

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6873749号
(P6873749)

(45) 発行日 令和3年5月19日 (2021.5.19)

(24) 登録日 令和3年4月23日 (2021.4.23)

(51) Int. Cl.

F I

HO2P 9/04 (2006.01)
FO2C 6/00 (2006.01)
FO2C 9/00 (2006.01)
FO1D 15/10 (2006.01)
FO2C 7/057 (2006.01)

HO2P 9/04 F
FO2C 6/00 B
FO2C 9/00 Z
FO1D 15/10 C
FO2C 7/057

請求項の数 13 外国語出願 (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2017-43384 (P2017-43384)
(22) 出願日 平成29年3月8日 (2017.3.8)
(65) 公開番号 特開2017-175902 (P2017-175902A)
(43) 公開日 平成29年9月28日 (2017.9.28)
審査請求日 令和2年3月2日 (2020.3.2)
(31) 優先権主張番号 15/077,665
(32) 優先日 平成28年3月22日 (2016.3.22)
(33) 優先権主張国・地域又は機関
米国 (US)

(73) 特許権者 390041542
ゼネラル・エレクトリック・カンパニー
アメリカ合衆国、ニューヨーク州 123
45、スケネクタデイ、リバーロード、1
番
(74) 代理人 100105588
弁理士 小倉 博
(74) 代理人 100129779
弁理士 黒川 俊久
(74) 代理人 100113974
弁理士 田中 拓人
(72) 発明者 タブレズ・シャキール
アメリカ合衆国、テキサス州・77015
、ヒューストン、ジャッキントポート・ブ
ールバード、16415番
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 スマートグリッド同期化スキーム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

電力を電力グリッド (28) に提供するように構成された発電機 (26) のための制御システム (32) であって、当該制御システム (32) が、
前記発電機 (26) の発電機励磁電圧を制御することによって前記発電機 (26) によって提供される電力の発電機電圧を制御するように構成された自動電圧レギュレータ (42) と、
命令を記憶するメモリ (36) と
プロセッサ (34) と
を備えており、前記プロセッサ (34) が、前記命令を実行して、
前記電力グリッド (28) 上の電力の電力グリッド電圧の第1の指示を受信し、
前記電力グリッド (28) 上の電力の電力グリッド位相角の第2の指示を受信し、
前記発電機電圧の第3の指示を受信し、
前記発電機 (26) によって提供される電力の発電機位相角の第4の指示を受信し、
前記発電機電圧と前記電力グリッド電圧との電圧ギャップを決定し、前記発電機位相角と前記電力グリッド位相角との時間差を決定し、
前記電力グリッド (28) と前記発電機 (26) との間の同期化中に前記電圧ギャップに基づいて前記自動電圧レギュレータ (42) の比例利得及び積分利得を調整し、
前記電圧ギャップ及び前記時間差に少なくとも部分的に基づいて、前記発電機電圧及び前記発電機位相角をそれぞれ前記電力グリッド電圧及び前記電力グリッド位相角と同期させ

10

20

る信号を生成する
ように構成されており、
前記自動電圧レギュレータ(42)が、さらに、
調整された比例利得及び積分利得を受信し、
前記調整された比例利得及び積分利得に基づいて、前記発電機励磁電圧を制御するための
発電機励磁電圧信号を前記発電機に送信する
ように構成されている、制御システム(32)。

【請求項2】

前記自動電圧レギュレータ(42)は、前記電圧ギャップが減少するように前記発電機電圧を制御するように構成されている、請求項1に記載の制御システム(32)。

10

【請求項3】

前記プロセッサ(34)は、前記電圧ギャップのマグニチュードに基づいて前記自動電圧レギュレータ(42)の比例利得及び積分利得を調整するように構成される、請求項1に記載の制御システム(32)。

【請求項4】

前記プロセッサ(34)は、ヒューマンマシンインタフェース(HMI)(44)を介した又は前記メモリ(36)から取り出された、前記電力グリッド電圧と前記発電機電圧との間の許容される公差の閾値を取得して、前記発電機電圧及び前記発電機位相角が、前記電力グリッド電圧及び前記電力グリッド位相角と同期されるとみなされるときを制御するように構成される、請求項1乃至請求項3のいずれか1項に記載の制御システム(32)。

20

【請求項5】

前記プロセッサ(34)は、電圧検知変圧器(38)から前記第1及び第2の指示を受信するように構成される、請求項1乃至請求項3のいずれか1項に記載の制御システム(32)。

【請求項6】

前記プロセッサ(34)は、
対応するポイントにおいて前記電力グリッド電圧及び前記発電機電圧の測定サンプルを取得し、
前記サンプリングした発電機電圧から前記サンプリングした電力グリッド電圧を減算し、
前記電圧ギャップを、前記サンプリングした電力グリッド電圧と前記サンプリングした発電機電圧との差として特定する
ように構成される、請求項1乃至請求項5のいずれか1項に記載の制御システム(32)。

30

【請求項7】

前記電力グリッド(28)から前記第1及び第2の指示を受信するように構成された第1の電圧検知変圧器(38)と、
前記発電機(26)によって提供される電力の前記第3及び第4の指示を受信するように構成された第2の電圧検知変圧器(40)とを備える、請求項1乃至請求項6のいずれか1項に記載の制御システム(32)。

40

【請求項8】

前記プロセッサ(34)は、前記時間差に少なくとも部分的に基づいてタービン(12)の速度の変化を決定するように構成される、請求項1乃至請求項7のいずれか1項に記載の制御システム(32)。

【請求項9】

前記プロセッサ(34)は、二乗平均平方根電圧ギャップを前記電圧ギャップとして決定するように構成される、請求項1乃至請求項8のいずれか1項に記載の制御システム(32)。

【請求項10】

方法であって、

50

プロセッサ(34)によって、電力グリッド(28)上の電力の電力グリッド電圧を示す電力グリッド信号を受信するステップと、
前記プロセッサ(34)によって、発電機(26)によって提供される電力の発電機電圧を示す発電機信号を受信するステップと、
前記プロセッサ(34)によって、前記発電機電圧と前記電力グリッド電圧との電圧ギャップを決定するステップと、
前記プロセッサ(34)によって、前記電力グリッド(28)と前記発電機(26)との間の同期化中に前記電圧ギャップに基づいて自動電圧レギュレータ(42)の比例利得及び積分利得を調整するステップであって、前記自動電圧レギュレータ(42)が、前記発電機(26)によって提供される電力の発電機電圧を制御するように構成されている、ステップと、
前記プロセッサ(34)によって、前記電圧ギャップのマグニチュードに基づいて前記発電機(26)を上記電力グリッド(26)と同期させるための制御信号を前記自動電圧レギュレータ(42)に送信するステップであって、前記調整された比例利得及び積分利得に基づいて、前記発電機励磁電圧を制御するための発電機励磁電圧信号を前記自動電圧レギュレータ(42)から前記発電機に送信することを含む、ステップとを含む、方法。

10

【請求項11】

前記自動電圧レギュレータ(42)は、前記電圧ギャップが減少するように前記発電機電圧を制御する、請求項10に記載の方法。

20

【請求項12】

前記比例利得及び積分利得が前記電圧ギャップのマグニチュードに比例して調整される、請求項10又は請求項11に記載の方法。

【請求項13】

対応するポイントにおいて前記電力グリッド電圧及び前記発電機電圧の測定サンプルを取得するステップと、
前記サンプリングした発電機電圧から前記サンプリングした電力グリッド電圧を減算するステップと、
前記電圧ギャップを、前記サンプリングした電力グリッド電圧と前記サンプリングした発電機電圧との差として特定するステップとを含む、請求項10乃至請求項12のいずれか1項に記載の方法。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本明細書で開示される主題は、電力グリッドに関し、より詳細には、発電機と電力グリッドとの間の同期を改善することに関する。

【背景技術】

【0002】

発電機は、電力グリッドが1つ又は複数の負荷に電力供給するための電気を提供するためにしばしば使用される。発電機は、ガスタービン、蒸気タービン、又は別のプライムムーバ等のタービンの動作に基づいて或る電圧振幅、位相、及び周波数で動作する場合がある。例えば、タービンは、発電機内で回転するシャフトに回転エネルギーを提供する場合がある。シャフトは、タービンに入る空気及び燃料の量等のタービンの種々の設定に基づいて回転する場合がある。電力を電力グリッドにエクスポートするため、発電機によって生成される電力は、電力グリッド上の電力と同期するように制御され、回路ブレーカは、発電機を電力グリッドに電気結合するためクローズされる。すなわち、発電機によって提供される電圧振幅、位相、及び周波数等の発電機によって生成される電力のパラメータは、回路ブレーカをクローズする前に、電圧振幅、位相、及び周波数等のグリッドのそれぞれのパラメータの範囲内に入るように制御される場合がある。

40

【0003】

50

従来のシステムは、ブレーカの両端の電圧が検知され、生成される電圧が、電圧レギュレータにデジタルオン/オフパルスを送信することによってグリッド電圧を満たすように調整されて、発電機の電圧及び速度を調整する、同期化スキームを含む場合がある。これらのパルスは、発電機電圧に適合するために使用され、タービンの速度を増減して、位相角をグリッドに適合させる。しかし、電力グリッドの電圧及び位相角に対応するタービンの速度を見出そうとするには、かなりの時間量がかかり、同期化を遅延させる場合がある。更に、応答時間の遅延は、弱い又は動的なグリッド中に増大され、手動介入をもたらす場合があり、それは、同期化するには更なる時間がかかる場合がある。発電機電力を電力グリッドと同期させるには、増加した時間量がかかる場合があるため、グリッドは、過負荷になる又は更に不安定化し、停電をもたらす場合がある。代替的に及び/又は付加的に、タービンは、同期化中に電力を浪費し、燃料の効率的でない使用をもたらす場合がある。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】米国特許出願公開第2014/0210282号明細書

【発明の概要】

【0005】

当初特許請求される本発明と範囲が一致する或る実施形態が以下で要約される。これらの実施形態は、特許請求される本発明の範囲を制限することを意図されるのではなく、むしろ、これらの実施形態は、本発明の考えられる形態の簡潔な要約を提供することだけを意図される。実際には、本発明は、以下で述べる実施形態と同様であるか又は異なる場合がある種々の形態を包含することができる。

20

【0006】

第1の実施形態において、制御システムは、命令を記憶するメモリとプロセッサとを含み、プロセッサは、命令を実行するように構成され、また、電力グリッド電圧の第1の指示を受信し、電力グリッド位相角の第2の指示を受信し、発電機によって提供される電力の発電機電圧の第3の指示を受信し、発電機によって提供される電力の発電機位相角の第4の指示を受信し、発電機電圧と電力グリッド電圧との電圧ギャップ及び発電機位相角と電力グリッド位相角との時間差を決定し、発電機電圧及び発電機位相角が、電圧ギャップ及び時間差に少なくとも部分的に基づいて、電力グリッド電圧及び電力グリッド位相角とそれぞれ同期するようにさせる信号を生成するように構成される。

30

【0007】

第2の実施形態において、制御システムのプロセッサによって実行されるように構成される命令を含む非一時的コンピュータ可読媒体であって、構成される命令は、プロセッサが、電力グリッド上の電力の電圧位相角の指示を受信し、発電機によって提供される電力の電圧位相角の指示を受信し、発電機電圧位相角と電力グリッド電圧位相角との時間差を決定し、時間差に少なくとも部分的に基づいて発電機電圧位相角を制御する第1の信号を送信し、時間差が或る公差以内であるときに回路ブレーカをクローズし、それにより、電力グリッドを発電機に電気結合する、信号を回路ブレーカに送信するようにさせる。

40

【0008】

第3の実施形態において、方法は、プロセッサによって、電力グリッド上の電力の電力グリッド電圧を示す電力グリッド信号を受信すること、プロセッサによって、発電機によって提供される電力の発電機電圧を示す発電機信号を受信すること、プロセッサによって、発電機電圧と電力グリッド電圧との電圧ギャップを決定すること、及び、プロセッサによって、発電機電圧を制御するコントローラを調整する信号を送信することであって、それにより、発電機が電圧ギャップのマグニチュードに基づいて同期するようにさせる、送信することを含む。

【0009】

本開示のこれらのまた他の特徴、態様、及び利点は、以下の詳細な説明が添付図面を参

50

照して読まれるとよりよく理解される。図面において、同様の記号は図面全体を通して同様の部分を示す。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】発電機によって提供される電力を電力グリッド上の電力と同期させる制御システムを有する同期化システムのブロック図である。

【図2】図1の電力グリッド及び発電機から制御システムによって受信されるデータのグラフである。

【図3】発電機によって提供される電力を電力グリッド上の電力と同期させるため、図1の制御システムのプロセッサによって実施されるプロセスのフロー図である。

10

【発明を実施するための形態】

【0011】

本発明の1つ又は複数の特定の実施形態が以下で述べられる。これらの実施形態の簡潔な説明を提供しようとして、本明細書において、実際の実装形態の全ての特徴が述べられない場合がある。こうしたいかなる実際の実装形態の開発においても、いずれの工学的プロジェクト又は設計プロジェクトの場合とも同様に、実装形態ごとに異なる場合があるシステム関連制約及びビジネス関連制約の順守等の、開発者の特定の目標を達成するための多数の実装形態固有の意思決定が行われなければならないことが認識されるべきである。更に、こうした開発努力は、複雑で時間がかかるが、それでも、本開示の利益を受ける当業者にとって、設計、製作、製造の日常的な仕事であることが認識されるべきである。

20

【0012】

本発明の種々の実施形態の要素を導入するとき、冠詞「1つの(a)」、「1つの(an)」、「その(the)」、及び「前記(said)」は、その要素の1つ又は複数が存在することを意味することを意図される。「備える(comprising)」、「含む(including)」、及び「有する(having)」という用語は、包含的であることを意図され、挙げた要素以外の更なる要素が存在する場合があることを意味する。

【0013】

本開示の実施形態は、発電機からの電力を、不安定な電力グリッド上の電力に結合するブレーカをクローズするときに同期化遅延を低減するシステム及び方法に関する。慣例的に、発電機は、タービンの速度及び/又は発電機の励磁を増減させるデジタルパルスに基づいて電力グリッドと同期される場合がある。パルスに基づいて、タービン及び/又は発電機は、設定(例えば、空気及び燃料の流量)を調整して、発電機によって提供される電力の電圧マグニチュード及び位相角を、電力グリッド上の電力の電圧及び位相角の範囲内にもたらず場合がある。例えば、グリッドが不安定である場合、電力グリッドの電圧及び位相角の微小振動は、発電機によって提供される電力を電力グリッドの電力と同期させる電圧及び位相角を探索するのにかかる時間の増加をもたらず場合がある。発電機電力を電力グリッドと同期させるのに増加した時間量がかかる場合があるため、グリッドは、過負荷になる又は更に不安定化し、停電をもたらず場合がある。代替的に及び/又は付加的に、タービンは、同期化中に電力を浪費し、燃料の効率的でない使用をもたらず場合がある。

30

40

【0014】

制御システムは、発電機が電力グリッドに電気結合することを可能にする電圧及び周波数公差以内になるよう、発電機を同期化するときの遅延に対処するために使用されてもよい。制御システムは、電力グリッド上の電力の電圧及び位相角(例えば、電圧位相角)を示す、電力グリッドに結合された電力グリッド電圧検知変圧器から電力グリッド信号を受信してもよい。制御システムは、発電機によって提供される電力の電圧及び位相角(例えば、電圧位相角)を検出する、発電機から延在する電力線に結合した発電機電圧検知変圧器から発電機信号を受信してもよい。制御システムは、電力グリッド電圧と発電機電圧との電圧ギャップを計算することによって、また、電力グリッドの位相角と発電機によって

50

提供される電力の位相角との時間ギャップを計算することによって、発電機によって提供される電力の電圧及び位相角を同期化してもよい。制御システムは、その後、計算された電圧ギャップ及び時間ギャップに基づいてタービンの速度及び／又は発電機の励磁を制御する信号を自動電圧レギュレータに送信してもよい。

【0015】

前置きとして、図1は、圧縮機14、燃焼器16、及びタービン18を有するガスタービン12を含む電力同期化システム10の図である。ガスタービン12は、圧縮機14によって圧縮される空気20を受取る。圧縮空気は燃料22と混合され、空気燃料混合物は、燃焼器16内で燃焼される。空気及び燃料の燃焼混合物は、タービン18の1つ又は複数のブレードを回転させるために使用されてもよい。タービン18のロータは、シャフト24に結合されて、回転エネルギーを発電機26に提供してもよい。ガスタービン12が述べられるが、電力を生成するどんな発電システム（例えば、蒸気又は別のプライムムーバ）も、本明細書で述べる実施形態に従って使用されるのに適する場合がある。

【0016】

発電機26は、シャフト24の回転エネルギーを電気に変換して、電力を電力グリッド28に提供する。電力グリッド28及び／又は発電機26はそれぞれ、10.5キロボルト(kV)以下、11kV、又は11.5kV以上等の公称電圧で動作してもよい。発電機26は、回路ブレーカ30をクローズすることによって電力グリッド28に電氣的に結合されてもよくかつ／又は回路ブレーカ30をオープンすることによって電力グリッド28から電氣的に切離されてもよい。電力グリッド28に対する接続の安定性を保証するため、ガスタービン12及び／又は発電機26の動作特性は、回路ブレーカ30をクローズする前に、電力グリッド28の電力特性と同期されてもよい。位相の数、位相の回転、電圧窓、周波数窓、及び位相角窓等の更なる考慮事項は、同期化を可能にし、それにより、回路ブレーカ30のクローズを可能にすると考えられてもよい。更に、位相の数及び位相の回転は、機器選択時に検証されてもよい。ガスタービン12の物理的特性（例えば、回転、トルク等）に対応する、発電機26によって提供される電力の電圧振幅、位相、及び／又は周波数は、空気20及び燃料22等の、ガスタービン12への入力を調整することによって、電力グリッド28の電圧振幅、位相、及び／又は周波数に適合するように調整されてもよい。発電機26によって生成される電圧振幅、位相、及び／又は周波数が電力グリッド28の電圧振幅、位相、及び／又は周波数の許可範囲内（例えば、電圧窓内、周波数窓内、及び／又は位相窓内）にあるとき、制御システム32は回路ブレーカ30をクローズする信号を送信する。

【0017】

先に述べたように、電力グリッド28及び発電機26の電圧及び位相は、回路ブレーカ30をクローズする前に、許容可能範囲内で同期化されてもよい。発電機26によって提供される電圧特性は、発電機励磁電圧を変更することによって（例えば、発電機の磁界を制御することによって）、自動電圧レギュレータ(AVR: automatic voltage regulator)42を介して制御されてもよい。ユニット当たり(PU: per unit)1のAVR42の設定は、公称グリッド電圧から導出されてもよい。更に、電力グリッド28の位相角及び発電機26によって生成される電力の位相角は、（例えば、空気20及び燃料22を介して）ガスタービン12の速度を制御することによって同期されてもよい（例えば、適切に適合されてもよい）。幾つかのシステムにおいて、電圧及び位相角は、デジタル同期化器モジュール(DSM: digital synchronizer module)によって制御されてもよく、デジタル同期化器モジュール(DSM)は、デジタルパルス信号をプライムムーバ速度ガバナーに送信して、所望の電圧及び／又は位相角が見出されるまで発電機の電圧及び／又は位相角を増分することによって所望の電圧レベルを探し回る。例えば、DSMは、パルスを送信して、最も近い位相一致の方向にガスタービン12の速度を変更してもよい。電圧窓に関して、DSMは、パルスを送信して、発電機励磁電圧を変更してもよい。しかし、電力グリッド28が不安定であるとき（例えば、電圧変動が、安定なグリッドより大きい可能性がある場合）、

10

20

30

40

50

制御ループ内でパルスに基づいて所望の電圧窓及び位相角窓を達成することは、遅延をもたらす場合がある。更に、遅延は、パルスが不安定なグリッドの変動を反映しないため、所望の電圧及び／又は位相角に達するためオペレータ又はグリッドディスパッチャが A V R 4 2 設定に介入又は A V R 4 2 設定を変更することを伴う場合がある。

【 0 0 1 8 】

電圧及び／又は位相角を同期させるときに遅延を減少させるため、電力同期化システム 1 0 は、プロセッサ 3 4 又は複数のプロセッサ及びメモリ 3 6 を有する制御システム 3 2 を含んでもよい。プロセッサ 3 4 は、メモリ 3 6 に動作可能に結合されて、現在のところ開示される技法を実施するための命令を実行してもよい。これらの命令は、メモリ 3 6 及び／又は他のストレージ等の有形の非一時的コンピュータ可読媒体に記憶されるプログラム又はコードに符号化されてもよい。プロセッサ 3 4 は、汎用プロセッサ、システムオンチップ (S o C : s y s t e m - o n - c h i p) デバイス、特定用途向け集積回路、又は何らかの他のプロセッサ構成であってよい。

【 0 0 1 9 】

メモリ 3 6 は、任意の非一時的コンピュータ可読媒体、例えば、限定することなく、ハードディスクドライブ、ソリッドステートドライブ、ディスケット、フラッシュドライブ、コンパクトディスク (C D)、デジタルビデオディスク (D V D)、ランダムアクセスメモリ (R A M)、及び／又は、プロセッサ 3 4 が命令及び／又はデータを記憶する、取り出す、かつ／又は実行することを可能にする任意の適したデバイスを含んでもよい。メモリ 3 6 は、1 つ又は複数のローカル及び／又は遠隔記憶装置ストレージデバイスを更に含んでもよい。

【 0 0 2 0 】

制御システム 3 2 は、電力グリッド 2 8 の電力特性を検出する電力グリッド電圧検知変圧器 (V T) 3 8 及び発電機 2 6 によって提供される電力の電力特性を検出する発電機電圧検知変圧器 (V T) 4 0 によって 1 つ又は複数の信号を受信するようにプログラムされてもよい又は構成されてもよい (例えば、プロセッサ 3 4 及びメモリ 3 6 によって実施されてもよい)。例えば、プロセッサ 3 4 は、電力グリッド 2 8 及び発電機 2 6 上の電力の電圧マグニチュード、位相、及び／又は周波数をそれぞれ示す信号を、電力グリッド V T 3 8 及び発電機 V T 4 0 を介して受信してもよい。プロセッサ 3 4 は、信号エイリアシングを回避するサンプルレート (例えば、1 サイクル当たり 8 回より大きな回数) で電力グリッド V T 3 8 及び／又は発電機 V T 4 0 の電圧のサンプル値を受信してもよい。更に、安定したサンプルを保証するため、プロセッサ 3 4 は、例えば、1 サイクル、2 サイクル、5 サイクル、1 0 サイクル、又はそれより多いサイクル等のプリセット時間又はプリセット数のサイクル (すなわち、期間) の間、サンプルを受信してもよい。例えば、5 0 ヘルツで 5 サイクルは約 1 0 0 ミリ秒 (m s) にかかる場合がある。プロセッサ 3 4 は、受信サンプル値を、時間値における電圧値 (V , T) に関連する座標に変換してもよい。

【 0 0 2 1 】

制御システム 3 2 は、A V R 4 2 及びヒューマンマシンインタフェース (H M I : h u m a n m a c h i n e i n t e r f a c e) に通信可能に結合されてもよい。H M I は、ディスプレイ及び／又は他の入力及び出力を含んで、オペレータが、電圧窓の公差限界、位相角窓の位相角限界等のようなオプションノ値を選択することを可能にする。更に、H M I は、制御システム 3 2 によって受信される信号のデータの観察されることを可能にしてもよい。制御システム 3 2 は、イーサネット (登録商標)、無線接続、又は任意の他の適した方法によって通信可能に結合されもよい。

【 0 0 2 2 】

図 2 は、所定時間 5 0 にわたる 1 サイクル中の経時的な電圧の変動を示す発電機波形 5 2 及び経時的な電圧の変動を示すグリッド波形 5 4 の例のグラフ 4 8 を示す。プロセッサ 3 4 は、電力グリッド V T 3 8 を介して電力グリッド 2 8 上の電圧を、また、発電機 V T 4 0 を介して発電機 2 6 によって提供される電圧を受信してもよい。グラフ 4 8 は、制御システム 3 2、A V R 4 2、又は H M I 4 4 に関連するディスプレイ上に表示されてもよ

10

20

30

40

50

いが、グラフ 48 は、例証であることを意味され、データは、表示されることなく、プロセッサ 34 によって単に処理されてもよい。グラフ 48 に示すように、波形 52 及び 54 上に乗る各座標は、各サンプルからプロセッサ 34 によって決定されてもよく、また、発電機波形 52 及び / 又は電力グリッド波形 54 の電圧及び時間値を含んでもよい。波形の対応する値は、例えば、対応するポイント（例えば、ゼロ交差、時間、電圧等）についての電力グリッド電圧と発電機電圧との差を計算するために使用されてもよい。

【0023】

図 3 は、ブレーカがクローズされるようにガスタービンを電力グリッドと同期させるためのプロセス 56 を示す。図 3 は、図 2 のグラフ 48 に関連して以下で論じられる。以下で述べるプロセス 56 は、プロセッサ 34 によって実行される命令（例えば、実行用コード）として制御システム 32 のメモリ 36 に記憶されてもよい。ブロック 58 にて、プロセッサ 34 は、電力グリッド 28 の所望の電圧を満たすよう発電機 26 が構成されるように、AVR 42 設定点を V_{grid} になるように調整することによって始まってもよい。

【0024】

ブロック 60 及び 62 にて、プロセッサ 34 は、電力グリッド VT 38 データサンプル及び発電機 VT 40 データサンプルをそれぞれ収集してもよい。例えば、図 2 に示すように、プロセッサ 34 は、座標 64 (V_2, T_1) に対応する電力グリッド電圧を示す信号及び座標 66 (V_1, T_1) に対応する発電機電圧を示す信号を受信してもよい。ブロック 68 及び 70 にて、プロセッサ 34 は、その後、 V_{grid} サンプル及び V_{gen} サンプルをデータアレイでそれぞれ記憶してもよい。

【0025】

更に、ブロック 72 にて、プロセッサ 34 は、プリセットされた閾数のサンプルに達するまでサンプルを収集し続けてもよい。例えば、制御システム 32 が、幾つかのサイクルの間に 1 サイクル当たり幾つかの（例えば、8 つの）サンプルを測定するように構成される場合、プロセッサ 34 は、閾数（例えば、40）のサンプルが測定されるまで電力グリッド VT 38 及び発電機 VT 40 のそれぞれからサンプルを収集し続けてもよい。プロセス 56 は、ブロック 62 及び 70 と並列にブロック 60 及び 68 を示すが、幾つかの実施形態において、これらのステップは、同時にではなく順次にも実施されてもよい。例えば、ブロック 60 及び 68 は、ブロック 62 及び 70 に先行してもよい、又は、その逆も同様である。

【0026】

ブロック 72 にて、プリセット閾値に達すると、プロセッサ 34 は、その後、 V_{grid} サンプルと V_{gen} サンプルとの電圧ギャップを計算してもよい。グラフ 48 から、以下の式が導出されてもよい：

$$\text{電圧ギャップ} (V_{gap}) = V_2 - V_1 = V_{grid} - V_{gen} \quad (1)$$

ここで、 V_2 は時間 T_1 における電力グリッド電圧であり、 V_1 は時間 T_1 における発電機電圧である。更に、プリセット数のサイクルの間、サンプルは、二乗平均平方根 (RMS : root means square) の計算のために使用されてもよく、 V_{gap} の平均電力は、ブロック 74 にて計算される：

$$V_{gap} = \text{RMS} (V_{grid,i}) - \text{RMS} (V_{gen,i}) \quad (2)$$

ここで、 i はサンプル数である。

【0027】

ブロック 76 にて、プロセッサ 34 は、 V_{gen} と V_{grid} との間の許容公差である公差又はパーセンテージ閾電圧 ($Vd\%$) 値を受信してもよい。プロセス 56 が HMI 44 を介して公差値の選択を受信することを含むが、他の実施形態において、プロセッサ 34 は、単にデフォルトプリセット値（例えば、1%、3%、又は 5%）を有してもよい。更に、幾つかの実施形態において、システム構成に基づく公差をカスタマイズするためデフォルト値をオペレータが変更するとき、プロセッサ 34 は、HMI 44 を介して調整済み値を受信してもよい。

【0028】

10

20

30

40

50

ブロック 78 にて、プロセッサ 34 は、 V_{gen} 値が V_{grid} 値の公差レベルより大きいかどうかを判定してもよい。 V_{gen} が V_{grid} に対する公差値 ($V_d\%$) より大きい場合、プロセッサ 34 は、以下で論じるように、同様にタイミング公差閾値を決定する。タイミング閾値と電圧閾値の両方が満たされる (ブロック 80) 場合、ブロック 82 にて、プロセッサ 34 は、ブレーカ 30 をクローズする信号を送信してもよい。

【0029】

ブロック 183 にて、電圧閾値が満たされなかった場合、プロセッサ 34 は、 V_{gap} に基づいて発電機電圧を調整する信号を AVR 42 に送信してもよい。例えば、プロセッサ 34 は、電力グリッド 28 と発電機グリッド 26 との電圧差を AVR 42 が反映するために、イーサネット (登録商標) を介して、調整済み発電機電圧を送信してもよい。すなわち、発電機電圧を電力グリッド 28 の電圧に適合させるため探し回る又は探索するのではなく、プロセッサ 34 は、発電機 26 の電圧と電力グリッド 28 の電圧との差を決定し、それにより、同期化のために発電機 26 によって提供される電圧を調整する時間量を減少させてもよい。

【0030】

ブロック 84 にて、プロセッサ 34 は、同期化プロセス中に AVR 42 の比例 - 積分 - 微分 (PID) 利得を更新する信号を AVR 42 に送信してもよい。すなわち、制御システム 32 は、同期化プロセス中に PID 利得因子を調整することによって AVR 42 のより高速な電圧応答を可能にして、PID コントローラにおいてプリセット値を使用するよりも高速な同期化を達成してもよい。例えば、AVR 42 PID 制御の比例 (KPR) 及び積分 (KIR) 利得は、電圧ランプレートを増減するため動的に調整されることになる。AVR 42 の PID 制御因子を変更することによって、発電機 26 によって提供される電圧と電力グリッド 28 の電圧との間の誤差を減少させる反応時間は、利得因子として一定値を使用することと比較して低減される場合がある。したがって、プロセッサ 34 によって AVR 42 に送信され、発電機 26 を制御する制御信号は、プリセット利得因子を使用する AVR 42 と比較して、電力グリッド 28 との高速な同期化を可能にする場合がある。

【0031】

プロセッサ 34 は、発電機電圧に基づいて KPR 及び KIR 因子を更新し、更新済み KPR 及び KIR 因子を示す信号を AVR 42 に送信してもよい。プロセッサ 34 は、ルックアップテーブルを利用して、AVR 応答レートを調整するために使用される利得値を制御してもよい。以下のテーブル 1 は、AVR 応答レートを調整するために使用されてもよい値の例である。

【0032】

【表 1】

	公称						
	小さな差						大きな差
KPR	15	22	28	20	36	43	50
KIR	15	19	23	20	25	31	35

表1. 利得因子

AVR 42 は、その後、KPR 及び KIR 値を受信して、AVR 応答レートを調整してもよい。受信された値に基づいて、AVR 42 は、発電機の励磁を迅速に増減する信号を

発電機励磁回路に送信し、それにより、発電機 26 によって提供される電圧を制御してもよい。例えば、電力グリッド上の電圧と発電機によって提供される電圧との差が小さな差である場合、プロセッサ 34 は、PID コントローラで使用される KPR 及び KIR の低い値を送信して、グリッドの電圧と発電機の電圧との差を減少させながら、ターゲット電圧をオーバシュートする可能性を減少させてもよい。逆に、グリッド電圧と発電機電圧との差が、小さな差より大きい場合、プロセッサ 34 は、AVR によって使用される、より大きな KPR 及び KIR 値を送信して、(小さな差と比較して) 差をより積極的に減少させてもよい。すなわち、プロセッサ 34 は、AVR 42 の PID コントローラを調整する信号を送信して、電圧ギャップのマグニチュードがルックアップテーブルから選択される利得値に比例する場合、電圧ギャップのマグニチュードに基づいて発電機 26 を同期させてもよい。AVR 42 の PID 設定を調整する信号を送信することによって、プロセッサ 34 は、発電機 26 によって生成される電力が、電圧を適合させるために探索するパルス技法より高速なレートで同期することを可能にしてもよい。

10

【0033】

ブロック 85 にて、プロセッサ 34 は、電力グリッド 28 の電圧及び発電機 26 によって提供される電圧がゼロである時間(すなわち、 V_{grid} 及び $V_{gen} = 0$ である時間)に対応する座標のサンプルに基づいてゼロ交差時間を特定してもよい。例えば、図 2 に示すように、プロセッサ 34 は、電力グリッド波形 54 及び発電機波形 52 のゼロ交差時間として座標 86 (V_0, T_b) 及び座標 88 (V_0, T_a) をそれぞれ特定してもよい。更に、ブロック 90 にて、プロセッサ 34 は、位相シフトを計算してもよく、位相シフト ($T_b - T_a$) は、電力グリッドの電圧がゼロ電圧ライン (T_b) に交差するときと、発電機によって提供される電圧がゼロ電圧ライン (T_a) に交差するときとの時間差である。

20

【0034】

ブロック 92 にて、プロセッサ 34 は、電力グリッド 28 の位相と発電機 26 の位相との間の公差を示す位相角(例えば、 ϕ)の選択を受信してもよい。幾つかの実施形態において、その値は HMI 44 を介してユーザから入力されるものとしてプリセットされてもよい。ブロック 94 にて、プロセッサ 34 は、以下の式を使用して位相角を時間閾値 (T_d) に変換してもよい:

【0035】

【数 1】

30

$$T_d = \frac{360}{\phi * F} \quad (3)$$

ここで、 ϕ は受信される位相角(度単位)であり、F はシャフト 24 の周波数である。

【0036】

その後、プロセッサ 34 は、発電機の時間 T_{gen} を時間閾値 T_d と比較してもよい。 T_{gen} が閾値 T_d 以上であり(ブロック 96)、 V_{gen} が $V_d\%$ より大きい(ブロック 80)場合、プロセッサ 34 は、ブロック 82 にてブレーカクローズを実施する信号を送信してもよい。 T_{gen} が T_d 以上でなくかつ $V_d\%$ 以上でない場合、プロセッサは、以下で論じるように発電機速度を調整してもよい。

40

【0037】

ブロック 98 にて、プロセッサ 34 は、RPM 速度の所望の変化 ($dSpeed$) を計算してもよい。以下で述べるように、位相シフトを補償するため、タービン速度は、計算された RPM に基づいて増減されてもよい。

【0038】

【数 2】

$$RPM = \frac{120 * F}{\# \text{ of Poles}} \quad (4)$$

ここで、RPMは、発電機26内のシャフト24の1分当たりの回転数である。式(4)から、発電機26が2極発電機26である場合、以下の式が導出される場合がある：

【0039】

10

【数 3】

$$RPM = \frac{120}{T * 2} \quad (5)$$

ここで、Tは時間周期(1/F)である。したがって、RPM速度の所望の変化は、以下の式によって決定されてもよい：

【0040】

20

【数 4】

$$RPM = \frac{120}{(T_b - T_a) * 2} \quad (6)$$

ブロック100にて、制御システム32は、その後、目下の発電機RPM速度(NSDR Ref)及びRPM速度の所望の変化に基づいて発電機RPM速度を調整する信号をガスタービン12に送信してもよい。例えば、制御システム32は、調整済み発電機RPM速度設定を速度ガバナーに送信して、発電機26の位相角と電力グリッド28の電圧の位相角との差を反映してもよい。すなわち、発電機位相を電力グリッド28の位相に適合させるため探し回る又は探索する代わりに、プロセッサ34は、発電機26の位相角と電力グリッド28の位相角との差を決定してもよい。その後、プロセッサ34は、調整済み発電機RPM設定を示す信号を速度ガバナーに送信して、同期化のためにタービン速度を調整する時間量を減少させ、それにより、ブレーカ30をクローズする時間を減少させてもよい。

30

【0041】

本発明の技術的効果は、発電機によって提供される電力を電力グリッド上の電力に同期させるため発電機及びガスタービンを制御する信号を自動電圧レギュレータ(AVR)及び速度ガバナーに送信することを含む。幾つかの実施形態において、制御システムは、電力グリッド及び発電機から電圧及び位相角を受信する。或る実施形態において、制御システムは、発電機電圧と電力グリッド電圧との電圧ギャップ及び発電機位相角と電力グリッド位相角との時間差を決定する。幾つかの実施形態において、制御システムは、電圧ギャップ及び時間差に基づいて、発電機電圧及び発電機によって提供される電力の発電機位相角を調節する信号を送信してもよい。AVRに信号を送信することによって、ガスタービンの速度は電力グリッドと同期するように制御される。

40

【0042】

この書面による説明は、最良モードを含む本発明を開示するために、また同様に、任意のデバイス又はシステムを作り使用すること、及び、組込まれる任意の方法を実施するこ

50

とを含む、本発明を当業者が実施することを可能にするために例を使用する。本発明の特許可能な範囲は、特許請求の範囲によって規定され、当業者が思い付く他の例を含んでもよい。こうした他の例は、特許請求の範囲の逐語的言語と異ならない構造的要素を有する場合、又は、特許請求の範囲の逐語的言語と非実質的相違を有する等価な構造的要素を含む場合、特許請求の範囲内にあることを意図される。

【 0 0 4 3 】

最後に、代表的な実施態様を以下に示す。

[実施態様 1]

制御システム (3 2) であって、

命令を記憶するメモリ (3 6) と

プロセッサ (3 4) とを備え、前記プロセッサ (3 4) は、前記命令を実行するように構成され、また、

電力グリッド (2 8) 電圧の第 1 の指示を受信し、

電力グリッド (2 8) 位相角の第 2 の指示を受信し、

発電機 (2 6) によって提供される電力の発電機 (2 6) 電圧の第 3 の指示を受信し、

発電機 (2 6) によって提供される電力の発電機 (2 6) 位相角の第 4 の指示を受信し、

前記発電機 (2 6) 電圧と前記電力グリッド (2 8) 電圧との電圧ギャップを決定し、前記発電機 (2 6) 位相角と前記電力グリッド (2 8) 位相角との時間差を決定し、

前記発電機 (2 6) 電圧及び前記発電機 (2 6) 位相角が、前記電圧ギャップ及び前記時間差に少なくとも部分的に基づいて、前記電力グリッド (2 8) 電圧及び前記電力グリッド (2 8) 位相角とそれぞれ同期するようにさせる信号を生成する

ように構成される、制御システム (3 2) 。

[実施態様 2]

前記プロセッサ (3 4) は、前記電圧ギャップが減少するように前記発電機 (2 6) 電圧を制御する電圧レギュレータ (4 2) に前記信号を送信するように構成される、実施態様 1 に記載の制御システム (3 2) 。

[実施態様 3]

前記プロセッサ (3 4) は、前記電力グリッド (2 8) と前記発電機 (2 6) との間の同期化中に、コントローラ (4 2) の比例、積分、又は微分 (P I D) 利得因子のうちの少なくとも 1 つを調整するため前記信号を送信するように構成される、実施態様 1 に記載の制御システム (3 2) 。

[実施態様 4]

前記プロセッサ (3 4) は、前記電圧ギャップのマグニチュードに基づいて前記 P I D 利得因子の少なくとも 1 つを調整するように構成される、実施態様 3 に記載の制御システム (3 2) 。

[実施態様 5]

前記プロセッサ (3 4) は、ヒューマンマシンインタフェース (H M I) (4 4) を介した又は前記メモリ (3 6) から取り出された、前記電力グリッド (2 8) 電圧と前記発電機 (2 6) 電圧との間の許容される公差の閾値を取得して、前記発電機 (2 6) 電圧及び前記発電機 (2 6) 位相角が、前記電力グリッド (2 8) 電圧及び前記電力グリッド (2 8) 位相角と同期されると見なされるときを制御するように構成される、実施態様 1 に記載の制御システム (3 2) 。

[実施態様 6]

前記プロセッサ (3 4) は、電圧検知変圧器 (3 8) から前記第 1 及び第 2 の指示を受信するように構成される、実施態様 1 に記載の制御システム (3 2) 。

[実施態様 7]

前記プロセッサ (3 4) は、

対応するポイントにおいて前記電力グリッド (2 8) 電圧及び前記発電機 (2 6) 電圧

10

20

30

40

50

の測定済みサンプルを取得し、

前記サンプリング済み発電機(26)電圧から前記サンプリング済み電力グリッド(28)電圧を減算し、

前記電圧ギャップを、前記サンプリング済み電力グリッド(28)電圧と前記サンプリング済み発電機(26)電圧との前記差として特定する

ように構成される、実施態様1に記載の制御システム(32)。

[実施態様8]

前記電力グリッド(28)から前記第1及び第2の指示を受信する第1の電圧検知変圧器(38)と、

前記発電機(26)によって提供される電力の前記第3及び第4の指示を受信する第2の電圧検知変圧器(40)とを備える、実施態様1に記載の制御システム(32)。

[実施態様9]

前記プロセッサ(34)は、前記時間差に少なくとも部分的に基づいてタービン(12)の速度の変化を決定するように構成される、実施態様1に記載の制御システム(32)。

。

[実施態様10]

前記プロセッサ(34)は、二乗平均平方根電圧ギャップを前記電圧ギャップとして決定するように構成される、実施態様1に記載の制御システム(32)。

[実施態様11]

制御システム(32)のプロセッサ(34)によって実行されるように構成される命令を含む非一時的コンピュータ可読媒体であって、前記命令は、前記プロセッサ(34)が

、

電力グリッド(28)上の電力の電力グリッド(28)位相角の第1の指示を受信し、発電機(26)によって提供される電力の発電機(26)位相角の第2の指示を受信し

、

前記発電機(26)位相角と前記電力グリッド(28)位相角との時間差を決定し、

前記時間差に少なくとも部分的に基づいて前記発電機(26)位相角を制御する第1の信号を送信し、

前記時間差が或る公差以内であるときに回路ブレーカをクローズし、それにより、前記電力グリッド(28)を前記発電機(26)に電気結合する、第2の信号を前記回路ブレーカに送信する

ようにさせるように構成される命令を含む、非一時的コンピュータ可読媒体。

[実施態様12]

前記プロセッサ(34)が、前記発電機(26)速度を制御する電圧レギュレータに前記発電機(26)位相角を制御する前記第1の信号を送信するようにさせるように構成される命令を含み、前記発電機(26)速度は、前記目下の発電機(26)速度及び前記時間差に少なくとも部分的に基づいて制御される、実施態様11に記載の非一時的コンピュータ可読媒体。

[実施態様13]

或る定数を前記時間差で割った値に基づいて、前記目下の発電機(26)速度を更新速度に調整することによって、前記プロセッサ(34)が、前記発電機(26)速度を調整するようにさせるように構成される命令を含む、実施態様11に記載の非一時的コンピュータ可読媒体。

[実施態様14]

前記発電機(26)電圧がゼロ電圧ラインを交差するときを、前記電力グリッド(28)電圧がゼロ電圧ラインを交差するときと比較することによって、前記プロセッサ(34)が、前記時間差を決定するようにさせるように構成される命令を含む、実施態様11に記載の非一時的コンピュータ可読媒体。

[実施態様15]

前記発電機(26)位相角が前記電力グリッド(28)位相角と同期されると見なされ

るときまで、ヒューマンマシンインタフェース（HMI）（44）を介した又は前記プロセッサ（34）に動作可能に結合された前記メモリ（36）から取り出された、前記電力グリッド（28）位相角と前記発電機（26）位相角との間の許容される公差の選択閾値を、前記プロセッサ（34）が取得するようにさせるように構成される命令を含む、実施態様11に記載の非一時的コンピュータ可読媒体。

〔実施態様16〕

方法であって、

プロセッサ（34）によって、電力グリッド（28）上の電力の電力グリッド（28）電圧を示す電力グリッド（28）信号を受信すること、

前記プロセッサ（34）によって、発電機（26）によって提供される電力の発電機（26）電圧を示す発電機（26）信号を受信すること、

前記プロセッサ（34）によって、前記発電機（26）電圧と前記電力グリッド（28）電圧との電圧ギャップを決定すること、及び、

前記プロセッサ（34）によって、前記発電機（26）電圧を制御するコントローラ（42）を調整する制御信号を送信することであって、それにより、前記発電機（26）が前記電圧ギャップのマグニチュードに基づいて同期するようにさせる、送信することを含む、方法。

〔実施態様17〕

前記電圧ギャップが減少するように、発電機（26）励磁によって、前記発電機（26）電圧を制御する電圧レギュレータに前記制御信号を送信することを含む、実施態様16に記載の方法。

〔実施態様18〕

前記制御信号に基づいて、前記電力グリッド（28）と前記発電機（26）との間の同期化中に、前記コントローラ（42）の比例、積分、又は微分（PID）利得因子のうちの少なくとも1つを調整することを含む、実施態様16に記載の方法。

〔実施態様19〕

前記電圧ギャップのマグニチュードに比例して前記PID利得因子を調整することを含む、実施態様18に記載の方法。

〔実施態様20〕

対応するポイントにおいて前記電力グリッド（28）電圧及び前記発電機（26）電圧の測定サンプルを取得すること、

前記サンプリング済み発電機（26）電圧から前記サンプリング済み電力グリッド（28）電圧を減算すること、及び、

前記電圧ギャップを、前記サンプリング済み電力グリッド（28）電圧と前記サンプリング済み発電機（26）電圧との前記差として特定することを含む、実施態様16に記載の方法。

【符号の説明】

【0044】

- 10 電力同期化システム
- 12 ガスタービン
- 14 圧縮機
- 16 燃焼器
- 18 タービン
- 20 空気
- 22 燃料
- 24 シャフト
- 26 発電機
- 28 電力グリッド
- 30 回路ブレーカ
- 32 制御システム

10

20

30

40

50

- 3 4 プロセッサ
- 3 6 メモリ
- 3 8 電力グリッド電圧検知変圧器（第 1 の電圧検知変圧器）
- 4 0 発電機電圧検知変圧器（第 2 の電圧検知変圧器）
- 4 2 電圧レギュレータ（コントローラ）
- 4 4 ヒューマンマシンインタフェース
- 4 8 グラフ
- 5 0 所定時間
- 5 2 発電機波形
- 5 4 電力グリッド波形
- 5 6 プロセス

10

【図 1】

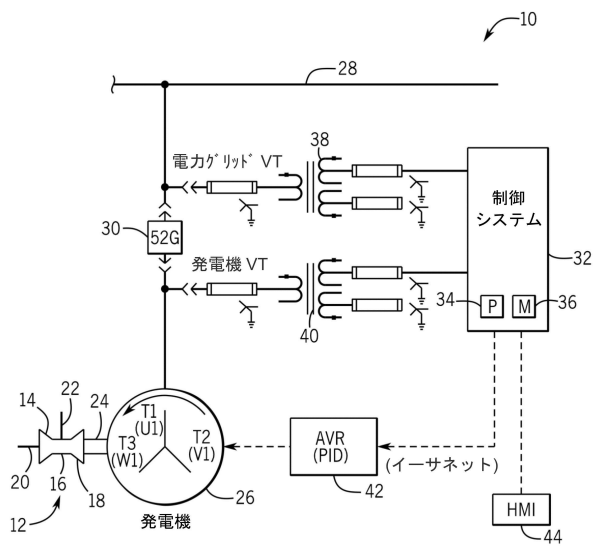


FIG. 1

【図 2】

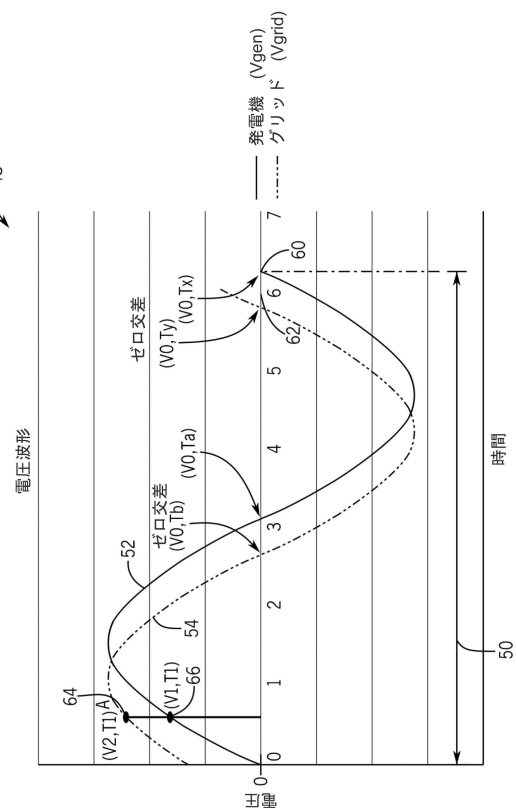
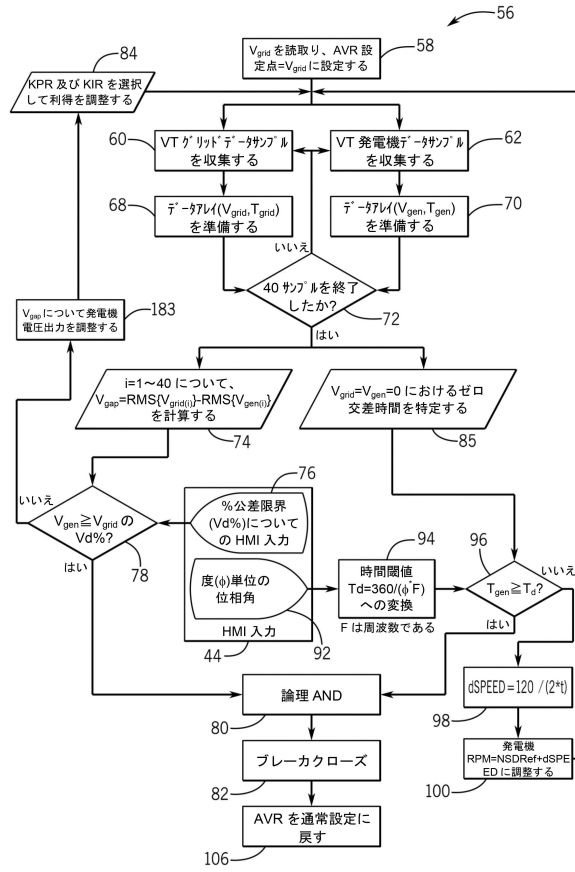


FIG. 2

【図 3】



フロントページの続き

- (72)発明者 ランドール・ジョン・クリーン
アメリカ合衆国、テキサス州・ 7 7 0 1 5、ヒューストン、ジャッキントポート・ブルバード、
1 6 4 1 5 番
- (72)発明者 ムハンマド・ラヒム
アメリカ合衆国、テキサス州・ 7 7 0 1 5、ヒューストン、ジャッキントポート・ブルバード、
1 6 4 1 5 番

審査官 池田 貴俊

- (56)参考文献 特開 2 0 0 3 - 2 8 4 2 4 6 (J P , A)
特開平 0 4 - 1 9 3 1 0 0 (J P , A)
特開昭 6 4 - 0 8 1 7 0 0 (J P , A)
国際公開第 2 0 1 2 / 1 0 1 3 1 8 (W O , A 1)
韓国公開特許第 1 0 - 2 0 0 9 - 0 0 8 7 7 5 5 (K R , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H 0 2 P	9 / 0 4
F 0 1 D	1 5 / 1 0
F 0 2 C	6 / 0 0
F 0 2 C	7 / 0 5 7
F 0 2 C	9 / 0 0