(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第5244923号
(P5244923)

(45)発行日　平成25年7月24日(2013.7.24)　(24)登録日　平成25年4月12日(2013.4.12)

(51)Int.Cl.			F I		
H02P	9/00	(2006.01)	H02P	9/00	F
F03D	7/04	(2006.01)	F03D	7/04	Z
F03D	9/02	(2006.01)	F03D	9/02	B
			H02P	9/00	A

請求項の数 7　(全 16 頁)

(21)出願番号　特願2010-548965 (P2010-548965)
(86)(22)出願日　平成22年8月26日 (2010.8.26)
(86)国際出願番号　PCT/JP2010/064470
(87)国際公開番号　WO2012/026014
(87)国際公開日　平成24年3月1日 (2012.3.1)
審査請求日　平成22年12月13日 (2010.12.13)

(73)特許権者　000006208
三菱重工業株式会社
東京都港区港南二丁目１６番５号
(74)代理人　100112737
弁理士　藤田　考晴
(74)代理人　100118913
弁理士　上田　邦生
(72)発明者　八杉　明
東京都港区港南二丁目１６番５号　三菱重工業株式会社内

審査官　笹木　俊男

最終頁に続く

(54)【発明の名称】風力発電装置及び出力制御方法

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
複数枚のブレードを有する風車ロータが風を受けて回転し、該風車ロータの回転により発電機を駆動させると共に、該発電機によって発電した電力を電力系統に送電する風力発電装置であって、
前記発電機の出力の変化の傾きを導出し、導出した該傾きに基づいて、前記発電機の出力の増減を判定する判定手段と、
充放電可能な二次電池と、
前記電力系統の周波数が低下した場合であって、前記判定手段によって前記発電機の出力が減少していると判定された場合に、前記発電機の出力と前記電力系統が要求する電力との差を、前記風車ロータに蓄えられている慣性力及び前記二次電池に充電されている電力で補うように制御する制御手段と、
を備え、
前記制御手段は、前記風車ロータの回転数が多いほど、前記風車ロータに蓄えられている慣性力による出力を大きくし、前記二次電池からの出力が小さくなるように制御する風力発電装置。
【請求項２】
前記電力系統が要求する電力が前記風力発電装置の出力に対して予め定められた比率未満の場合、前記風車ロータの回転数にかかわりなく、前記二次電池のみを放電させる請求項１記載の風力発電装置。

【請求項３】
複数枚のブレードを有する風車ロータが風を受けて回転し、該風車ロータの回転により発電機を駆動させると共に、該発電機によって発電した電力を電力系統に送電する風力発電装置であって、
前記発電機の出力の変化の傾きを導出し、導出した該傾きに基づいて、前記発電機の出力の増減を判定する判定手段と、
電力系統の周波数が低下した場合、前記判定手段の判定結果に基づいて電力制御を行う制御手段と、
充放電可能な二次電池と、
前記電力系統の周波数が低下した場合であって、前記判定手段によって前記発電機の出力が増加していると判定された場合に、前記電力系統の周波数が低下したときの前記発電機の出力を記憶する記憶手段と、
を備え、
前記制御手段は、前記発電機の出力を前記記憶手段に記憶されている出力となるように制御すると共に、前記発電機の出力と前記電力系統が要求する電力との差を、前記風車ロータに蓄えられている慣性力及び前記二次電池に充電されている電力で補うように制御する風力発電装置。
【請求項４】
前記制御手段は、前記発電機の出力が前記記憶手段に記憶されている出力となるように、前記ブレードのピッチ角を制御する請求項３記載の風力発電装置。
【請求項５】
前記二次電池は、複数設けられ、
前記制御手段は、前記発電機の出力が前記記憶手段に記憶された出力となるように、前記発電機の発電した電力を、複数の前記二次電池のうち放電に寄与しない前記二次電池に充電するように制御する請求項３記載の風力発電装置。
【請求項６】
複数枚のブレードを有する風車ロータが風を受けて回転し、該風車ロータの回転により発電機を駆動させると共に、該発電機によって発電した電力を電力系統に送電する風力発電装置の出力制御方法であって、
前記発電機の出力の変化の傾きを導出し、導出した該傾きに基づいて、前記発電機の出力の増減を判定する第１工程と、
前記電力系統の周波数が低下した場合であって、前記第１工程の判定結果によって前記発電機の出力が減少していると判定された場合に、前記発電機の出力と前記電力系統が要求する電力との差を、前記風車ロータに蓄えられている慣性力及び前記風力発電装置に備えられた前記二次電池に充電されている電力の少なくとも一方で補うように制御する第２工程と、
を有し、
前記第２工程は、前記風車ロータの回転数が多いほど、前記風車ロータに蓄えられている慣性力による出力を大きくし、前記二次電池からの出力が小さくなるように制御する出力制御方法。
【請求項７】
複数枚のブレードを有する風車ロータが風を受けて回転し、該風車ロータの回転により発電機を駆動させると共に、該発電機によって発電した電力を電力系統に送電する風力発電装置の出力制御方法であって、
前記発電機の出力の変化の傾きを導出し、導出した該傾きに基づいて、前記発電機の出力の増減を判定する第１工程と、
前記電力系統の周波数が低下した場合であって、前記判定手段によって前記発電機の出力が増加していると判定された場合に、前記電力系統の周波数が低下したときの前記発電機の出力を記憶手段に記憶する第２工程と、
前記発電機の出力を前記記憶手段に記憶されている出力となるように制御すると共に、

前記発電機の出力と前記電力系統が要求する電力との差を、前記風車ロータに蓄えられている慣性力及び前記二次電池に充電されている電力で補うように制御する第３工程と、
を有する出力制御方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、風力発電装置及び出力制御方法に関するものである。
【背景技術】
【０００２】
ブレードが風力エネルギーを受けて風車ロータが回転し、風車ロータの回転により発電機を駆動して発電する風力発電装置は、出力が風速の変動によって変動するという問題があった。
この問題を解決するための技術として、特許文献１には、風車の軸に接続された発電機の可変周波数の発電電力を順変換器で直流電力に変換し、該直流電力を逆変換器で交流電力に変換し、順変換器と逆変換器の間に充放電可能な二次電池を直結し、電力系統への出力変動を抑制するように二次電池を常時充放電制御する風力発電装置が記載されている。より詳細には、特許文献１に記載されている風力発電装置は、発電機の出力の検出値から変動分を除去する高周波除去フィルタの出力値を、逆変換機の出力値とし、発電機の出力と逆変換機の出力との差分を、上記二次電池が充放電して吸収することにより、電力系統への出力の変動を抑制する。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００３】
【特許文献１】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】
【０００４】
しかしながら、特許文献１に記載の技術では、発電機の出力と高周波除去フィルタの出力値との差分を、二次電池が充放電して吸収するための電力としており、発電機から出力された電力の変動量を検知するための構成が複雑である。
【０００５】
本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであって、発電機の出力変動を簡易な構成で正確に検知することで、より効果的に電力系統の電力供給量の低下を補うことができる風力発電装置及び出力制御方法を提供することを目的とする。
【課題を解決するための手段】
【０００６】
上記課題を解決するために、本発明は、以下の手段を採用する。
本発明の第１の態様に係る風力発電装置は、複数枚のブレードを有する風車ロータが風を受けて回転し、該風車ロータの回転により発電機を駆動させると共に、該発電機によって発電した電力を電力系統に送電する風力発電装置であって、前記発電機の出力の変化の傾きを導出し、導出した該傾きに基づいて、前記発電機の出力の増減を判定する判定手段と、充放電可能な二次電池と、前記電力系統の周波数が低下した場合であって、前記判定手段によって前記発電機の出力が減少していると判定された場合に、前記発電機の出力と前記電力系統が要求する電力との差を、前記風車ロータに蓄えられている慣性力及び前記二次電池に充電されている電力で補うように制御する制御手段と、を備え、前記制御手段は、前記風車ロータの回転数が多いほど、前記風車ロータに蓄えられている慣性力による出力を大きくし、前記二次電池からの出力が小さくなるように制御する、を備える。
【０００７】
本発明によれば、判定手段によって、風車ロータの回転により発電する発電機の出力の変化の傾きが導出され、導出された該傾きに基づいて、前記発電機の出力の増減が判定さ

れる。
なお、出力の変化の傾きは、例えば、発電機の出力を所定時間間隔で複数回検出し、検出値を結ぶ直線の傾きから導出される。例えば、判定手段は、変化の傾きが、０°＜θ＜９０°の場合に発電機の出力が増加していると判定し、２７０°＜θ＜３６０°の場合に、発電機の出力が減少していると判定する。なお、出力が増加している場合とは、風速が上昇している場合であり、出力が減少している場合とは、風速が下降している場合である。
そして、制御手段によって、電力系統の周波数が低下した場合、判定手段の判定結果に基づいて電力制御が行われる。
以上のことから、本発明は、発電機の出力変動を簡易な構成で正確に検知することで、より効果的に電力系統の電力供給量の低下を補うことができる。
【０００８】
また、本発明の風力発電装置は、充放電可能な二次電池を備え、制御手段が、電力系統の周波数が低下した場合であって、判定手段によって発電機の出力が減少していると判定された場合に、発電機の出力と電力系統が要求する電力との差を、風車ロータに蓄えられている慣性力及び二次電池に充電されている電力で補うように制御する。
【０００９】
電力系統に異常（例えば、大型発電所の解列）が発生すると、電力系統の周波数が一時的に大きく低下する。そして、この周波数の低下は、周波数の変動を繰り返しながら徐々に平衡の状態に戻る。そのため、風力発電装置は、電力系統の周波数の低下、すなわち電力系統の電力供給量の低下を補うために、電流系統の周波数の変動に応じて、連系されている発電所の出力を変動させる要求が生じる。なお、上記要求が、電力系統が要求する電力である。
そこで、本発明によれば、電力系統の周波数が低下した場合であって、判定手段で発電機の出力が減少していると判定された場合、制御手段によって、発電機の出力と電力系統が要求する電力との差が、風車ロータに蓄えられている慣性力及び二次電池に充電されている電力で補われるように制御される。
このため、本発明は、電力系統の電力供給量が低下し、かつ風速が下降している場合であっても、電力系統が要求する出力を供給することができる。
また、制御手段は、風車ロータの回転数が多いほど、風車ロータに蓄えられている慣性力による出力を大きくし、二次電池からの出力が小さくなるように制御する。
さらに、本発明の風力発電装置は、電力系統が要求する電力が前記風力発電装置の出力に対して予め定められた比率未満の場合、前記風車ロータの回転数にかかわりなく、前記二次電池のみを放電させる。
【００１０】
また、本発明の第２の態様に係る風力発電装置は、充放電可能な二次電池と、前記電力系統の周波数が低下した場合であって、前記判定手段によって前記発電機の出力が増加していると判定された場合に、前記電力系統の周波数が低下したときの前記発電機の出力を記憶する記憶手段と、を備え、前記制御手段が、前記発電機の出力を前記記憶手段に記憶されている出力となるように制御すると共に、前記発電機の出力と前記電力系統が要求する電力との差を、前記風車ロータに蓄えられている慣性力及び前記二次電池に充電されている電力で補うように制御する。
前記電力系統の周波数が低下した場合に、発電機の出力が増加していると、電力系統が要求する電力を超える電力を発電機が出力する可能性がある。
そこで、本発明によれば、記憶手段によって、電力系統の周波数が低下したときの発電機の出力が記憶され、制御手段によって、発電機の出力が記憶手段に記憶された出力となるように制限される。
また、制御手段によって、発電機の出力と電力系統が要求する電力との差が、風車ロータに蓄えられている慣性力及び二次電池に充電されている電力で補われるように制御される。

このため、本発明は、電力系統の電力供給量が低下し、かつ風速が上昇している場合であっても、電力系統が要求する出力を供給することができる。

【００１１】

また、本発明の風力発電装置は、前記制御手段が、前記発電機の出力が前記記憶手段に記憶されている出力となるように、前記ブレードのピッチ角を制御してもよい。

本発明によれば、制御手段によって、前記発電機の出力が記憶手段に記憶されている出力となるようにブレードのピッチ角が制御される。

このため、本発明は、簡易に発電機の出力を減少させることができる。

【００１２】

また、本発明の風力発電装置は、前記二次電池が、複数設けられ、前記制御手段が、前記発電機の出力が前記記憶手段に記憶された出力となるように、前記発電機の発電した電力を、複数の前記二次電池のうち放電に寄与しない前記二次電池に充電するように制御してもよい。

本発明によれば、制御手段によって、発電機の出力が記憶手段に記憶された出力となるように、発電機で発電された電力が放電に寄与しない二次電池に充電される。

このため、本発明は、簡易に発電機の出力を減少させることができる。

【００１３】

一方、本発明の第３の態様に係る出力制御方法は、複数枚のブレードを有する風車ロータが風を受けて回転し、該風車ロータの回転により発電機を駆動させると共に、該発電機によって発電した電力を電力系統に送電する風力発電装置の出力制御方法であって、前記発電機の出力の変化の傾きを導出し、導出した該傾きに基づいて、前記発電機の出力の増減を判定する第１工程と、前記電力系統の周波数が低下した場合であって、前記第１工程の判定結果によって前記発電機の出力が減少していると判定された場合に、前記発電機の出力と前記電力系統が要求する電力との差を、前記風車ロータに蓄えられている慣性力及び前記風力発電装置に備えられた前記二次電池に充電されている電力の少なくとも一方で補うように制御する第２工程と、有し、前記第２工程は、前記風車ロータの回転数が多いほど、前記風車ロータに蓄えられている慣性力による出力を大きくし、前記二次電池からの出力が小さくなるように制御する。

本発明によれば、発電機の出力の変化の傾きを導出し、導出した変化の傾きに基づいて、発電機の出力の増減を判定すると共に、電力系統の周波数が低下した場合、判定結果に基づいて電力制御を行う。

このため、本発明は、発電機の出力変動を簡易な構成で正確に検知することで、より効果的に電力系統の電力供給量の低下を補うことができる。

また、本発明の第４の態様に係る出力制御方法は、複数枚のブレードを有する風車ロータが風を受けて回転し、該風車ロータの回転により発電機を駆動させると共に、該発電機によって発電した電力を電力系統に送電する風力発電装置の出力制御方法であって、前記発電機の出力の変化の傾きを導出し、導出した該傾きに基づいて、前記発電機の出力の増減を判定する第１工程と、前記電力系統の周波数が低下した場合であって、前記判定手段によって前記発電機の出力が増加していると判定された場合に、前記電力系統の周波数が低下したときの前記発電機の出力を記憶手段に記憶する第２工程と、前記発電機の出力を前記記憶手段に記憶されている出力となるように制御すると共に、前記発電機の出力と前記電力系統が要求する電力との差を、前記風車ロータに蓄えられている慣性力及び前記二次電池に充電されている電力で補うように制御する第３工程と、を有する。

【発明の効果】

【００１４】

本発明によれば、発電機の出力変動を簡易な構成で正確に検知することで、より効果的に電力系統の電力供給量の低下を補うことができる、という優れた効果を有する。

【図面の簡単な説明】

【００１５】

【図１】本発明の実施形態に係る風力発電装置の外観図である。

【図２】本発明の実施形態に係る風力発電装置の電気的構成を示すブロック図である。
【図３】本発明の実施形態に係る出力制御プログラムの処理の流れを示すフローチャートである。
【図４】本発明の実施形態に係る発電機の出力の変化の傾きの導出の説明に要するグラフである。
【図５】本発明の実施形態に係る電力系統の周波数の低下の一例を示すグラフである。
【図６】本発明の実施形態に係る電力系統の周波数の低下に応じた要求出力の一例を示すグラフである。
【図７】本発明の実施形態に係る制御部の機能を示す機能ブロック図である。
【図８】電力系統の周波数が低下すると共に、発電機の出力が減少している場合に、風車ロータに蓄えられている慣性力による補填を行った場合の風力発電装置の出力の一例であり、（Ａ）は、電力系統に異常が発生したタイミングを示す全体図、（Ｂ）は、電力系統に異常が発生したタイミングの前後を示す領域Ａの拡大図である。
【図９】本発明の実施形態に係る風力発電装置が、要求出力を満たす電力を出力するための、風車二次電池装置の出力と風車ロータに蓄えられている慣性力との比を示す模式図であり、（Ａ)は、要求出力が予め定められた閾値以上の場合であり、（Ｂ)は、要求出力が予め定められた閾値未満の場合である。
【図１０】本発明の実施形態に係る風力発電装置において、電力系統の周波数が低下すると共に、発電機の出力が減少している場合に、風車ロータに蓄えられている慣性力と風車二次電池装置による補填を行った場合の風力発電装置の出力の一例である。
【図１１】電力系統の周波数が低下すると共に、発電機の出力が増加している場合に、風車ロータに蓄えられている慣性力による補填を行った場合の風力発電装置の出力の一例であり、（Ａ）は、電力系統に異常が発生したタイミングを示す全体図、（Ｂ）は、電力系統に異常が発生したタイミングの前後を示す領域Ａの拡大図である。
【図１２】本発明の実施形態に係る風力発電装置において電力系統の周波数が低下すると共に、発電機の出力が増加している場合に、風車ロータに蓄えられている慣性力と風車二次電池装置による補填を行った場合の風力発電装置の出力の一例である。
【発明を実施するための形態】
【００１６】
以下に、本発明に係る風力発電装置の一実施形態について、図面を参照して説明する。
【００１７】
図１は、本実施形態に係る風力発電装置１０の外観図である。
風力発電装置１０は、タワー１２、タワー１２の上部に設けられたナセル１４、及び風車ロータ１６を備えている。
【００１８】
ナセル１４は、その内部に発電機２０等（図２も参照。）を備えており、風車ロータ１６と発電機２０とは機械的に連結され、風車ロータ１６の回転が発電機２０に伝達されるようになっている。また、ナセル１４は、風車ロータ１６と共に所望のヨー方向に旋回可能とされている。
風車ロータ１６は、複数枚のブレード２２及びハブ２４を備えている。複数枚のブレード２２は、各々そのピッチ角が可変制御可能とされ、ハブ２４に放射状に設けられている。
【００１９】
このように、風力発電装置１０は、ブレード２２が風力エネルギーを受けることで風車ロータ１６が回転し、風車ロータ１６の回転により発電機２０を駆動させると共に、発電機２０によって発電した電力を電力系統に送電する。
【００２０】
図２は、本実施形態に係る風力発電装置１０の電気的構成を示すブロック図である。
発電機２０には交流－直流変換部３０Ａが接続されており、交流－直流変換部３０Ａは、発電機２０から出力される交流の電力を直流に変換する。

【００２１】
また、交流－直流変換部３０Ａには直流－直流変換部３２及び直流－交流変換部３４が接続されている。
直流－直流変換部３２には、ナセル１４内に配置され充放電可能な二次電池（例えば、リチウム電池）である風車二次電池装置３６が接続されており、交流－直流変換部３０Ａで直流に変換された電圧を風車二次電池装置３６に充電可能な大きさの電圧に変換する。
【００２２】
一方、直流－交流変換部３４は、交流－直流変換部３０Ａによって直流に変換された電力を再び交流に変換する。そして、直流－交流変換部３４によって交流に変換された電力は、他の風力発電装置と電気的に接続するための変圧器３８Ａ及び本線４０を介して電力系統４２へ送電される。
【００２３】
なお、電力系統４２へ送電するための本線４０には、ナセル１４外に配置されている充放電可能な二次電池（例えば、リチウム電池）であるファーム二次電池装置４４が、変圧器３８Ｂ及び交流－直流変換部３０Ｂを介して接続されている。なお、ファーム二次電池装置４４は、風力発電装置１０毎に設けられてもよく、所定数の風力発電装置１０毎に設けられてもよい。
【００２４】
また、風力発電装置１０は、発電機２０の出力を検出する電力検出部４６を備えている。なお、電力検出部４６は、所定時間間隔毎（例えば、３秒間隔毎）に電力を検出する。
【００２５】
さらに、風力発電装置１０は、制御部４８を備えている。制御部４８は、電力検出部４６で検出された電力を示す検出値が入力されると共に、風車ロータ１６、交流－直流変換部３０Ａ、直流－直流変換部３２、直流－交流変換部３４、及び交流－直流変換部３０Ｂを制御する。
【００２６】
また、制御部４８は、磁気記憶装置又は半導体記憶装置で構成される記憶部５０を備えている。記憶部５０は、各種データの記憶及び制御部４８が実行するプログラムのワークエリアとして用いられる。
【００２７】
そして、本実施形態に係る風力発電装置１０は、発電機２０の出力の変化の傾きを導出し、該変化の傾きから発電機２０の出力の増減を判定する処理（以下、「出力変化判定処理」という。）を行う。
図３は、出力変化判定処理を行う場合に、制御部４８によって実行される出力変化判定プログラムの処理の流れを示すフローチャートであり、該出力変化判定プログラムは記憶部５０の所定領域に予め記憶されている。なお、本プログラムは、例えば、風力発電装置１０が発電を開始すると共に開始する。
【００２８】
まず、ステップ１００では、電力検出部４６から検出値が入力されるまで待ち状態となり、電力検出部４６から検出値が入力されるとステップ１０２へ移行する。
【００２９】
ステップ１０２では、電力検出部４６から入力された発電機２０の出力の検出値を記憶部５０に記憶する。
【００３０】
次のステップ１０４では、記憶部５０に記憶された検出値が発電機２０の出力の増減を判定するのに必要な所定数（本実施形態では、一例として２つ）以上記憶されているか否かを判定し、肯定判定となった場合はステップ１０６へ移行する一方、否定判定となった場合はステップ１００へ戻る。
【００３１】
ステップ１０６では、記憶部５０に記憶された所定数の検出値に基づいて、発電機２０

の出力の変化の傾きを導出する。
ここで、図４を参照して、出力の変化の傾きの導出方法について説明する。図４は、電力検出部４６で検出された電力（出力）の変化を示すグラフである。
図４に示す検出値ｎは、最新の検出値であり、検出値ｎ－１は、検出値ｎよりも一つ前に検出された検出値である。
そして、本実施形態では、検出値ｎと検出値ｎ－１を結ぶ直線Ｌの傾きθを出力の変化の傾きとして導出する。
【００３２】
なお、発電機２０の出力の増減を判定するのに必要な検出値の数は、３つ以上でもよい。この場合、３つ以上の検出値から直線の近似線を求め、該近似線の傾きを、発電機２０の出力の変化の傾きとする。
【００３３】
次のステップ１０８では、ステップ１０６で導出した傾きθに基づいて、発電機２０の出力の増減を判定する。
具体的には、傾きθが、例えば０°＜θ＜９０°の場合は、風速が上昇中であり、発電機２０の出力が増加していると判定する。一方、傾きθが、例えば２７０°＜θ＜３６０°の場合は、風速が下降中であり、発電機２０の出力が減少していると判定する。なお、傾きθが０°＜θ＜９０°及び２７０°＜θ＜３６０°の何れでもない場合は、発電機２０の出力に増減がないと判定する。
すなわち、判定結果は、出力の増加、出力の減少、及び出力の増減無しの３種類の何れかとなる。
【００３４】
次のステップ１１０では、風力発電装置１０の発電を停止する旨の指示が不図示の制御盤を介してオペレータによって入力されたか否かを判定し、肯定判定となった場合は、本プログラムを終了し、否定判定となった場合は、ステップ１００へ戻る。
【００３５】
次に、電力系統４２に異常（例えば、大型発電所の解列）が発生することによって、風力発電装置１０が接続されている電力系統４２の周波数が低下した場合について説明する。
電力系統４２に異常が発生すると、例えば、図５に示すように電力系統４２の周波数が一時的に大きく低下（０～５ｓｅｃの範囲における周波数の低下）する場合がある。そして、この周波数の低下は、周波数の微小な変動（５ｓｅｃ以降の周期が２ｓｅｃの周波数の変動）を繰り返しながら平衡状態に戻る。
【００３６】
そのため、風力発電装置１０は、電力系統４２の周波数の低下、すなわち電力系統４２の電力の低下を補うために、電力系統４２の周波数の変動に応じて、出力させる電力を変動させる要求が生じる。すなわち、この要求は、風力発電装置１０に対して、電力系統４２が要求する電力（以下、「要求出力」という。）である。
【００３７】
なお、要求出力は、下記（１）式から求められる。（１）式においてΔPは、電力系統４２の周波数の変動に応じた要求出力の変動幅であり、fは電力系統の周波数、Rは予め定められた定数である。

【数１】

$$\Delta P = \frac{100\left(1-f\right)}{R} \qquad \cdots(1)$$

図６は、図５に示す電力系統４２の周波数の低下に応じた要求出力を示すグラフである。図６に示すように、電力系統４２の周波数の変動が大きいと要求出力も大きくなり、電力系統４２の周波数の変動が小さいと要求出力も小さくなる。

【００３８】

そして、本実施形態に係る風力発電装置１０は、電力系統４２の周波数が低下した場合に、要求出力を出力するように制御部４８によって制御される。

【００３９】

図７は、要求出力の出力に関する制御部４８の機能を示すブロック図である。制御部４８は、要求出力算出部６０、出力変化判定処理部６２、及び制御指令生成部６４を備えている。

【００４０】

制御部４８は、電力系統４２の周波数が入力される。

要求出力算出部６０は、入力された電力系統４２の周波数から、上記（１）式を用いて風力発電装置１０の出力に対して増加させるべき要求出力を算出し、算出した値を出力上昇指令値として制御指令生成部６４に出力する。

出力変化判定処理部６２は、上述した出力変化判定処理を行い、発電機２０による出力の増減を判定し、判定結果を制御指令生成部６４に出力する。

制御指令生成部６４は、風車ロータ１６の回転数、要求出力算出部６０から出力された出力上昇指令値、及び出力変化判定処理部６２による判定結果に基づいて、風車ロータ１６を制御するための風車ロータ制御指令値、風車二次電池装置３６及びファーム二次電池装置４４の少なくとも一方の充放電を制御するための充放電制御指令値を生成する。

なお、風車ロータ制御指令値は、風車ロータコントローラ６６に送信され、充放電制御指令値は、風車充放電コントローラ６８及びファーム充放電コントローラ７０に送信される。

【００４１】

風車ロータコントローラ６６は、風車ロータ制御指令値に基づいて風車ロータ１６への制動力（ブレーキ）の付与又はブレード２２のピッチ角の変更を行う。

風車充放電コントローラ６８は、充放電制御指令値に基づいて風車二次電池装置３６が充放電するように直流－直流変換部３２制御する。

ファーム充放電コントローラ７０は、充放電制御指令値に基づいてファーム二次電池装置４４が充放電するように交流－直流変換部３０Ｂ制御する。

【００４２】

次に、電力系統４２の周波数が低下した場合であって、出力変化判定処理部６２によって発電機２０の出力が減少していると判定された場合について説明する。

【００４３】

電力系統４２に異常が生じたことによる電力系統４２の周波数は、上述した図５に示すように異常発生直後に大きく低下する。そして、この周波数の大きな低下に対する要求出力は、図６に示すようにそれ以降に比較して大きい。

そのため、電力系統４２の周波数の大きな低下に対しては、風車ロータ１６に制動力を

加えることで、風車ロータ１６に蓄えられている慣性力（慣性エネルギー）を用いること補填する。

【００４４】

図８は、風力発電装置１０の出力の変化を示すと共に、発電機２０の出力が減少している場合に、電力系統４２に異常が生じたタイミングの一例を示しており、図８（Ａ）の領域Ａの拡大図が図８（Ｂ）である。

そして、図８（Ｂ）に示すように、風車ロータ１６に蓄えられている慣性力による補填によって、風力発電装置１０の出力が一時的に要求出力に近くなる。しかし、その後発電機２０の出力は、風車ロータ１６に制動力が加えられたため減少する。そのため、風力発電装置１０は、要求出力を出力することができなくなる。

【００４５】

そこで、本実施形態に係る風力発電装置１０は、電力系統４２の周波数が低下すると共に、発電機２０の出力が減少している場合、慣性力による補填の不足分を風車二次電池装置３６に充電されている電力で補う。つまり、制御指令生成部６４が、風力発電装置１０が要求出力を出力するための風車ロータ制御指令値及び充放電制御指令値を生成する。

【００４６】

図９は、要求出力を満たす電力を風力発電装置１０が出力するための、風車二次電池装置３６の出力と風車ロータ１６に蓄えられている慣性力との比を示す。

図９（Ａ）は、要求出力を示す出力上昇指令値が風力発電装置１０の出力に対して予め定められた比率（例えば、３％）以上の場合における、風車二次電池装置３６及び風車ロータ１６に蓄えられている慣性力との比を示す。なお、以下の説明において、上記比率を単に閾値という。

出力上昇指令値が予め定められた閾値以上の場合、制御指令生成部６４は、図９（Ａ）に示すように風車ロータ１６の回転数が多いほど、風車ロータ１６に蓄えられている慣性力による出力が大きくなり、風車二次電池装置３６からの出力が小さくなるように、風車ロータ制御指令値及び充放電制御指令値を生成する。

【００４７】

一方、要求出力を示す出力上昇指令値が上記予め定められた閾値未満の場合、制御指令生成部６４は、図９（Ｂ）に示すように風車ロータ制御指令値を生成せずに、風車ロータ１６の回転数にかかわりなく、風車二次電池装置３６の放電によって要求出力を満たすように充放電制御指令値を生成する。これは、出力上昇指令値が閾値未満の場合は、追従させるべき出力が小さすぎ、風車ロータ１６に対する制御では該出力の追従ができないためである。

【００４８】

図１０に、風車ロータ１６に蓄えられている慣性力と風車二次電池装置３６による補填を行った場合の一例を示す。図１０に示すように、風車ロータ１６に蓄えられている慣性力と風車二次電池装置３６による補填を行った場合は、風車ロータ１６に蓄えられている慣性力を用いただけの場合に比較して、風力発電装置１０の出力と要求出力との差が小さくなる。

なお、図１０に示す例では、風車二次電池装置３６による放電だけでは要求出力を満たすことができていない。このような場合には、ファーム二次電池装置４４も放電させ、ファーム二次電池装置４４も用いた補填を行う充放電制御指令値を生成する。

【００４９】

以上説明したように、本実施形態に係る風力発電装置１０は、電力系統４２の周波数が低下した場合であって、発電機２０の出力が減少している場合に、発電機２０の出力と要求出力との差を、風車ロータ１６に蓄えられている慣性力、及び風車二次電池装置３６又はファーム二次電池装置４４に充電されている電力で補う。

なお、発電機２０の出力と要求出力との差を、風車ロータ１６に蓄えられている慣性力のみで補ってもよいし、風車二次電池装置３６又はファーム二次電池装置４４に充電されている電力のみで補ってもよい。

また、風力発電装置１０は、要求出力に応じた出力を行っている間も、出力変化判定処理部６２による発電機２０の出力の増減を判定し、判定結果に応じて制御指令生成部６４によって風車ロータ制御指令値及び充放電制御指令値を新たに生成し、出力する。

【００５０】

次に、電力系統４２の周波数が低下した場合であって、出力変化判定処理部６２によって発電機２０の出力が増加していると判定された場合について説明する。

【００５１】

図１１は、風力発電装置１０の出力の変化を示すと共に、発電機２０の出力が増加している場合に、電力系統４２に異常が生じたタイミングの一例を示しており、図１１（Ａ）の領域Ａの拡大図が図１１（Ｂ）である。

そして、図１１（Ｂ）には、電力系統４２の周波数の低下に伴い、風車ロータ１６に蓄えられている慣性力による補填を行った場合の例が示されている。

図１１（Ｂ）に示すように、風車ロータ１６に蓄えられている慣性力による補填を行うと、風力発電装置１０の出力が一時的に要求出力に相当する。しかし、発電機２０の出力が増加しているため、その後、風力発電装置１０の出力が要求出力を超えてしまう可能性がある。

【００５２】

そこで、本実施形態に係る風力発電装置１０は、電力系統４２の周波数が低下すると共に、発電機２０の出力が増加している場合、発電機２０の出力を低下させる。具体的には、制御部４８は、記憶部５０に電力系統４２の周波数が低下したとき、すなわち電力系統４２に異常が発生したときの発電機の出力（以下、「記憶出力」という。）を記憶させる。そして、制御部４８は、発電機２０の出力を記憶出力となるように制御すると共に、発電機２０の出力と要求出力との差を、風車ロータ１６に蓄えられている慣性力及び風車二次電池装置３６に充電されている電力で補うように制御する。

つまり、制御指令生成部６４が、まず、電力系統４２の異常発生直後に大きく低下する周波数に対応した、風車ロータ１６に制動力を与えるための風車ロータ制御指令値、及び風車二次電池装置３６を放電させるための充放電制御指令値を生成する。これによって、風力発電装置１０は、風車ロータ１６に蓄えられている慣性力及び風車二次電池装置３６から放電される電力の補填によって、要求出力を満たした電力を出力する。

【００５３】

その後、制御指令生成部６４は、発電機２０の出力が記憶出力に減少するようにブレード２２のピッチ角を制御するための風車ロータ制御指令値を生成する。具体的には、ブレード２２のピッチ角をフェザー側に変更させる風車ロータ制御指令値を生成することによって、ブレード２２が受ける風力を減少させ、発電機２０の出力を減少させる。

なお、図１２の一点鎖線が、発電機２０の出力を記憶出力に減少させた場合を示している。これにより、風力発電装置１０の出力が要求有効出力を超えることを抑制できる。しかし、これだけでは、電力系統４２の微小な周波数の変動には対応できないため、風力発電装置１０の出力が要求有効出力に達しない。

そのため、本実施形態に係る制御指令生成部６４は、ブレード２２のピッチ角を制御するための風車ロータ制御指令値を生成すると共に、出力上昇指令値に基づいて、風車二次電池装置３６を放電させるための充放電制御指令値を生成する。これによって、図１２の破線に示すように、風力発電装置１０は、出力を要求出力に相当させることができる。

【００５４】

以上説明したように、本実施形態に係る風力発電装置１０は、電力系統４２の周波数が低下した場合であって、発電機２０の出力が増加している場合に、発電機２０の出力を記憶部５０に記憶されている記憶出力となるように制御すると共に、発電機２０の出力と要求出力との差が、風車ロータ１６に蓄えられている慣性力及び風車二次電池装置３６に充電されている電力で補う。

このため、風力発電装置１０は、電力系統４２に生じた異常によって電力系統の周波数が低下し、かつ風速が上昇している場合であっても、電力系統４２が要求する電力を出力

することができる。

【００５５】

なお、本実施形態に係る制御指令生成部６４は、風車二次電池装置３６による放電だけでは要求出力を満たすことができない場合には、ファーム二次電池装置４４も放電させ、ファーム二次電池装置４４も用いた補填を行う充放電制御指令値を生成する。なお、風車二次電池装置３６を放電させず、ファーム二次電池装置４４のみを放電させることで、補填を行ってもよい。

【００５６】

以上、本発明を、上記実施形態を用いて説明したが、本発明の技術的範囲は上記実施形態に記載の範囲には限定されない。発明の要旨を逸脱しない範囲で上記実施形態に多様な変更または改良を加えることができ、該変更または改良を加えた形態も本発明の技術的範囲に含まれる。

【００５７】

例えば、上記実施形態では、発電機２０の出力を記憶出力とするために、ブレード２２のピッチ角を制御する場合について説明したが、本発明は、これに限定されるものではなく、発電機２０の出力を記憶出力とするために、発電機２０の発電した電力を、二次電池に充電するように制御する形態としてもよい。

具体的には、例えば、風車二次電池装置３６が複数の二次電池を備え、複数の該二次電池のうち放電に寄与しない二次電池に、発電機２０の発電した電力を充電させる。なお、放電に寄与している二次電池とは、風力発電装置１０の出力を要求出力とするために放電している二次電池である。

【００５８】

また、上記実施形態では、風車二次電池装置３６としてリチウム電池を用いる場合について説明したが、本発明は、これに限定されるものではなく、風車二次電池装置３６として電界コンデンサ等、他の蓄電手段を用いる形態としてもよい。

【００５９】

また、上記実施形態では、風車二次電池装置３６をナセル１４内に配置する場合について説明したが、本発明は、これに限定されるものではなく、風車二次電池装置３６をタワー１２内又はタワー１２下に配置する形態としてもよい。

【００６０】

また、風車二次電池装置３６を備えない他の風力発電装置に対して風車二次電池装置３６を備える風力発電装置１０が、風車二次電池装置３６に充電されている電力を送電することで、上記他の風力発電装置の出力が要求出力を満たす形態としてもよい。

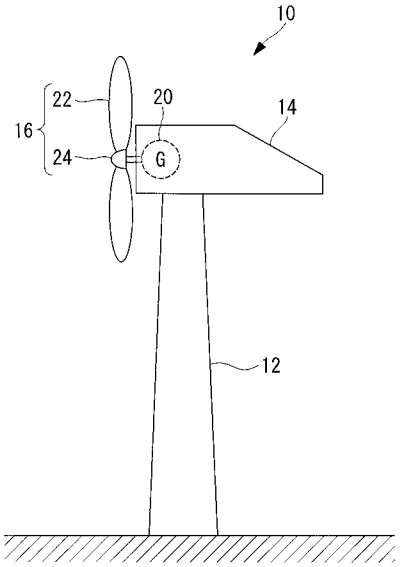
この形態の場合、風力発電装置１０は、他の風力発電装置から出力される出力の計測値を受信し、該他の風力発電装置に要求されている要求出力と受信した計測値との差に相当する電力を風車二次電池装置３６から放電する。

【符号の説明】

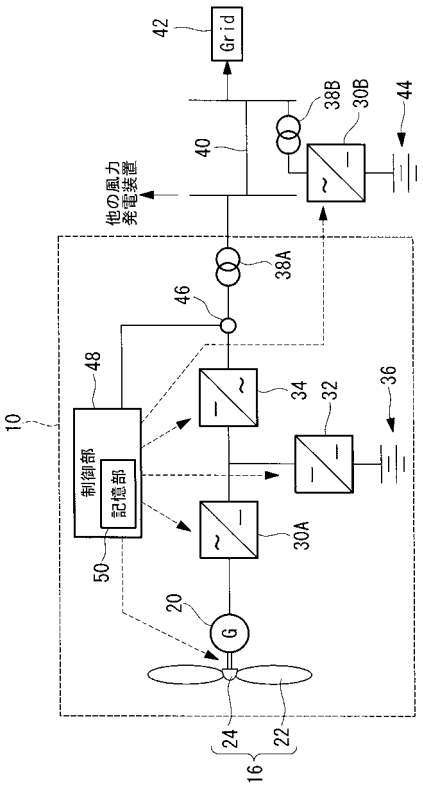
【００６１】

１０　風力発電装置
１６　風車ロータ
２０　発電機
２２　ブレード
３６　風車二次電池装置
４２　電力系統
４４　ファーム二次電池装置
４８　制御部
５０　記憶部

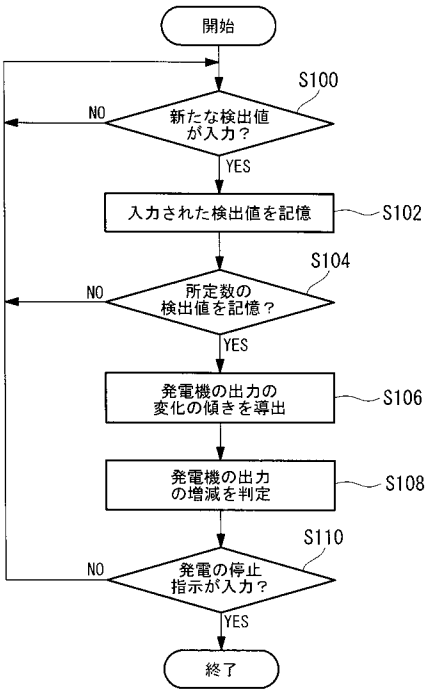
【図１】


10
22
20
14
16
24
G
12

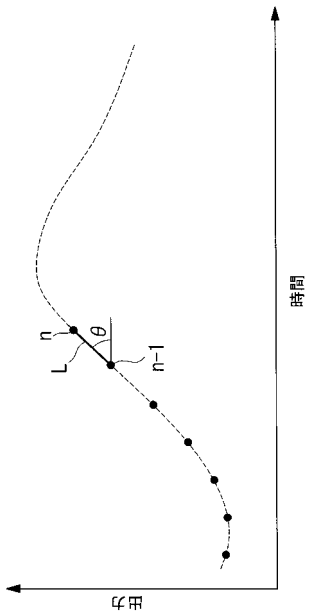
【図２】


42
Grid
38B
30B
44
40
他の風力発電装置
38A
46
48
34
32
36
10
制御部
記憶部
30A
50
20
G
24
22
16

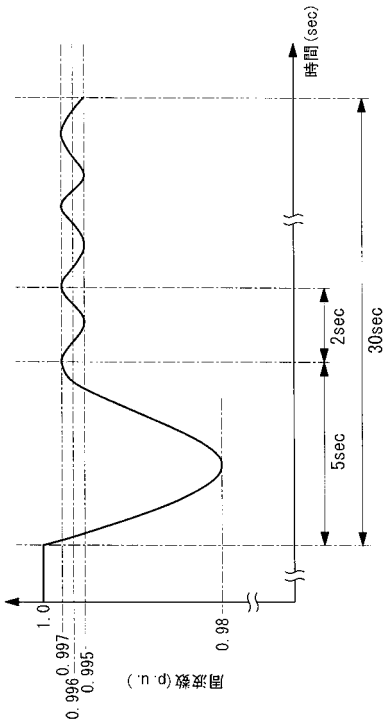
【図３】


開始
S100
新たな検出値が入力？
NO
YES
入力された検出値を記憶
S102
S104
所定数の検出値を記憶？
NO
YES
発電機の出力の変化の傾きを導出
S106
発電機の出力の増減を判定
S108
S110
発電の停止指示が入力？
NO
YES
終了

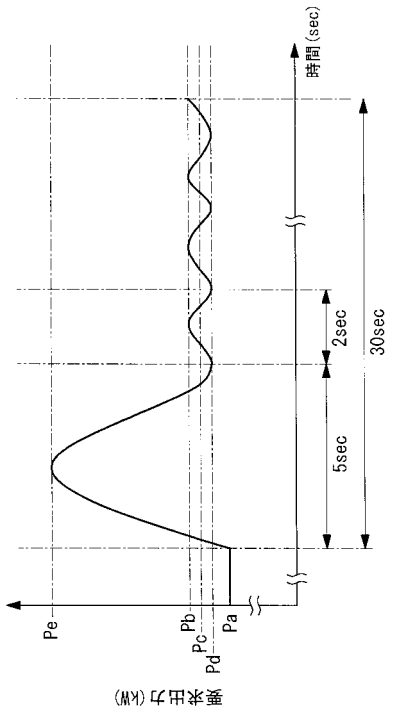
【図４】


時間
出力
n
θ
L
n-1

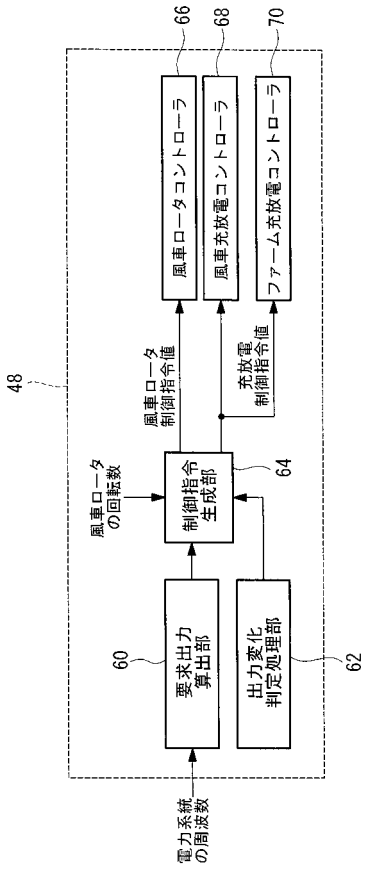
【図５】


時間(sec)
2sec
5sec
30sec
1.0
0.998
0.997
0.995
0.98
周波数(p.u.)

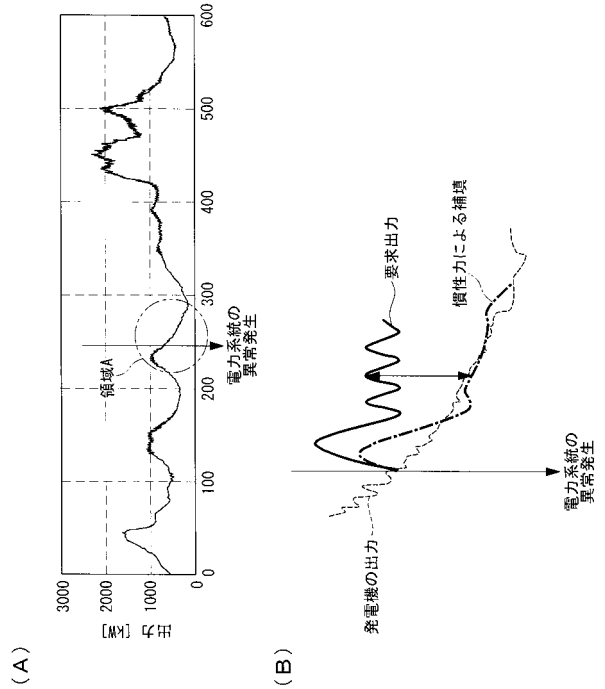
【図６】


時間(sec)
2sec
5sec
30sec
Pe
Pb
Pc
Pd
Pa
発電出力(kW)

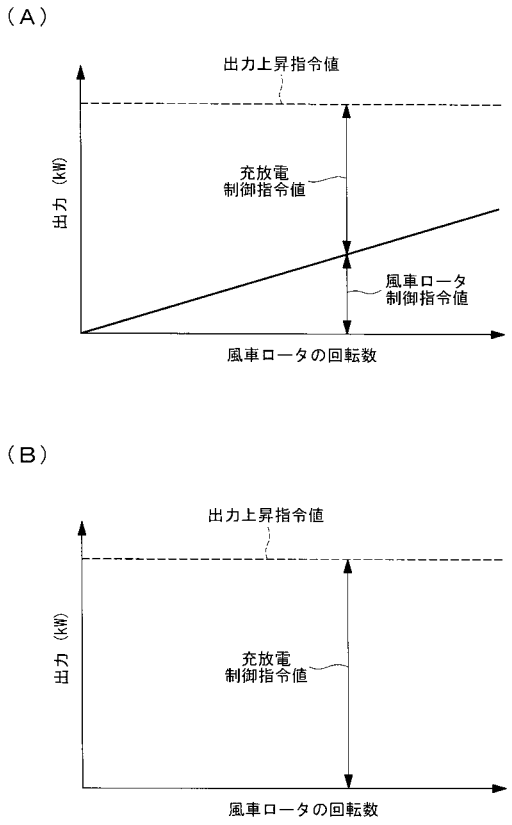
【図７】


48
66
68
70
風車ロータコントローラ
風車充放電コントローラ
ファーム充放電コントローラ
風車ロータ制御指令値
充放電制御指令値
風車ロータの回転数
制御指令生成部
64
60
要求出力算出部
出力変化判定処理部
62
電力系統の周波数

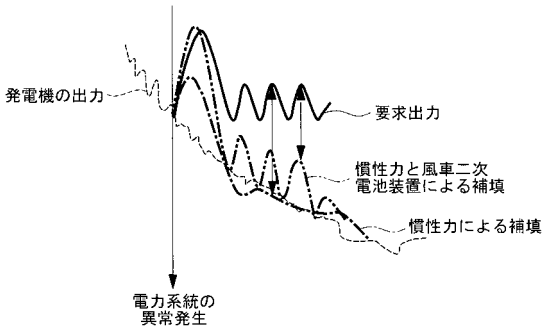
【図８】


(A)
出力[kW]
3000
2000
1000
0
100
200
300
400
500
600
領域A
電力系統の異常発生
(B)
要求出力
慣性力による補填
発電機の出力
電力系統の異常発生

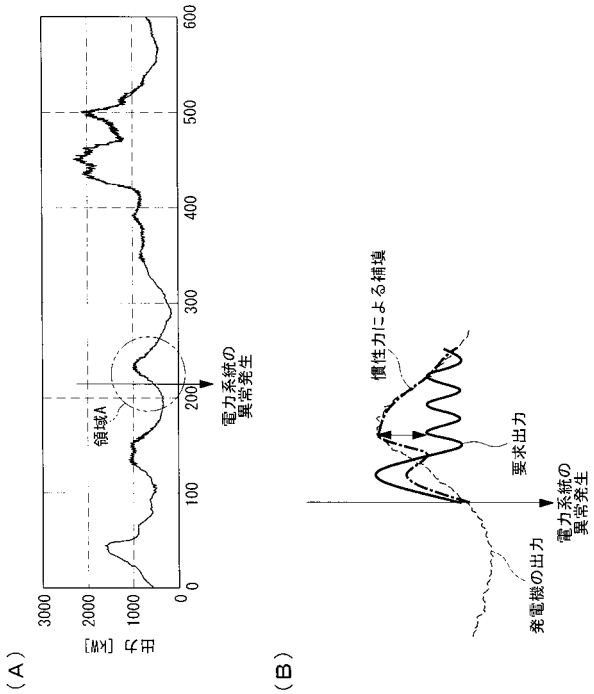
【図９】



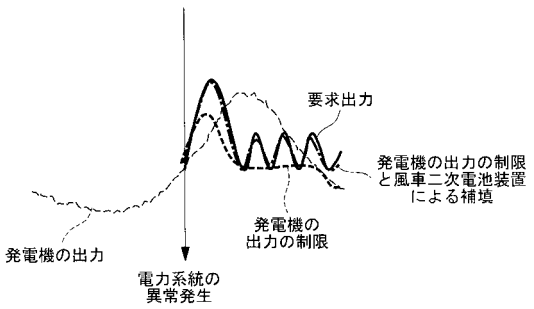
【図１０】



【図１１】



【図１２】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開２００９－３０３３５５（ＪＰ，Ａ）
国際公開第２００４／０４７２８４（WO，Ａ１）
特開２０００－１６６０９６（ＪＰ，Ａ）
特開２００９－１９７５８７（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｆ０３Ｄ　７／０４
Ｆ０３Ｄ　９／０２
Ｈ０２Ｊ　３／３２
Ｈ０２Ｐ　９／００