けて回転する風車により駆動される風力発電機と、該風力発電機に一端が接続されていると共に、他端が電力系統に接続され、かつ、蓄電装置を有する複数の電力変換装置と、前記風力発電機からの交流電力を直流電力に変換する系統側電力変換器と直流電力を交流電力に変換する回転子側電力変換器から成る回転子励磁系とを備え、

前記風力発電機の固定子と前記複数の電力変換装置が直列に接続されていると共に、前記回転子励磁系の一端が前記風力発電機の回転子と接続され、該回転子励磁系の他端である前記系統側電力変換器が前記電力系統と最も該電力系統側に位置する前記電力変換装置との間に接続され、かつ、前記風力発電機と前記電力系統に電圧差が生じた際に、前記電力変換装置を制御することによって、前記蓄電装置を充放電させて前記電圧差をなくすように前記

電力変換装置の前記電力系統側の出力電圧が加減調整されるか、

或いは、風を受けて回転する風車により駆動されるかご型誘導発電機と、該かご型誘導発電機に一端が接続されていると共に、他端が電力系統に接続され、かつ、蓄電装置を有する複数の電力変換装置とを備え、前記かご型誘導発電機の固定子と前記複数の電力変換装置が直列に接続され、前記かご型誘導発電機と前記電力系統に電圧差が生じた際に、前記電力変換装置を制御することによって、前記蓄電装置を充放電させて前記電圧差をなくすように前記電力変換装置の前記電力系統側の出力電圧が加減調整されることを特徴とする。

発明の効果

[0027] 本発明によれば、風速が減少した低風速時であっても、発電機と電力系統とを安定に連系させることができ、発電システムの低風速における運転可能範囲を拡張でき、その結果として発電設備の利用率向上が図れる効果がある。

図面の簡単な説明

[0028] [図1]本発明の風力発電システムの実施例１を示す図である。

[図2]本発明の風力発電システムの実施例１に採用される電力変換装置の構成を示す図である。

[図3]本発明の風力発電システムの実施例１に採用される電力変換装置制御器の制御動作を説明するための図である。

[図4]本発明の風力発電システムの実施例１における電力変換装置の変調波電圧とキャリア信号との関係を示す図である。

[図5]本発明の風力発電システムの実施例１における複数の電力変換装置の各電力系統側の電圧の一例を示す図である。

[図6]本発明の風力発電システムの実施例１における複数の電力変換装置の電力系統側の合計電圧の一例を示す図である。

[図7]本発明の風力発電システムの実施例１における風力発電機の発電電圧の一例を示す図である。

[図8]本発明の風力発電システムの実施例１における電力変換装置の系統側電圧の一例を示す図である。

[図9]本発明の風力発電システムの実施例１における電力系統の系統電圧の一例を示す図である。

[図10]本発明の風力発電システムの実施例２を示す図である。

[図11]本発明の風力発電システムの実施例３を示す図である。

[図12]本発明の風力発電システムの実施例４を示す図である。

発明を実施するための形態

[0029] 以下、図示した実施例に基づいて本発明の風力発電システムについて説明する。なお、各実施例において、同一構成部品については同符号を使用する。

実施例 1

[0030] 図１に、本発明の風力発電システムの実施例１を示す。図１は、風力発電システムの風力発電機として二次励磁型発電機を使用し、電力系統の系統電圧と異なる発電機電圧に対し、蓄電装置を備えた電力変換手段を用いて電圧調整することにより、風力発電システムと電力系統とを連系可能とする風力発電システムの例である。

[0031] なお、電力系統は、通常、三相交流であるため、風力発電システムを電力系統に連系するためには、風力発電システムも三相交流で構成する必要がある。ここでは、三相交流の中の一相についてのみ代表的に図示し、風力発電システムの構成とその動作について、以下に説明する。

[0032] 先ず、図１を用いて、風力発電機として二次励磁型発電機を用いた風力発電システムについて、その基本的な発電特性を説明する。

[0033] 該図に示す如く、本実施例の風力発電システムでは、風を受けて回転する風車１は、増速ギア２を介して風力発電機３の回転子に接続されている。この風力発電機３の回転子は、風力発電機３の回転子励磁系より発電に必要な励磁電力の供給を受ける。風力発電機３の固定子は、蓄電装置９を備えた複数の電力変換装置８を介して電力系統５００に接続されている。そして、こ

れらの電力変換装置８は、風力発電機３と直列に接続されている。

[0034] 蓄電装置９を備えた複数の電力変換装置８は、可変電圧源として作用させるものであり、風力発電機３の電圧に対して、この電力変換装置８の出力電圧を加算することによって、電力系統５００の系統電圧との電圧差をなくすように電圧調整され、その結果、風力発電機３は安定に電力系統５００に連系されるものである。

[0035] 二次励磁型発電機を使用した風力発電機３の回転子励磁系の構成について、以下に説明する。

[0036] 図１に示す如く、風力発電機３の回転子励磁系は、風力発電機３である二次励磁型発電機から得られる交流電力を直流電力に電力変換する系統側電力変換器５と、この系統側電力変換器５で電力変換された直流電力を交流電力に電力変換する回転子側電力変換器４と、直流リンク部の直流コンデンサ６とから構成されている。

[0037] 系統側電力変換器５は代表的にはＰＷＭコンバータであり、風力発電機３の固定子と蓄電装置９を備えた電力変換装置８との間に線路抵抗及びリアクタンス７を介して接続され、交流電力を直流電力に電力変換する機能を有している。系統側電力変換器５の出力である直流電力は、系統側電力変換器５に接続された直流リンク部の直流コンデンサ６の入力となる。更に、この直流コンデンサ６は、代表的にはＰＷＭコンバータである回転子側電力変換器４に接続される。この回転子側電力変換器４は、直流電力を交流電力に電力変換する機能を有しており、変換された交流電力は、発電機励磁電力として風力発電機３の回転子に周波数調整され供給される。

[0038] 風力発電機３として二次励磁型発電機を用いた風力発電システムにおいて、前述した回転子励磁系による発電制御方法について、以下にその概要を説明する。

[0039] 電力系統５００側の系統側電力変換器５は、回転子励磁系の直流リンク部の直流電圧を整流する目的で設置されている。この制御目的を達成するために、直流電圧制御系が設けられる。即ち、直流リンク部の直流電圧設定値Ｓ

４と直流電圧の測定値Ｓ２との偏差が減算器で求められる。この直流電圧の偏差値に基づき、直流リンク部の直流電圧制御器１５にて系統側電力変換器５に対する設定電流値が演算される。具体的には、ｄ－ｑ座標軸表現において、実効電力に影響を与えるｄ-軸電流の設定値及びｑ-軸の電流を制御する無効電力制御の設定値として演算され、風力発電システムの力率制御に適用される。これらの電流設定値に基づき、電流制御器１６で系統側電力変換器５に対するＰＷＭ制御信号が演算される。

[0040] 風力発電システムで使用される風車１は、風力エネルギーを最大限に風車１の回転エネルギーとして利用できることが望ましく、風速に依存して風車１の回転数の適正最大値は定まる。従って、風車１が受ける風速値に基づき最大電力点（ＭＰＰ）の算出により、風車１の回転数は決定される。風力発電機３の回転子に接続される回転子側電力変換器４は、広範囲に変動する風速によって回転数が変化する風車１から入力される回転エネルギー（機械エネルギー）の最大電力点（ＭＰＰ）に追従させ、風力発電機３の最適回転数に制御する目的で設置される。この時、回転子側電力変換器４の制御方法は、風力発電機３の回転子回転数、電力及び電流に関わる制御系を含む多重制御系となる。なお、非干渉電流制御を実装することにより電力制御を省略することも可能である。

[0041] 風力発電機３の回転子側電力変換器４の制御において、速度制御系が参照する回転子の回転数信号は、前述したように、測定された風速Ｓ１に基づいて最大電力点（ＭＰＰ）を算出する演算器１１により決定される。回転数制御は、電力制御系の入力となる参照実効電力値を速度制御系１２で演算する。系統側電力変換器５からは、風力発電システムに必要な無効電力信号が入力されるため、この回転子側電力変換器４の電力制御系１３では、参照無効電力値は「０」に設定される。電力計算部１７で演算した有効電力の参照値及び無効電力の参照値Ｓ５に対し、減算器で有効電力値及び無効電力値との偏差を計算し、電力制御系１３の入力とする。電力制御系１３では、回転子の電流を制御するための参照電流値を演算する。電流制御系１４は、この参

照電流値に基づき回転子電流を制御することにより電力参照値に追従させるように、回転子側電力変換器４に対するＰＷＭ制御信号が演算される。

[0042] 次に、風速が変化した場合について、二次励磁型発電機を使用した風力発電機３の基本的な発電特性について説明する。

[0043] 風力発電機３の回転子回転数によって、回転子励磁系の動作は以下のように変化する。即ち、風力発電機３の回転子回転数が、電力系統５００の系統周波数と同じである同期回転数である場合には、回転子励磁系は風力発電機３の回転子に対して直流電力を供給する。この状態において、風力発電機３の内部磁束が同期回転数で変化していることから、電力系統５００に対して出力する風力発電機３の固定子には、電力系統５００と同期した周波数の発電機電圧が発生する。

[0044] 風速が上昇し風力発電機３の回転子回転数が同期回転数を超えて上昇した場合には、風力発電機３の回転子に直流電力を供給したままであれば、風力発電機３の固定子から得られる電力は系統周波数と異なってしまい、風力発電機３で発生した電力を電力系統５００に安定に供給することはできない。

[0045] このため、回転子励磁系の回転子側電力変換器４を制御し、風力発電機３の回転子回転数に見合った周波数、具体的には風力発電機３の固定子から得られる電力の周波数が同期回転数となるように、風力発電機３の回転子の励磁電流周波数を調整すると共に、風力発電機３の内部で発生した余剰な電力を、風力発電機３の回転子から回転子側電力変換器４を介して直接的に取り出す。風力発電機３の回転子側電力変換器４から取り出された余剰電力の周波数は系統周波数と異なるが、回転子側電力変換器４により交流電力から直流電力に電力変換され、更にその後、直流リンク部を介して系統側電力変換器５により直流電力から電力系統５００の周波数の交流電力に電力変換される。

[0046] また、風速が減少し風力発電機３の回転子回転数が同期回転数以下に下降した場合には、風力発電機３の回転子に直流電力を供給したままであれば、風力発電機３の固定子から得られる電力は系統周波数と異なってしまい、風

力発電機３の回転子回転数が上昇した場合と同様に、風力発電機３で発生した電力を電力系統５００に安定に供給することはできない。

[0047] このため、回転子励磁系の回転子側電力変換器４を制御し、風力発電機３の回転子回転数に見合った周波数、具体的には、風力発電機３の固定子から得られる電力の周波数が同期回転数となるように、風力発電機３の回転子の励磁電流周波数を調整して励磁電力を風力発電機３の回転子に供給し、風力発電機３の固定子から発電電力として取り出す。風力発電機３の回転子に供給される励磁電流は、風力発電機３の固定子から得られた交流電力について系統側電力変換器５で直流電力に電力変換し、更にその後、直流リンク部を介して回転子側電力変換器４で直流電力を交流電力に電力変換して得ている。

[0048] 前述した風速変化に対する二次励磁型発電機を使用した風力発電機３の基本的な発電特性は、以下のように示すことができる。

[0049] 即ち、風車１が回転開始する風車回転開始風速では、まだ風力発電機３の発生電圧は不十分であるため風力発電機３から電力系統５００への電力供給もない。更に風速が上昇し、回転子励磁系により風力発電機３の回転子に励磁電流が供給されて風力発電機３の電圧が電力系統程度まで上昇した場合に、風力発電機３と電力系統５００は連系可能となり、風力発電機３で発生した電力は電力系統５００に供給される。この時、風力発電機３の回転子の回転数は系統周波数より低く、風力発電機３で発生した電力は風力発電機３の固定子より取り出される。その後、風速の上昇に伴い風力発電機３の発生電圧はさらに増加するが、風力発電機３の電圧は電力系統５００の系統電圧で調整されることから、風力発電機３の電流の増加となって、風力発電機３から得られる電力は増加することになる。この時、風力発電機３の回転子の励磁電流の周波数は、風力発電機３の回転子回転数の上昇に伴って周波数は低下する。

[0050] その後、風力発電機３の回転子回転数が同期回転数まで増加すると、風力発電機３の回転子に供給される励磁電流は直流電力として供給される。更に

、風力発電機３の回転子回転数が同期回転数を超えて上昇すると、風力発電機３の回転子の励磁電流は直流から交流となってその周波数は増加する。風力発電機３で発生する電力も増加するが、その発生電力は風力発電機３の固定子から得られるだけでなく、風力発電機３の回転子からも得られるようになる。

[0051] 以上説明したように、風速が低下した場合、二次励磁型発電機を使用した風力発電機３は、風力発電機３の回転子励磁系による励磁電流制御によって、風力発電機３の固定子電圧を電力系統５００の系統電圧に維持するが、風力発電機３から得られる電力は減少する。この時、風力発電機３の回転子励磁系の直流リンク部の直流電圧制御において、その直流電圧の設定値を下げることは、系統側電力変換器５を介して系統電圧との電圧差が発生するため、安定動作が困難となる。

[0052] 従って、このような場合には、風力発電機３と電力系統５００との間に可変電圧源を直列接続し、風力発電機３の発生電圧と電力系統５００の系統電圧との電圧差を補償することにより、低風速時においても風力発電機３と電力系統５００とを安定に連系することができる。

[0053] 具体的には、以下のような構成となる。即ち、風力発電機３の固定子の電力出力側には、蓄電装置９を備えた複数の電力変換装置８が風力発電機３と直列に接続され、電力系統５００に連系されている。この複数の電力変換装置８は、図２に示すように、代表的には直流電圧安定化のためのコンデンサ８１を有するＰＷＭインバータで構成されている。また、これらの電力変換装置８は蓄電装置９を備えており、ＰＷＭインバータのスイッチ動作によって個々の蓄電装置９を電圧源とした電圧が電力変換装置８から出力されることから、電力変換装置８全体で可変電圧源として作用することになる。

[0054] 図１に示すように、複数の直列接続の電力変換装置８は、電力変換装置制御器１０によりその動作が制御される。この電力変換装置制御器１０の入力信号は、風力発電機３の電圧Ｓ３、有効電力及び無効電力の各設定値Ｓ７、電力系統５００の系統電圧Ｓ９及び系統電流Ｓ８である。また、電力変換装

置８の出力信号は、電力変換装置８を構成しているＰＷＭインバータのＯＮ及びＯＦＦのスイッチ動作要求信号Ｓ６である。ここで、有効電力の設定値Ｓ７は、風力発電機３から得られる発電電力を考慮する必要があり、風力発電機３と電力変換装置８から出力される有効電力の合計値として設定される。また、電力変換装置８が有効電力制御を行うことから無効電力は「０」設定される。

[0055] この電力変換装置制御器１０の制御目的は、風力発電機３の固定子電圧に対し、蓄電装置９を電圧源とする電力変換装置８の出力電圧を加算して電圧振幅を調整し、系統電圧と一致させることにある。ここで、風力発電機３の固定子電圧は交流であり、また、電力系統５００の電圧も交流である。一方、それぞれの蓄電装置９は一定電圧を出力する。このため、風力発電機３に直列に接続された複数の電力変換装置８のＰＷＭインバータのＯＮ及びＯＦＦのスイッチ動作で複数の一定電圧波形を発生し、最終的には、これらの複数の電力変換装置８の出力電圧波形の加算により、電力系統５００の電圧と同じ周波数の交流電圧波形を生成する。

[0056] 電力変換装置制御器１０の制御動作について、図３を用いて説明する。電力変換装置８のＰＷＭインバータのＯＮ及びＯＦＦのスイッチ動作は、図４に示す電圧波形のように、目標とする電圧波形Ａである変調波電圧とＰＷＭインバータのＯＮ及びＯＦＦさせるための閾値電圧であるキャリア信号とを比較し決定する。直列接続された複数個の電力変換装置８がある場合には、変調波電圧信号を電力変換装置８の数だけ多段階レベルに分割し（図５参照）、それぞれの電力変換装置８が受け持つ電圧レベルにおいて電圧レベルをシフトした複数のキャリア信号で比較することにより、それぞれ対応する電力変換装置８のＰＷＭインバータのＯＮ及びＯＦＦ動作を制御する。即ち、図５に示すように、目標とする変調波電圧信号に対して複数の電圧レベルＶ１～Ｖ５でＰＷＭ変調するものである。最終的には、目標とする変調波電圧信号に対して複数の電力変換装置８のＰＷＭインバータがＯＮ及びＯＦＦ動作することにより、複数の電圧レベルでＰＷＭ変調された電圧が得られる。

つまり、電力変換装置８が複数直列に接続されているため、図６に示すように、電力変換装置８からの合計電圧Ｖが変調波電圧信号に対応して出力される。

[0057] この時、電力変換装置８が目標とする変調波電圧信号は、以下のように演算される。即ち、変調波電圧信号は、電力変換装置８から出力される有効電力及び無効電力に依存し、また、電力系統５００の電流信号にも依存する。つまり、図３に示すように、上記有効電力及び無効電力の設定値Ｓ７、電力系統５００の系統電流Ｓ８及び系統電圧Ｓ９に基づき、変調波電圧生成部３２で有効電力制御演算を行って電力変換装置８から有効電力を出力するための電圧信号、即ち、変調波電圧信号Ｓ３１を計算する。この時、電力系統５００の系統電圧信号Ｓ９に基づき、系統電圧の位相及び周波数を位相検出部３１で求め、有効電力制御のための変調波電圧信号演算に利用する。

[0058] 変調波電圧生成部３２で演算された電力変換装置８からの目標変調波電圧信号Ｓ３１に対し、風力発電機３の出力である固定子電圧信号Ｓ３を加算し、修正変調波電圧信号Ｓ３２を得る。この修正変調波電圧信号Ｓ３２は蓄電装置９の電圧の加算信号Ｓ７１により規格化され、ＰＷＭインバータ３３へ出力される。従って、この規格化された変調波電圧信号Ｓ３３に対し、前述したように、電圧レベルをシフトした複数のキャリア信号で電圧比較部３４にて比較され、それぞれに対応する電力変換装置８のＰＷＭインバータのＯＮ及びＯＦＦ動作の制御信号Ｓ３４を生成する。

[0059] 以上、蓄電装置９を備えた複数の電力変換装置８を介して風力発電機３と電力系統５００とを連系する風力発電システムについて、その発電システムの構成を説明した。

[0060] これまでの説明で明らかなように、風速の増加により風力発電機３の発電電圧と電力系統５００の系統電圧との電圧差がない場合においては、蓄電装置９を備えた電力変換装置８による電圧調整の必要性はない。このような場合においては、図３に示したＰＷＭインバータ３３をバイパス動作させ、蓄電装置９の電圧が電力変換装置８から出力されないようにする。この時、本

発明の風力発電システムの発電特性は、従来の二次励磁型発電機を使用した風力発電機による風力発電システムとほぼ同等となる。

[0061] 二次励磁型発電機を使用した風力発電機３に対し、蓄電装置９を備えた複数の電力変換装置８を直列に接続し、更に、これらの電力変換装置８を介して電力系統５００に連系した時の電圧波形について、図７乃至図９にその一例を示す。

[0062] 図７乃至図９において、それぞれの電圧波形の周波数は同一であり、図示してないが、電圧と電流との位相差によって、風力発電機３及び電力変換装置８と電力系統５００との間で有効電力の流れが発生する。

[0063] 先ず、図７に示した風力発電機３の固定子電圧であるが、これは風力発電機３の回転子励磁系の動作により、風力発電機３の回転子回転数によらず電力系統５００の同期回転数（周波数）で風力発電機３の電力として出力される。この時、風力発電機３の固定子電圧は、回転子励磁系の直流リンク部の直流電圧制御によって、電力系統５００の系統電圧より低く維持されている。この風力発電機３の電圧が低く維持されている状態は、風速が減少して風力発電機３の電圧が低下し系統電圧を維持できないような場合に相当する。

[0064] 次に、蓄電装置９を備えた複数の電力変換装置８から出力される合計電圧を図８に示す。前述したように、電力変換装置８から出力される電圧波形は、変調波電圧波形に対して蓄電装置９を直流電源とし複数レベルでＰＷＭ変調し出力されたものである。従って、実際には、それぞれ異なった電圧レベルで電力変換装置８から出力されるために、その合計電圧は階段状の電圧波形となる。ここでは、その階段状の電圧波形をフィルター等による成形後の波形として示している。また、この時の電力系統５００の系統電圧を図９に示す。

[0065] 風力発電機３と蓄電装置９を備えた電力変換装置８とは、前述したように直列接続されているため、風力発電機３の固定子の電圧と電力変換装置８から出力される電圧とは加算されることになる。電力変換装置８に対する変調波電圧信号は、この加算された電圧信号が電力系統５００の電圧信号と電圧

差がないように生成される。

[0066] その結果、風力発電機３は、蓄電装置９を備えた電力変換装置８を介して安定に電力系統に連系され、風力発電システムの低風速における運転可能範囲を拡張でき、結果として発電設備の利用率を向上させることができる。

実施例 2

[0067] 図１０に、本発明の風力発電システムの実施例２を示す。なお、図１に示し実施例１と同一の符号を付された構成と同一の機能を有する部分については、その説明は省略する。

[0068] 該図に示す本実施例は、風力発電機３と蓄電装置９を備えた複数の電力変換装置８とを直列に接続すると共に、系統側電力変換器５と最も風力発電機３側に位置する電力変換装置８との間に遮断器等の第１の開閉器１００を、風力発電機３と最も風力発電機３側に位置する電力変換装置８との間に遮断器等の第２の開閉器１０１を、電力系統５００と最も電力系統５００側に位置する電力変換装置８との間に遮断器等の第３の開閉器１０２をそれぞれ設置し、そして、電力系統５００と最も電力系統５００側に位置する電力変換装置８との間に設置された第３の開閉器１０２を開放し、複数の電力変換装置８を電力系統５００から切り離した風力発電システムの構成としたものである。

[0069] 即ち、第３の開閉器１０２及び第２の開閉器１０１が開放された状態、また、第１の開閉器１００が閉状態とする（この時、図示してないが、電力変換器８の電力系統５００側は、三相交流結線の終端が短絡されている）。図１０において、初期的には蓄電装置９を備えた電力変換装置８の制御により、風力発電機３の回転子励磁系の直流リンク部の直流コンデンサ６を充電し、回転子励磁系を動作可能とする。風速の増加によって、風力発電機３の固定子電圧が上昇すると第２の開閉器１０１を開放状態から閉状態とすると共に、電力変換装置８のＰＷＭインバータを制御して蓄電装置９を充電するものである。

[0070] このような本実施例の風力発電システムの構成とすることにより、上述し

た実施例１と同様な効果が得られることは勿論、風力発電機３で発生した電力を電力変換装置８に接続された蓄電装置９に供給することで、蓄電装置９の充電が可能となる。

[0071] 特に、本実施例では、風力発電機３が電力系統５００に連系できない低風速の状態の場合においても、風力発電システム単独で発電動作させることができ、発生した電力を電力変換装置８に接続された蓄電装置９に充電することで、風力エネルギーを電気エネルギーとして蓄電することができるようになる。

[0072] なお、蓄電装置９に蓄電された電力は、風力発電システムが電力系統５００と連系後に、風力発電システムに対する電力要求に応じて電力系統５００に供給される。

実施例 3

[0073] 図１１に、本発明の風力発電システムの実施例３を示す。なお、図１に示し実施例１と同一の符号を付された構成と同一の機能を有する部分については、その説明は省略する。

[0074] 該図に示す本実施例が、実施例１に示した風力発電システムと異なる点は以下となる。

[0075] 即ち、蓄電装置９を備えた複数の電力変換装置８の一方の端子は、風力発電機３の固定子に接続されると共に、電力変換装置８の他方の端子は、風力発電機３の回転子励磁系の系統側電力変換器５に接続され、更に、電力変換装置８の一方の端子は、電力系統５００側に接続された風力発電システムの構成としたものである。言い換えると、風力発電機３の回転子励磁系の一端が風力発電機３の回転子と接続され、更に、風力発電機３の回転子励磁系の他端である系統側電力変換器５が電力系統５００と最も電力系統５００側に位置する電力変換装置８との間に接続されていることでもある。

[0076] このような本実施例の風力発電システムの構成とすることにより、風力発電機３の固定子の発電電圧が電力系統５００の系統電圧と異なった場合において、蓄電装置９を備えた電力変換装置８の出力電圧の加算により電圧調整

されることから、風力発電機３は電力系統５００と安定に連系することができる。

[0077] なお、この時、風力発電機３の固定子励磁系の直流リンク部の直流電圧は、系統側電力変換器５により電力系統５００の系統電圧に対応した直流電圧値に制御される。

実施例 4

[0078] 図１２に、本発明の風力発電システムの実施例４を示す。なお、図１に示し実施例１と同一の符号を付された構成と同一の機能を有する部分については、その説明は省略する。

[0079] 該図に示す本実施例が、実施例１で示した風力発電システムと異なる点は以下となる。

[0080] 即ち、本実施例は、風力発電機としてかご型誘導発電機３Ａを使用した風力発電システムの実施例であり、このかご型誘導発電機３Ａの固定子に蓄電装置９を備えた複数の電力変換装置８が直列に接続され、更に、これらの電力変換装置８は電力系統５００に接続されていると共に、かご型誘導発電機３Ａと最もかご型誘導発電機３Ａ側に位置する電力変換装置８の間に遮断器等の開閉器１０３、電力系統５００と最も電力系統５００側に位置する電力変換装置８の間に遮断器等の開閉器１０４を設置した風力発電システムの構成としたものである。なお、開閉器１０３及び１０４は、かご型誘導発電機３Ａと電力系統５００の周波数が同じになった時に投入するものである。

[0081] 風力発電機としてかご型誘導発電機３Ａを使用した本実施例の風力発電システムの基本的な発電特性は、以下のようなものである。

[0082] 即ち、かご型誘導発電機３Ａは発電機構造体が回転子励磁系を構成しており、かご型誘導発電機３Ａの固定子電流による誘導磁界によって発生した回転子電流に基づいて、発電のために必要な磁界を維持する。この時、かご型誘導発電機３Ａの回転子は、電力系統５００の系統周波数とわずかにずれた滑り回転数で回転する。風速の変化によってかご型誘導発電機３Ａの発生電圧が変化するような場合には、かご型誘導発電機３Ａの固定子が電力系統５

００と接続されていることから、かご型誘導発電機３Ａの固定子電圧と電力系統５００の系統電圧の電圧差をなくすようにかご型誘導発電機３Ａの電流が変化し、その結果、かご型誘導発電機３Ａの電圧及び電流の周波数は殆ど変ることなく、かご型誘導発電機３Ａから得られる電力が変化する。

[0083] このように、かご型誘導発電機３Ａを使用した風力発電機の入力エネルギーである風速が変化した場合、風速に応じて発生する発電電力が変化する発電特性を示す。風速が急激に変化した場合には、一時的にかご型誘導発電機３Ａの電圧が大きく変化し、その結果、電力系統５００へ供給される電力も変化して電力系統５００の擾乱となる。

[0084] 蓄電装置９を有する電力変換装置８を、このかご型誘導発電機３Ａと電力系統５００との間に組み入れた場合、電力変換装置８が出力する電圧をかご型誘導発電機３Ａの電圧Ｓ３に加減算することにより、急激な風速変化で変化したかご型誘導発電機３Ａの電圧変化に対して蓄電装置９の充放電により電圧調整することができる。

[0085] これにより、電力系統５００の系統電圧との電圧差を短時間でなくすことができ、その結果、電力系統５００に対する電力擾乱を抑制することが可能となる。

[0086] 即ち、電力変換装置制御器１０では、電力系統５００の系統電圧Ｓ９及び系統電流Ｓ８、電力変換装置８から出力する電力設定値Ｓ７に基づいて、複数直列接続された電力変換装置８の全体動作を制御するための目標変調波電圧を求める。この目標変調波電圧に対して、かご型誘導発電機３Ａの発生電圧を加減演算して修正目標変調波電圧を演算する。その後、前述した複数の直列接続された電力変換装置８のそれぞれ対し、修正目標変調波電圧を動作制御信号として分配し、電力変換装置８に接続された蓄電装置９の充放電の制御によって所定の電力変換装置８の出力電圧を得る。

[0087] 一例として、風力発電システムがある風速で安定に風力発電している状態では、かご型誘導発電機３Ａの発電電圧は電力系統５００の系統電圧との電圧差はなく、電力変換装置８の出力電力設定値が「０」の条件では、蓄電装

置９を備えた電力変換装置８はバイパスされた状態となっている。風速の変化によってかご型誘導発電機３Ａの電圧が変化した場合には、電力変換装置８の出力電力の設定値を変えることにより、電力変換装置８の動作を制御して電力変換装置８に接続された蓄電装置９を充放電させて電力変換装置８の出力電圧を調整し、電力変換装置８の電力系統５００側の電圧と電力系統５００の系統電圧との電圧差をなくす。これにより、風速変化時のかご型誘導発電機３Ａの電圧変化に伴って電力系統５００へ供給される電力変動を抑制できる。

[0088] 以上、本発明では、風力発電システムについて二次励磁型発電機、永久磁石発電機、かご型誘導発電機を風力発電機３として利用した場合を実施例として説明したが、これまでの実施例の説明で明らかなように、発電機の発生電力が入力エネルギーで変化するような可変速揚水発電システム、潮力発電システムなどの発電システムへの適用が可能である。

[0089] また、発電機の三相交流の各相に対し、電力変換装置として複数の単相インバータを直列接続するものであり、三相交流に限るものではないことは明らかである。

[0090] なお、本発明は上記した実施例に限定されるものではなく、様々な変形例が含まれる。例えば、上記した実施例は本発明を分かり易く説明するために詳細に説明したものであり、必ずしも説明した全ての構成を備えるものに限定されるものではない。また、ある実施例の構成の一部を他の実施例の構成を置き換えることが可能であり、また、ある実施例の構成に他の実施例の構成を加えることも可能である。また、各実施例の構成の一部について、他の構成の追加・削除・置換をすることが可能である。

符号の説明

[0091] １…風車、２…増速ギア、３…風力発電機、３Ａ…かご型誘導発電機、４…回転子側電力変換器、５…系統側電力変換器、６…直流コンデンサ、７…リアクタンス、８…電力変換装置、９…蓄電装置、１０…電力変換装置制御器、１１…演算器、１２…速度制御系、１３…電力制御系、１４…電流制御

系、１５…直流電圧制御器、１６…電流制御器、１７…電力計算部、３１…位相検出部、３２…変調波電圧生成部、３３…ＰＷＭインバータ、３４…電圧比較部、８１…コンデンサ、１００…第１の開閉器、１０１…第２の開閉器、１０２…第３の開閉器、１０３、１０４…開閉器、５００…電力系統。

請求の範囲

[請求項1] 発電機と、該発電機に一端が接続されていると共に、他端が電力系統に接続され、かつ、蓄電装置を有する複数の電力変換装置とを備え、

前記発電機と前記複数の電力変換装置が直列に接続され、前記発電機と前記電力系統に電圧差が生じた際に、前記電力変換装置を制御することによって、前記蓄電装置を充放電させて前記電圧差をなくすように前記電力変換装置の前記電力系統側の出力電圧が加減調整されることを特徴とする発電システム。

[請求項2] 請求項１に記載の発電システムにおいて、

前記複数の電力変換装置が制御される電力変換装置制御器を備え、該電力変換装置制御器は、前記発電機の固定子電圧に対し、前記蓄電装置を電圧源とする前記電力変換装置の出力電圧を加算して電圧振幅を調整し、前記電力系統の電圧と一致させる制御を行うことを特徴とする発電システム。

[請求項3] 風を受けて回転する風車により駆動される風力発電機と、該風力発電機に一端が接続されていると共に、他端が電力系統に接続され、かつ、蓄電装置を有する複数の電力変換装置とを備え、

前記風力発電機の固定子と前記複数の電力変換装置が直列に接続され、前記風力発電機と前記電力系統に電圧差が生じた際に、前記電力変換装置を制御することによって、前記蓄電装置を充放電させて前記電圧差をなくすように前記電力変換装置の前記電力系統側の出力電圧が加減調整されることを特徴とする風力発電システム。

[請求項4] 請求項３に記載の風力発電システムにおいて、

前記複数の電力変換装置が制御される電力変換装置制御器を備え、該電力変換装置制御器は、前記風力発電機の固定子電圧に対し、前記蓄電装置を電圧源とする前記電力変換装置の出力電圧を加算して電圧振幅を調整し、前記電力系統の電圧と一致させる制御を行うことを特

徴とする風力発電システム。

［請求項5］ 請求項３又は４に記載の風力発電システムにおいて、

前記風力発電機の回転子と前記電力変換装置の間には、前記風力発電機からの交流電力を直流電力に変換する系統側電力変換器と直流電力を交流電力に変換する回転子側電力変換器から成る回転子励磁系が接続されていることを特徴とする風力発電システム。

［請求項6］ 請求項５に記載の風力発電システムにおいて、

前記系統側電力変換器と最も前記風力発電機側に位置する前記電力変換装置との間に第１の開閉器が、前記風力発電機と最も該風力発電機側に位置する前記電力変換装置との間に第２の開閉器が、前記電力系統と最も該電力系統側に位置する前記電力変換装置との間に第３の開閉器がそれぞれ設置され、かつ、前記第３の開閉器が開放され、前記電力変換装置が電力系統から切り離された状態で、前記風力発電機からの電力を前記蓄電装置に供給して充電することを特徴とする風力発電システム。

［請求項7］ 風を受けて回転する風車により駆動される風力発電機と、該風力発電機に一端が接続されていると共に、他端が電力系統に接続され、かつ、蓄電装置を有する複数の電力変換装置と、前記風力発電機からの交流電力を直流電力に変換する系統側電力変換器と直流電力を交流電力に変換する回転子側電力変換器から成る回転子励磁系とを備え、

前記風力発電機の固定子と前記複数の電力変換装置が直列に接続されていると共に、前記回転子励磁系の一端が前記風力発電機の回転子と接続され、該回転子励磁系の他端である前記系統側電力変換器が前記電力系統と最も該電力系統側に位置する前記電力変換装置との間に接続され、かつ、前記風力発電機と前記電力系統に電圧差が生じた際に、前記電力変換装置を制御することによって、前記蓄電装置を充放電させて前記電圧差をなくすように前記電力変換装置の前記電力系統側の出力電圧が加減調整されることを特徴とする風力発電システム。

[請求項8] 請求項７に記載の風力発電システムにおいて、

前記複数の電力変換装置が制御される電力変換装置制御器を備え、該電力変換装置制御器は、前記風力発電機の固定子電圧に対し、前記蓄電装置を電圧源とする前記電力変換装置の出力電圧を加算して電圧振幅を調整し、前記電力系統の電圧と一致させる制御を行うことを特徴とする風力発電システム。

[請求項9] 請求項３乃至８のいずれか１項に記載の風力発電システムにおいて、

前記電力変換装置は、直流電力を交流電力に変換する機能或いは交流電力を直流電力に変換する機能を有する単相インバータであり、該単相インバータは、前記風力発電機で発生した多相交流のそれぞれの相に対して複数個直列に接続されると共に、前記風力発電機と前記電力系統との間に配置接続されることを特徴とする発電システム。

[請求項10] 請求項３乃至８のいずれか１項に記載の風力発電システムにおいて、

前記電力変換装置は、複数個直列接続された単相インバータであり、前記電力系統の系統電圧及び系統電流と前記単相インバータからの出力電力の設定値とに基づいて、複数個直列接続された前記単相インバータの全体動作を制御するための目標変調波電圧を求め、更に、前記風力発電機の発生電圧を加減演算して修正目標変調波電圧を演算した後、前記複数個の前記単相インバータのそれぞれの動作制御信号として分配し、前記単相インバータに接続された前記蓄電装置の充放電の制御により所定の単相インバータ電圧を得ることを特徴とする風力発電システム。

[請求項11] 風を受けて回転する風車により駆動されるかご型誘導発電機と、該かご型誘導発電機に一端が接続されていると共に、他端が電力系統に接続され、かつ、蓄電装置を有する複数の電力変換装置とを備え、

前記かご型誘導発電機の固定子と前記複数の電力変換装置が直列に

接続され、前記かご型誘導発電機と前記電力系統に電圧差が生じた際に、前記電力変換装置を制御することによって、前記蓄電装置を充放電させて前記電圧差をなくすように前記電力変換装置の前記電力系統側の出力電圧が加減調整されることを特徴とする風力発電システム。

［請求項12］ 請求項１１に記載の風力発電システムにおいて、

前記複数の電力変換装置が制御される電力変換装置制御器を備え、該電力変換装置制御器は、前記電力系統の系統電圧及び系統電流と前記電力変換装置から出力する電力設定値に基づいて前記複数の電力変換装置の全体動作を制御するための目標変調波電圧を求め、この目標変調波電圧に対して前記かご型誘導発電機の発生電圧を加減演算して修正目標変調波電圧を演算し、その後、前記複数の電力変換装置のそれぞれ対し、前記修正目標変調波電圧を動作制御信号として分配し、前記蓄電装置の充放電によって前記電力変換装置の所定の出力電圧を得る制御を行うことを特徴とする風力発電システム。

補正された請求の範囲
[2014年1月29日(29.01.2014)国際事務局受理]

[請求項1] （削除）

[請求項2] （削除）

[請求項3] （補正後）

風を受けて回転する風車により駆動される風力発電機と、該風力発電機に一端が接続されていると共に、他端が電力系統に接続され、かつ、蓄電装置を有する複数の電力変換装置とを備え、

前記風力発電機の固定子と前記複数の電力変換装置が直列に接続され、前記風車は回転しているが発電には寄与しない低風速となり前記風力発電機と前記電力系統に電圧差が生じた際に、前記電力変換装置を制御することによって、前記蓄電装置を充放電させて前記電圧差をなくすように前記電力変換装置の前記電力系統側の出力電圧が加減調整されることを特徴とする風力発電システム。

[請求項4] 請求項３に記載の風力発電システムにおいて、

前記複数の電力変換装置が制御される電力変換装置制御器を備え、該電力変換装置制御器は、前記風力発電機の固定子電圧に対し、前記蓄電装置を電圧源とする前記電力変換装置の出力電圧を加算して電圧振幅を調整し、前記電力系統の電圧と一致させる制御を行うことを特徴とする風力発電システム。

[請求項5] 請求項３又は４に記載の風力発電システムにおいて、

前記風力発電機の回転子と前記電力変換装置の間には、前記風力発電機からの交流電力を直流電力に変換する系統側電力変換器と直流電力を交流電力に変換する回転子側電力変換器から成る回転子励磁系が接続されていることを特徴とする風力発電システム。

[請求項6] 請求項５に記載の風力発電システムにおいて、

前記系統側電力変換器と最も前記風力発電機側に位置する前記電力変換装置との間に第１の開閉器が、前記風力発電機と最も該風力発電機側に位置する前記電力変換装置との間に第２の開閉器が、前記電力

系統と最も該電力系統側に位置する前記電力変換装置との間に第３の開閉器がそれぞれ設置され、かつ、前記第３の開閉器が開放され、前記電力変換装置が電力系統から切り離された状態で、前記風力発電機からの電力を前記蓄電装置に供給して充電することを特徴とする風力発電システム。

[請求項7] （補正後）

風を受けて回転する風車により駆動される風力発電機と、該風力発電機に一端が接続されていると共に、他端が電力系統に接続され、かつ、蓄電装置を有する複数の電力変換装置と、前記風力発電機からの交流電力を直流電力に変換する系統側電力変換器と直流電力を交流電力に変換する回転子側電力変換器から成る回転子励磁系とを備え、

前記風力発電機の固定子と前記複数の電力変換装置が直列に接続されていると共に、前記回転子励磁系の一端が前記風力発電機の回転子と接続され、該回転子励磁系の他端である前記系統側電力変換器が前記電力系統と最も該電力系統側に位置する前記電力変換装置との間に接続され、かつ、前記風車は回転しているが発電には寄与しない低風速となり前記風力発電機と前記電力系統に電圧差が生じた際に、前記電力変換装置を制御することによって、前記蓄電装置を充放電させて前記電圧差をなくすように前記電力変換装置の前記電力系統側の出力電圧が加減調整されることを特徴とする風力発電システム。

[請求項8] 請求項７に記載の風力発電システムにおいて、

前記複数の電力変換装置が制御される電力変換装置制御器を備え、該電力変換装置制御器は、前記風力発電機の固定子電圧に対し、前記蓄電装置を電圧源とする前記電力変換装置の出力電圧を加算して電圧振幅を調整し、前記電力系統の電圧と一致させる制御を行うことを特徴とする風力発電システム。

[請求項9] 請求項３乃至８のいずれか１項に記載の風力発電システムにおいて

前記電力変換装置は、直流電力を交流電力に変換する機能或いは交

流電力を直流電力に変換する機能を有する単相インバータであり、該単相インバータは、前記風力発電機で発生した多相交流のそれぞれの相に対して複数個直列に接続されると共に、前記風力発電機と前記電力系統との間に配置接続されることを特徴とする発電システム。

[請求項10] 請求項３乃至８のいずれか１項に記載の風力発電システムにおいて

前記電力変換装置は、複数個直列接続された単相インバータであり、前記電力系統の系統電圧及び系統電流と前記単相インバータからの出力電力の設定値とに基づいて、複数個直列接続された前記単相インバータの全体動作を制御するための目標変調波電圧を求め、更に、前記風力発電機の発生電圧を加減演算して修正目標変調波電圧を演算した後、前記複数個の前記単相インバータのそれぞれの動作制御信号として分配し、前記単相インバータに接続された前記蓄電装置の充放電の制御により所定の単相インバータ電圧を得ることを特徴とする風力発電システム。

[請求項11] （補正後）

風を受けて回転する風車により駆動されるかご型誘導発電機と、該かご型誘導発電機に一端が接続されていると共に、他端が電力系統に接続され、かつ、蓄電装置を有する複数の電力変換装置とを備え、

前記かご型誘導発電機の固定子と前記複数の電力変換装置が直列に接続され、前記風車は回転しているが発電には寄与しない低風速となり前記かご型誘導発電機と前記電力系統に電圧差が生じた際に、前記電力変換装置を制御することによって、前記蓄電装置を充放電させて前記電圧差をなくすように前記電力変換装置の前記電力系統側の出力電圧が加減調整されることを特徴とする風力発電システム。

[請求項12] 請求項１１に記載の風力発電システムにおいて、

前記複数の電力変換装置が制御される電力変換装置制御器を備え、該電力変換装置制御器は、前記電力系統の系統電圧及び系統電流と前記電力変換装置から出力する電力設定値に基づいて前記複数の電力変

換装置の全体動作を制御するための目標変調波電圧を求め、この目標変調波電圧に対して前記かご型誘導発電機の発生電圧を加減演算して修正目標変調波電圧を演算し、その後、前記複数の電力変換装置のそれぞれ対し、前記修正目標変調波電圧を動作制御信号として分配し、前記蓄電装置の充放電によって前記電力変換装置の所定の出力電圧を得る制御を行うことを特徴とする風力発電システム。

条約第１９条（１）に基づく説明書

請求の範囲第３項、第７項及び第１１項の各々に「前記風車は回転しているが発電には寄与しない低風速となり」を追加する補正をした。この１９条の補正により、風車は回転しているが発電には寄与しない低風速となり風力発電機と電力系統に電圧差が生じた際に、電力変換装置を制御することによって、蓄電装置を充放電させて前記電圧差をなくすように電力変換装置の電力系統側の出力電圧が加減調整されることを明確にした。

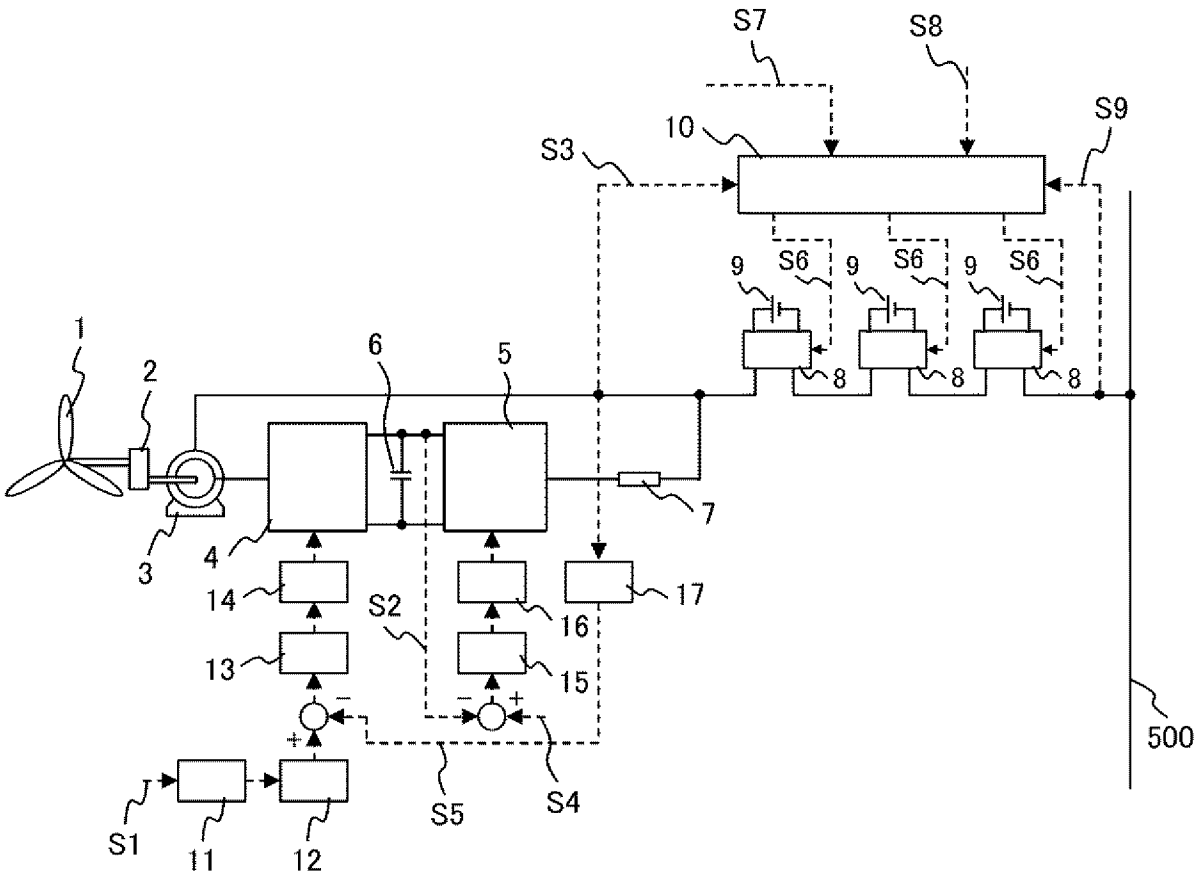
風力発電システムでは、風速によって風力発電機の発電電圧が変化し、特に、風車は回転しているが発電には寄与しない低風速時には風力発電機で発生する発電機電圧が低下するため、電力系統と安定した連系できるだけの発電機電力が得られないという懸念があるが、本願発明のように、風車は回転しているが発電には寄与しない低風速となり風力発電機と電力系統に電圧差が生じた際に、電力変換装置を制御することによって、蓄電装置を充放電させて前記電圧差をなくすように電力変換装置の電力系統側の出力電圧が加減調整されることより、低速時であっても、風力発電機と電力系統を安定に連係させることができ、電力系統と安定した連系できるだけの発電機電力が得られないという懸念が解決される。

なお、「前記風車は回転しているが発電には寄与しない低風速となり前記風力発電機と前記電力系統に電圧差が生じた際に、前記電力変換装置を制御することによって」の補正の根拠は、段落００１３、段落００２１、段落００２２、段落００２４、段落００３４、段落００５２の記載に基づくものです。即ち、段落００１３には、低風速とは風車は回転しているが発電には寄与しない程度の風速であること、段落００２１及び段落００２２には、（風車は回転しているが発電には寄与しない）低風速時は風力発電機と電力系統に電圧差が生じること、段落００２４には、本願発明は風速が減少した低風速時が対象であること、段落００３４及び段落００５２には、風力発電機と電力系統に電圧差が生じると電力変換装置を制御することが記載されている。

文献１乃至４には、上述した本願発明の「前記風車は回転しているが発電には寄与しない低風速となり前記風力発電機と前記電力系統に電圧差が生じた際に、前記電力変換装置を制御すること」については記載されていないし、示唆もされていない。

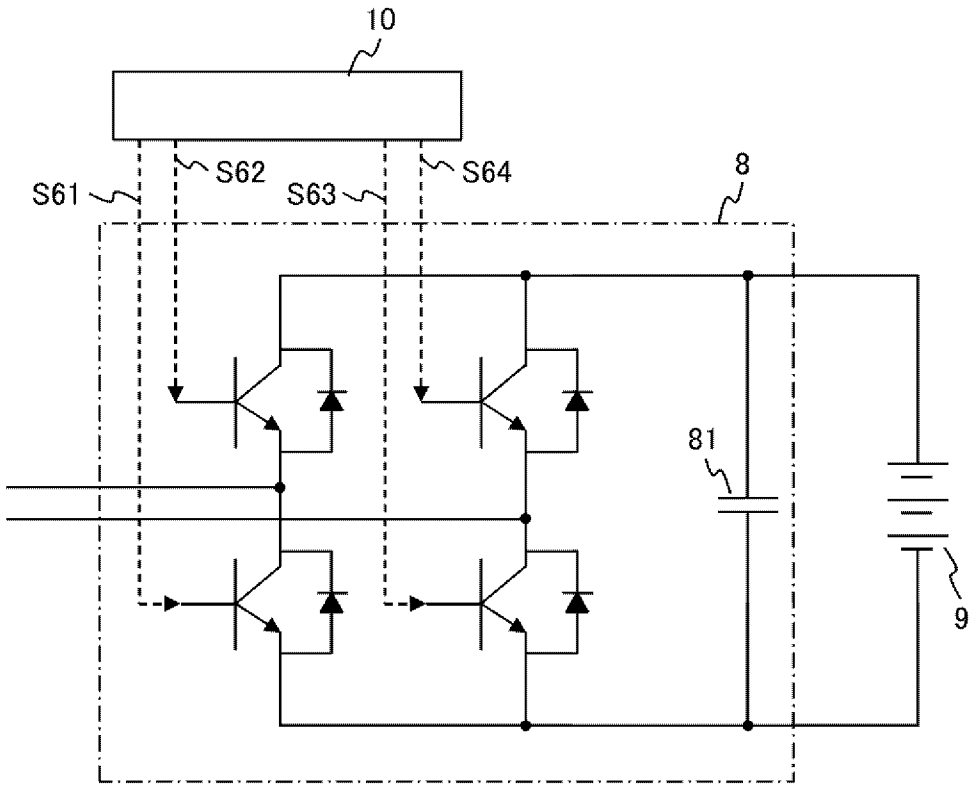
[図1]

図 1



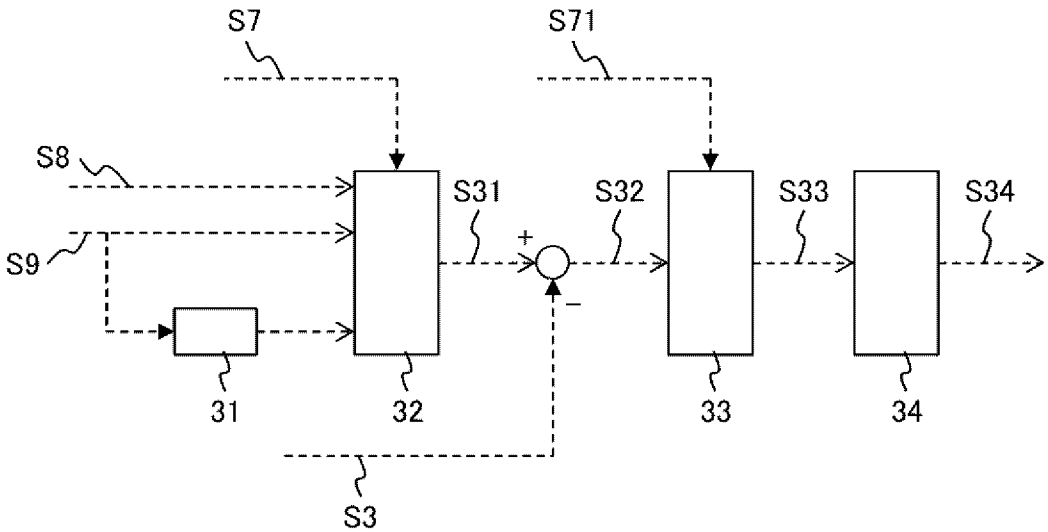
[図2]

図 2



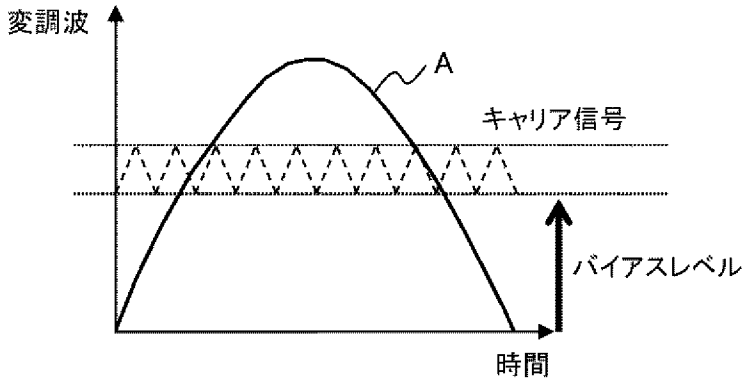
[図3]

図 3



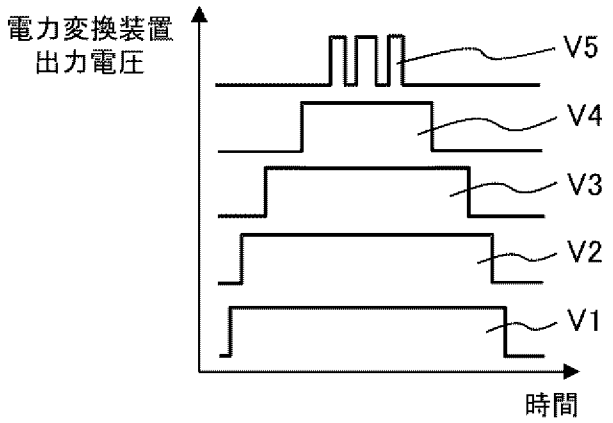
[図4]

図 4



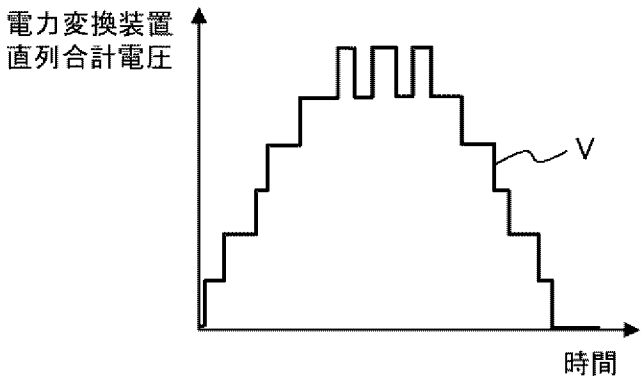
[図5]

図 5



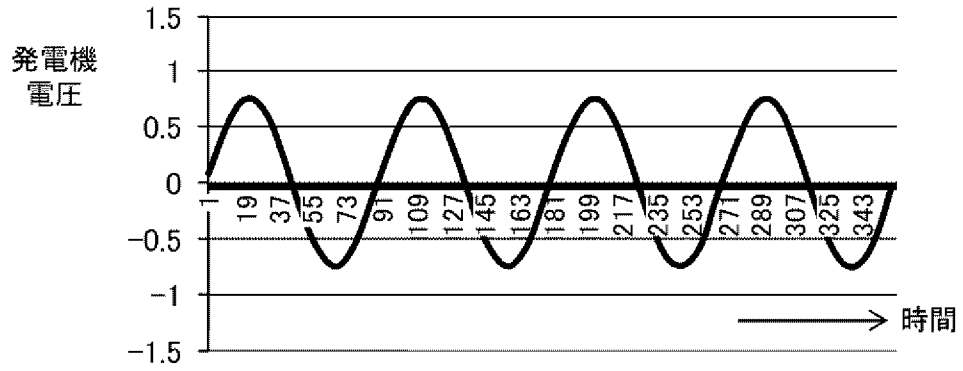
[図6]

図 6



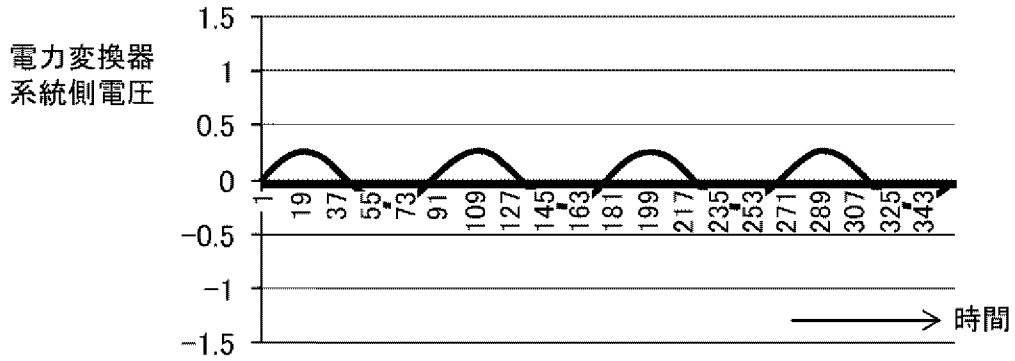
[図7]

図 7



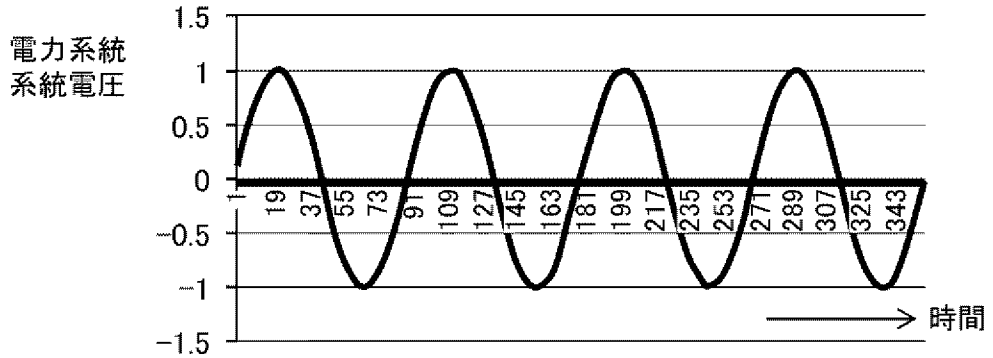
[図8]

図 8



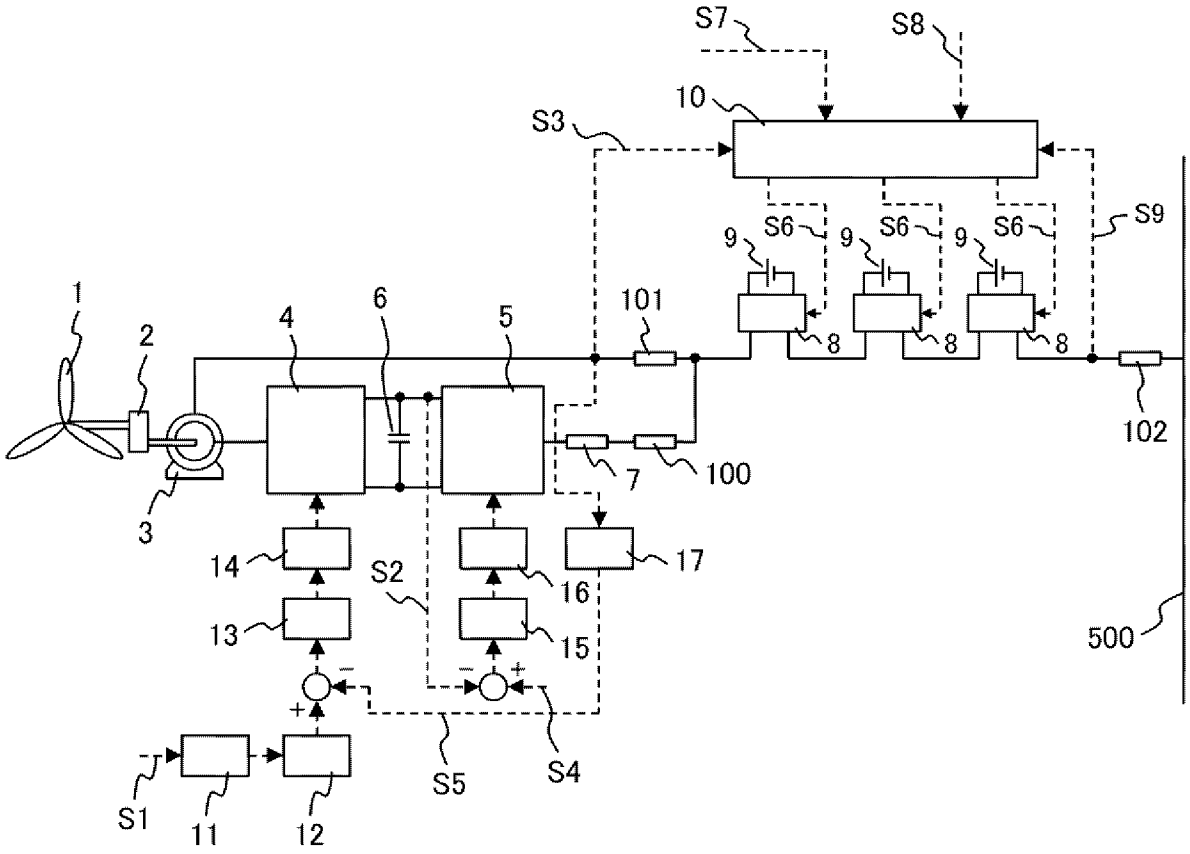
[図9]

図 9



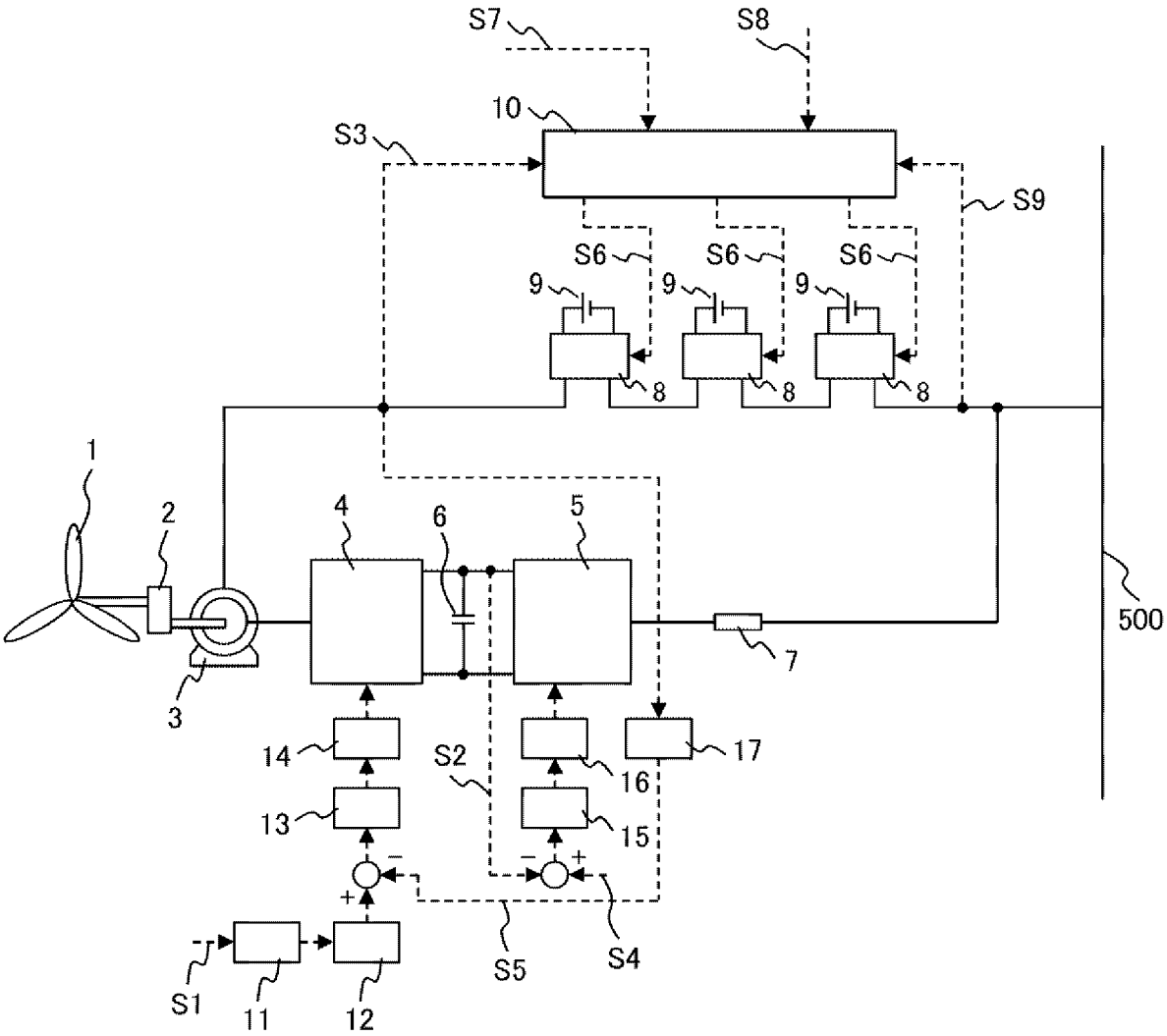
[図10]

図 10


S7
S8
10
S3
S6
S9
9
8
1
2
4
6
5
101
102
3
7
100
14
S2
16
17
13
15
500
S1
11
12
S5
S4

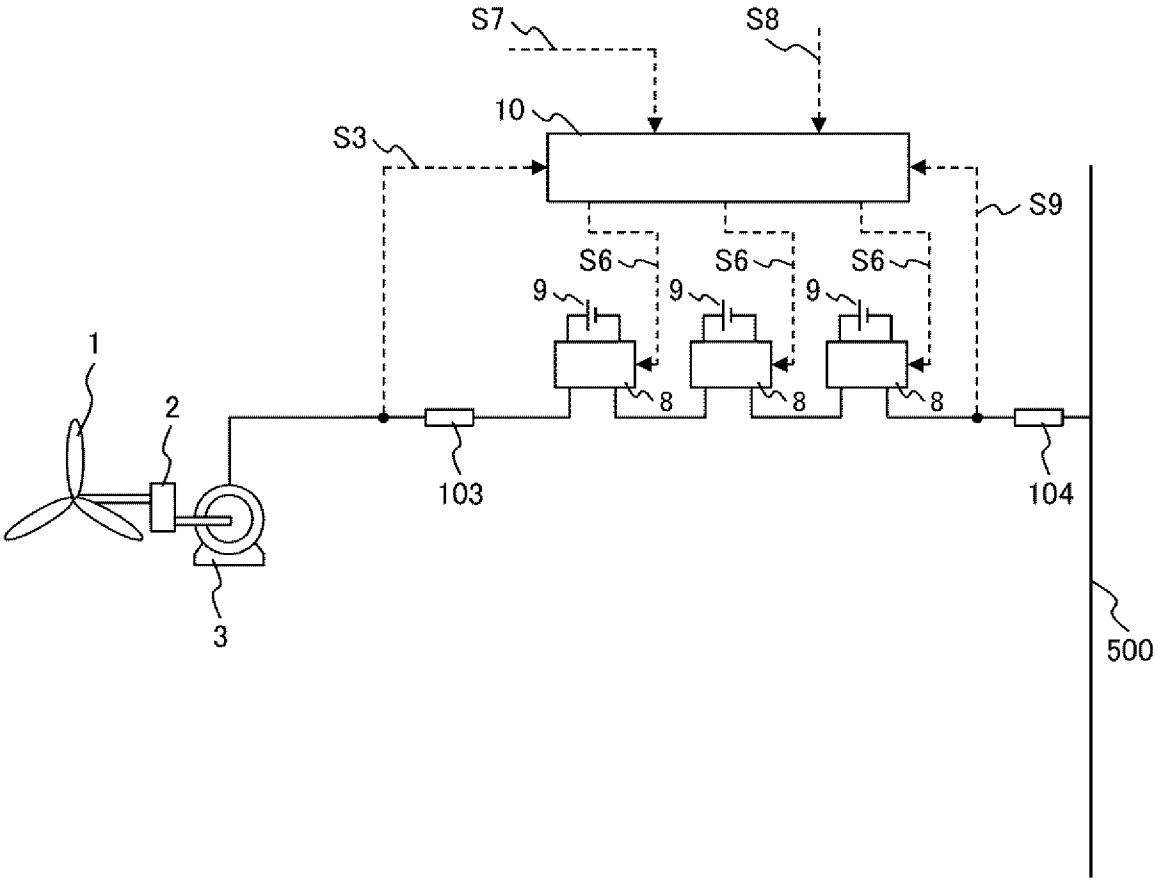
[図11]

図 11


S7
S8
10
S3
S9
S6
S6
S6
9
9
9
8
8
8
1
2
4
6
5
500
7
3
14
S2
16
17
13
15
S1
11
12
S5
S4

[図12]

図 12



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2012/078687

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
F03D9/02(2006.01)i, *H02M7/48*(2007.01)i, *H02P9/00*(2006.01)i, *H02P9/14*(2006.01)i, *H02P9/48*(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
F03D9/02, H02M7/48, H02P9/00, H02P9/14, H02P9/48

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2013 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2013

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP 2005-80414 A (Mitsubishi Electric Corp.), 24 March 2005 (24.03.2005), entire text; all drawings (Family: none)	1 2-5,7-12 6
X Y A	JP 2010-104233 A (Mitsubishi Electric Corp.), 06 May 2010 (06.05.2010), entire text; all drawings (Family: none)	1 2-5,7-12 6
Y A	WO 2012/140757 A1 (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 18 October 2012 (18.10.2012), entire text; all drawings (Family: none)	2-5,7-10 6

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
04 February, 2013 (04.02.13)	12 February, 2013 (12.02.13)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 2009)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2012/078687

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2010-71159 A (University of the Ryukyus), 02 April 2010 (02.04.2010), entire text; all drawings (Family: none)	2,11-12 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2012/078687

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

The inventions of claims 1-2 are relevant to a main invention group of the present application.

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☒ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.

☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.

☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１２／０７８６８７

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　F03D9/02(2006.01)i, H02M7/48(2007.01)i, H02P9/00(2006.01)i, H02P9/14(2006.01)i, H02P9/48(2006.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　F03D9/02, H02M7/48, H02P9/00, H02P9/14, H02P9/48

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１３年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１３年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１３年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
X Y A	JP 2005-80414 A（三菱電機株式会社）2005.03.24, 全文,全図（ファミリーなし）	1 2-5,7-12 6
X Y A	JP 2010-104233 A（三菱電機株式会社）2010.05.06, 全文,全図（ファミリーなし）	1 2-5,7-12 6

☑　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。

☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー
「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日 ０４．０２．２０１３	国際調査報告の発送日 １２．０２．２０１３
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ） 郵便番号１００－８９１５ 東京都千代田区霞が関三丁目４番３号	特許庁審査官（権限のある職員）　３Ｏ　３９２５ 佐藤　秀之 電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３３５８

Ｃ（続き）．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
Y	WO 2012/140757 A1（三菱重工業株式会社）2012.10.18, 全文,全図	2-5,7-10
A	（ファミリーなし）	6
Y	JP 2010-71159 A（国立大学法人　琉球大学）2010.04.02, 全文,全図（ファミリーなし）	2,11-12
A		6

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１２／０７８６８７

第Ⅱ欄　請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第１ページの２の続き）

法第8条第3項（ＰＣＴ17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

１．☐ 請求項 ＿＿＿＿＿＿＿＿ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。
つまり、

２．☐ 請求項 ＿＿＿＿＿＿＿＿ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、

３．☐ 請求項 ＿＿＿＿＿＿＿＿ は、従属請求の範囲であってＰＣＴ規則6.4(a)の第２文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第Ⅲ欄　発明の単一性が欠如しているときの意見（第１ページの３の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。

本願の主発明に係る発明は、請求項１－２に係る発明である。

１．☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求項について作成した。

２．☑ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求項について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。

３．☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求項のみについて作成した。

４．☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求項について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

☐ 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。

☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。

☐ 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。