

EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU,
ID, IL, IN, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN,
KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, 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, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST,
SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,
UZ, VC, VN, WS, 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, SC, SD, SL, ST, 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, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約: 分散電源統合管理装置 (101) は、同期発電機の動作特性を静止型電源に模擬的に実装した仮想同期発電機制御機能によって出力電圧が制御される分散電源 (102) が複数台接続された電力系統の運用状態を管理する。受信部 (301) は、各分散電源 (102) の運転状態に関する情報 (311) を受信する。動作決定部 (303) は、受信部 (301) が取得した情報 (311) に基づいて、複数台の分散電源 (102) の動作パターンを決定する。制御パラメータ決定部 (304) は、決定された動作パターンにおいて、複数台の分散電源 (102) による仮想同期発電機制御の相互干渉を回避して電力系統が安定的に動作できる様な仮想同期発電機制御の制御パラメータ値を決定する。

明 細 書

発明の名称：分散電源統合管理装置及び電力システム

技術分野

[0001] 本開示は、分散電源統合管理装置及び電力システムに関する。

背景技術

[0002] 脱炭素化の要求から、再生可能エネルギーを用いた分散電源の電力系統への導入が加速している。これらの分散電源は、回転運動を伴わない静止型電力変換装置を用いて系統に接続される。このため、従来、電力系統の主電源の役割を担ってきた同期発電機等の回転機電源に比べて、回転運動の慣性に由来して得られる系統電圧維持効果（所謂、慣性力）を有さないことが特徴である。従って、静止型電力変換装置を用いる電源（以下、「静止型電源」とも称する）の比率が増大するに伴って、電力系統の安定性の低下が懸念されている。

[0003] この対策として、静止型電源に回転機電源と同等の動特性を模擬した制御を実装することで、静止型電源にも慣性力を付与する、仮想同期発電機制御技術が提案されている。例えば、特許6084863号公報（特許文献1）には、仮想同期発電機制御の具体的な制御方法が説明されている。特に、特許文献1では、系統周波数検知のためのPLL（Phase Locked Loop）回路を用いずに、系統電圧又は系統周波数の変動に対して運転を継続可能な電力変換装置が記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特許6084863号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 特許文献1の様な仮想同期発電機制御技術の導入により、静止型電源でも電力系統の安定性に寄与することが可能となる。この結果、安定性に対する

懸念を払拭して静止型電源の導入比率を高めることで、脱炭素化に貢献することが期待される。

[0006] しかしながら、電力系統、又は、自立して動作するマイクログリッドにおいて、仮想同期発電機制御を備えた静止型電源が複数台接続されて同時に動作する場合には、制御パラパラメータの値によっては、異なる分散電源の制御系が相互に干渉することで、発散的な動作が誘発される虞がある。この結果、上述の電力系統又はマイクログリッドにおいて、不安定現象が生じることが懸念される。

[0007] このため、複数台の分散電源が共存する系では、個々の分散電源が各々の都合で制御パラメータを決定、又は、変更した場合に、系統全体として整合が取れず、上述の不安定現象に陥って、安定した電力供給が行えなくなることが懸念される。

[0008] 本開示は、このような問題点を解決するためになされたものであって、本開示の目的は、電力系統に接続された複数台の分散電源の間での制御の相互干渉による不安定現象の発生を回避した安定した電力供給を実行するための、分散電源統合管理装置を提供することである。

課題を解決するための手段

[0009] 本開示のある局面では、分散電源統合管理装置が提供される。分散電源統合管理装置は、同期発電機の動作特性を静止型電源に模擬的に実装した仮想同期発電機制御によって出力電圧が制御される分散電源が複数台接続された電力系統の運用状態を管理する。分散電源統合管理装置は、受信部と、動作決定部と、制御パラメータ決定部と、送信部とを備える。受信部は、複数台の分散電源の運転状態に関する情報を受信する。動作決定部は、受信部が取得した情報に基づいて、複数台の分散電源の動作パターンを決定する。制御パラメータ決定部は、動作決定部によって決定された動作パターンにおいて、複数台の分散電源による仮想同期発電機制御の相互干渉を回避して電力系統が安定的に動作できる様な、複数台の分散電源のそれぞれにおける仮想同期発電機制御の制御パラメータ値を決定する。送信部は、複数台の分散電源

のそれぞれに対して、動作決定部によって決定された動作パターンに従う動作指令、及び、制御パラメータ値決定部によって決定された制御パラメータ値を送信する。

[0010] 本開示の他のある局面では、電力システムが開示される。電力システムは、電力系統と、上述の分散電源統合管理装置と、分散電源統合管理装置と複数台の分散電源との間に形成される通信経路とを備える。電力系統には、同期発電機の動作特性を静止型電源に模擬的に実装した仮想同期発電機制御によって出力電圧が制御される分散電源が複数台接続される。

発明の効果

[0011] 本開示によれば、電力系統に接続された複数台の分散電源の間での制御の相互干渉による不安定現象の発生を回避して、電力系統への安定した電力供給を実行することができる。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]実施の形態1に係る分散電源統合管理装置によって管理される電力システムの概略構成を説明するブロック図である。

[図2]分散電源の構成例を説明するブロック図である。

[図3]各分散電源に適用される仮想同期発電機制御の制御構成例を説明するブロック図である。

[図4]実施の形態1に係る分散電源統合管理装置の内部構成を説明するブロック図である。

[図5]仮想同期発電機制御を備えた比較例に係る分散電源が複数台の電力系統に接続されている電力システムの一例を示すブロック図である。

[図6]図5に示された電源システムにおける各分散電源の出力の第1のシミュレーション波形図である。

[図7]図5に示された電源システムにおける各分散電源の出力の第2のシミュレーション波形図である。

[図8]状態方程式を導入するための分散電源の出力電力特性の線形近似を説明する概念図である。

[図9]状態方程式の係数行列Aのサイズを説明する概念図である。

[図10]実施の形態1に係る分散電源統合管理装置による制御パラメータ値の決定処理手順の一例を説明するフローチャートである。

[図11]実施の形態2に係る分散電源統合管理装置で用いられる伝達関数を含む電力系統の制御伝達特性を示すブロック図の一例である。

[図12]一巡伝達関数のゲイン余裕及び位相余裕を説明する概念図である。

[図13]実施の形態3に係る分散電源統合管理装置の内部構成を説明するブロック図である。

[図14]実施の形態4に係る分散電源統合管理装置の内部構成を説明するブロック図である。

発明を実施するための形態

[0013] 以下に、本開示の実施の形態について、図面を参照して詳細に説明する。

なお、以下では、図中の同一又は相当部分には同一符号を付して、その説明は原則的に繰返さないものとする。

[0014] 実施の形態1.

図1は、実施の形態1に係る分散電源統合管理装置101によって管理される、複数の分散電源を含む電力システム10の概略構成を説明するブロック図である。

[0015] 図1に示される様に、電力システム10は、分散電源統合管理装置101と、複数台の分散電源102a～102fと、分散電源統合管理装置101及び各分散電源102a～102fの間に形成される通信経路109と、複数台の分散電源102a～102fが接続される電力系統104とを備える。

[0016] 電力系統104は、図示しない電源及び需要家、並びに、電源及び需要家を電氣的に接続する配線（図示せず）を含むネットワーク網である。当該ネットワークの規模は、一般送配電事業者が管理する管轄エリア全体でもよく、特定の市町村規模において独立的に運用される自立マイクログリッドでもよく、特定の建造物の内部の配電網でもよい。尚、電力系統104は、三

相交流及び単相交流のいずれを用いたシステムであってもよい。

[0017] 分散電源 102a～102f は、電力系統 104 に接続される分散電源のうち、後述する仮想同期発電機制御によって出力電圧が制御され、かつ、分散電源統合管理装置 101 によって管理される分散電源を示す。以下では、分散電源 102a～102f を包括的に表記する場合には、単に、分散電源 102 とも称する。分散電源 102 は、太陽光発電システム、風力発電システム、又は、蓄電池システム等によって構成することができる。

[0018] 図 2 には、分散電源 102 の構成例を説明するブロック図が示される。

図 2 を参照して、分散電源 102 は、制御装置 103 と、電源 105 と、電力変換装置 106 とを備える。

[0019] 電源 105 は、太陽電池、風力発電機等の発電要素、又は、バッテリー、キャパシタ等の蓄電要素によって構成することができる。電力変換装置 106 は、電源 105 からの電力を電力系統 104 と関係するための交流電力に変換する「静止型電源」である。即ち、電力変換装置 106 は、半導体スイッチング素子（図示せず）のオンオフ制御によって電力変換を実行する主回路 107 と、主回路 107 内の半導体スイッチング素子のオンオフ制御信号を生成するスイッチング制御回路 108 とを有する。

[0020] 制御装置 103 は、図 1 に示された分散電源統合管理装置 101 からの情報に従って、電力変換装置 106 の動作指令を生成する。後述するように、本実施の形態では、制御装置 103 は、分散電源統合管理装置 101 からの制御パラメータ値を用いた仮想同期発電機制御によって分散電源 102 の出力電圧を制御する。即ち、制御装置 103 において、主回路 107 での電力変換を制御するための動作指令は、当該仮想同期発電機制御に従って生成される。制御装置 103 は、例えば、図示しない、CPU (Central Processing Unit) 等のプロセッサ及びメモリ等を含むマイクロコンピュータによって構成することができる。

[0021] スwitching 制御回路 108 は、制御装置 103 からの動作指令に従って主回路 107 での電力変換が実行される様に、主回路 107 内の半導体スィ

ッチング素子のオンオフを制御する。

[0022] 尚、分散電源 102 は、発電装置又は蓄電装置を内蔵する構成に限定されるものではなく、図 2 に点線で例示される様に、他の直流系統等の電源からの電力を交流電力に変換する様に構成されてもよい。

[0023] 再び図 1 を参照して、電力システム 10 において、分散電源 102 の台数 N (N : 自然数) は、2 以上の任意の数である。図 1 では、 $N = 6$ の例が示されるが、 $N > 6$ 、又は、 $2 \leq N < 6$ であってもよいことは言うまでもない。

[0024] 分散電源統合管理装置 101 と、各分散電源 102 の間には、通信経路 109 が形成される。通信経路 109 は、有線接続及び無線接続のいずれによって形成することも可能である。分散電源統合管理装置 101 は、通信経路 109 を介して、分散電源 102 a ~ 102 f の各々と間で、情報の送受信を行うとともに、分散電源 102 a ~ 102 f の各運転状態を管理する。

[0025] 次に、分散電源に適用される仮想同期発電機制御について説明する。

図 3 は、各分散電源 102 に適用される仮想同期発電機制御の制御構成例を説明するブロック図である。上述の様に、仮想同期発電機制御は、静止型電源（主回路 107）に、回転機電源と同等の動作特性を模擬的に持たせるための制御である。

[0026] 例えば、図 3 に示された分散電源制御部 200 の機能は、制御装置 103 を構成するマイクロコンピュータが予め格納されたプログラムを実行するソフトウェア処理によって実現することができる。或いは、図 3 中の各ブロックの少なくとも一部の機能については、ハードウェア回路によって実現することも可能である。

[0027] 図 3 を参照して、分散電源制御部 200 は、仮想同期発電機制御部 201 と、動作指令値生成部 202 とを含む。例えば、動作指令値生成部 202 は、仮想同期発電機制御部 201 の演算結果に沿って、当該分散電源 102 から出力される交流電圧の周波数 f 及び位相 θ を算出する。そして、図 2 に示したスイッチング制御回路 108 は、算出された周波数 f 及び位相 θ に従う

交流電圧を主回路 107 が出力する様に、主回路 107 を構成する半導体スイッチング素子のオンオフを制御する。

[0028] まず、仮想同期発電機制御によって模擬される、通常の回転機電源が持つ動作特性について説明する。一般的に、回転機電源は、その回転子に対して外部から入力される機械的入力エネルギー P_m と、系統へ出力する電氣的出力エネルギー P_e とに応じて、回転子の回転速度が、式 (1) に示される動揺方程式に基づいて変動する特性を有する。

[0029] [数1]

$$P_m - P_e = M \frac{d}{dt} \omega - D(\omega_0 - \omega) \quad (1)$$

[0030] 式 (1) 中において、 ω は、回転子の回転速度、 ω_0 は回転子の定格回転速度、 M は回転子の慣性定数、 D は回転子の制動係数を示す。式 (1) より、機械的入力エネルギー P_m と、電氣的出力エネルギー P_e が等しいときに ($P_m = P_e$)、回転子の回転速度 ω は一定に維持されることが理解される。これに対して、 $P_m > P_e$ の場合には、回転子は加速し、 $P_e > P_m$ の場合には回転子は減速する。尚、回転子の回転速度 ω は、回転機電源が出力する交流電圧の周波数 f と定数倍の関係にある (例えば、 $\omega = 2\pi \cdot f$)。

[0031] 続いて、この特性に由来して回転機電源が持つ利点について説明する。回転機電源に限らず、電力系統に接続される電源の出力電圧の位相と、電力系統側の電圧位相との位相差 δ を用いると、電氣的出力エネルギー P_e は、式 (2) で示すことができる。

[0032] [数2]

$$P_e = P_0 \sin \delta \quad (2)$$

[0033] 式 (2) において、 P_0 は、発電機の内部インピーダンス及び電圧振幅に依存して決定される正の定数である。一般的には、位相差 δ は、 $0 < \delta < 90$ [deg] の範囲で運用され、この範囲内では P_e 及び位相差 δ の間には正の相関関係がある。

[0034] 式 (1) 及び (2) の特性の両方を有することで、以下の様な利点が得ら

れる。

例えば、回転機電源が $P_m = P_e$ かつ、一定回転速度 ω で定常運転している状態から、外乱等の影響で急に位相差 δ が増加した場合、 P_e が式 (2) に従って増加する。これにより、 $P_m < P_e$ となることから、式 (1) に従って回転子が減速する。この結果、位相差 δ は徐々に減少するので、回転機電源は、元の定常運転状態に復帰できる。反対に、上記定常運転状態から位相差 δ が急に減少した場合には、式 (2) に従って P_e が減少するので、 $P_m > P_e$ となることから、式 (1) に従って回転子が加速する。この結果、位相差 δ は増加に減少して、回転機電源は、元の定常運転状態に復帰できる。

[0035] この様に、回転機電源は、式 (1) に示す特性を有する持つことに由来して、安定な運転状態に自己復帰できる利点がある。また、同様の原理で、異なる回転機電源が複数台並列運転した際にも、回転機電源間で発生する横流を解消して、回転速度及び電圧位相を同期できる利点がある。

[0036] これに対して、静止型電源は、上述の式 (1) に示す特性を具備しないため、上述の様な、位相差 δ の変動を補償して定常運転状態へ自己復帰する利点を得ることはできない。このため、式 (1) に相当する補償特性を模擬的に持たせるために、仮想同期発電機制御が導入される。

[0037] 図 3 に示される様に、仮想同期発電機制御部 201 は、減算器 211 ~ 213 と、積分器 203 と、フィードバックパス 204 と、ガバナ制御部 205 とを有する。

[0038] 減算器 211 は、分散電源 102 (電力変換装置 106) から出力される有効電力の指令値 (以下、出力有効電力指令値 P_{ref}) から出力有効電力測定値 P_{out} を減算して、有効電力偏差 ΔP_{out} を算出する。有効電力偏差 ΔP_{out} は、式 (1) 中の慣性定数 M の逆数 ($1/M$) を積分定数とする積分器 203 を通過するとともに、積分器 203 の出力値に式 (1) 中の制動係数 D を乗算するフィードバックパス 204 を通過して、減算器 213 に負帰還される。

[0039] 更に、積分器 203b の出力値は、ゲイン K 及び時定数 T の一次遅れ要素 ($K / (1 + T \cdot s)$) を有するガバナ制御部 205 によって、減算器 212 に負帰還される。

[0040] 積分器 203 及びフィードバックパス 204 による演算処理は、式 (1) に示した回転機の動揺方程式の演算に相当する。更に、ガバナ制御部 205 は、回転機電源に備えられる調速機に相当する特性を付加するためのフィードバックパスである。仮想同期発電機制御部 201 は、有効電力偏差 ΔP_{out} に対してこれらの制御演算を実行することで、分散電源 102 (電力変換装置 106) からの出力電圧の周波数変化量 Δf を算出する。

[0041] 動作指令値生成部 202 は、加算器 214 と、乗算器 206 と、積分器 208 とを有する。加算器 214 は、上記出力電圧の基準周波数 f_n と、仮想同期発電機制御部 201 によって算出された周波数変化量 Δf とを加算して、出力電圧の周波数指令値 f を算出する。乗算器 206 は、加算器 214 から出力された周波数指令値 f に 2π を乗算して、回転速度に相当する角周波数 ω を算出する。積分器 208 は、乗算器 206 から出力された角周波数 ω を積分して、出力電圧の位相指令値 θ を算出する。

[0042] 分散電源 102 は、図 2 の構成において、電力変換装置 106 の出力電圧 (交流電圧) の周波数及び位相が、上述の周波数指令値 f 及び位相指令値 θ と等しくなる様に制御される。これにより、仮想同期発電機制御が適用された分散電源 102 は、回転機電源と同等の動作特性を得て、安定運転状態に自己復帰する能力、及び、異なる電源との間の横流を解消して、周波数及び位相の同期を取る能力を得ることができる。

[0043] 図 3 に例示された構成においては、積分器 203 に含まれる慣性定数 M 、フィードバックパス 204 に含まれる制動係数 D 、並びに、ガバナ制御部 205 の一次遅れ要素に含まれるゲイン K 及び時定数 T が、設計者又は管理者によって変更可能な制御パラメータである。これらの制御パラメータ値を変更することで、仮想同期発電機制御の動作特性を変化させることができる。

[0044] 図 4 は、分散電源統合管理装置 101 の内部構成例を説明するブロック図

である。

図4を参照して、分散電源統合管理装置101は、受信部301と、演算部302と、記憶部305と、送信部306とを含む。分散電源統合管理装置101は、受信部301及び送信部306を用いて、電力系統104に接続される各分散電源102との間の通信経路109（図1）を形成する。

[0045] 受信部301は、各分散電源102から送信された分散電源情報311を受信する。例えば、分散電源情報311には、当該分散電源102の過去及び現在の運転状態に関する情報と、当該分散電源102が備える制御の構成又は制御に係る定数の情報が含まれる。

[0046] 受信部301は、受信した分散電源情報を、分散電源情報312として演算部302に受け渡す。尚、受信部301は、受信した分散電源情報311に対して、演算部302における演算に使用可能な形に加工する前処理を加えて、分散電源情報312を生成することができる。

[0047] 例えば、受信部301による前処理は、通信プロトコルに従って送信された信号を、演算部302が処理可能な信号形態に変換する処理、受信した時系列信号から特定の周波数帯域を除去または抽出するフィルタリング処理、及び、分散電源の出力電圧及び出力電流の情報に基づいて有効電力を計算する処理等を含むことができる。尚、実施の形態1では、受信部301が受信した分散電源情報311には、少なくとも、各分散電源102の現在の出力電圧の振幅及び位相、並びに、出力有効電力の情報が含まれるものとする。

[0048] 記憶部305は、分散電源統合管理装置101の管理対象の分散電源102及び電力系統104についての構成及び接続状態に関する情報を予め記憶する。更に、記憶部305は、演算部302における処理に際して必要となる情報319を演算部302に適宜受け渡す。又、記憶部305は、演算部302からの情報318に基づき、記憶情報の更新、追加、又は、削除を行ってもよい。

[0049] 実施の形態1では、記憶部305が記憶する情報は、少なくとも、各分散電源102の接続位置、及び、分散電源102間を接続する電氣的経路のイ

ンピーダンスに係る情報を含む。例えば、インピーダンスに係る情報は、当該経路のリラクタンスを含む。尚、記憶部 305 は、分散電源統合管理装置 101 の構成要素される構成に限定されず、無線通信又は有線通信を介して分散電源統合管理装置 101 と接続される様に構成されてもよい。例えば、インターネット上のクラウドを用いて、記憶部 305 を構成することも可能である。

[0050] 演算部 302 は、例えば、図 2 の制御装置 103 と同様に、図示しない CPU 及びメモリを含むマイクロコンピュータによって構成することが可能である。演算部 302 は、受信部 301 からの分散電源情報 311 と、記憶部 305 から受け取る情報 319 とに基づき、予め格納されたプログラムの実行等によって、各分散電源 102 の管理のための後述する諸機能を実現することができる。

[0051] 特に、本実施の形態では、演算部 302 は、複数台の分散電源 102 が各々備える仮想同期発電機制御について、電力系統 104 を介した相互干渉を考慮した上で、管理対象とする電力系統 104 の動作安定性が確保される様に各分散電源 102 での制御内容、例えば、制御系の構成、及び、制御パラメータ値を決定する。但し、以下では、説明を簡略化するための、制御系の構成は図 3 の例示に固定されるものとして説明を進める。即ち、演算部 302 は、複数台の分散電源 102 が接続された系（電力系統 104）の動作安定性を確保するために、図 3 に例示された仮想同期発電機制御に用いられる制御パラメータ（制動係数 D 、慣性定数 M 、一次遅れ系の時定数 T 及びゲイン K 等）の値を適切に設定する。

[0052] 以下、系の動作安定性を確保するための管理手法について詳細に説明する。

まず、図 5～図 7 を用いて、仮想同期発電機制御を備えた分散電源が電力系統 104 に複数台共存する場合の課題について説明する。図 5 は、管理対象の電力系統に、仮想同期発電機制御を備えた、3 台の比較例に係る分散電源 102 (1)～102 (3) が共存している電力システムの構成例を説明

するブロック図である。

[0053] 比較例に係る3台の分散電源102(1)～102(3)は、共通母線407を介して相互に接続される。分散電源102(1)～102(3)の各々は、図2に示した仮想同期発電機制御を備えるものとする。分散電源102(1)～分散電源102(3)と、共通母線407との間には、配線距離に応じたリアクタンス404～406がそれぞれ存在する。以下では、リアクタンス404～406のそれぞれのリアクタンス値を $X_1 \sim X_3$ と表記する。又、管理対象以外の電源及び需要家408も、共通母線407に接続されている。

[0054] 図6は、図5に示された電力システムにおける各分散電源102(1)～102(3)の出力の第1のシミュレーション波形図である。図6には、各分散電源の出力が安定に収束する場合のシミュレーション波形が示される。

[0055] 図6のシミュレーションでは、分散電源102(1)～102(3)の各々について、仮想同期発電機制御のパラメータは、 $M=8$ 、 $D=100$ 、 $K=20$ 、 $T=0.1$ とした。更に、リアクタンス値 $X_1 \sim X_3$ は、分散電源の定格を基準とする%インピーダンスで、 $X_1=10(\%)$ 、 $X_2=20(\%)$ 、 $X_3=40(\%)$ としている。

[0056] 図6には、分散電源102(1)～102(3)の出力有効電力 $P_{out1} \sim P_{out3}$ 、及び、出力電圧の周波数 $f_1 \sim f_3$ のシミュレーション結果が示される。

[0057] 図6に示される様に、外乱によって出力有効電力 $P_{out1} \sim P_{out3}$ 及び周波数 $f_1 \sim f_3$ が、一旦変動しても、その後、仮想同期発電機制御による自己復帰効果により一定値に収束しており、分散電源102(1)～102(3)は、安定動作していることが理解される。

[0058] これに対して、図7には、制御パラメータ値が不適であったために、各分散電源の出力が不安定となる発散的な動作の場合のシミュレーション波形が示される。

[0059] 図7のシミュレーションでは、分散電源102(1)～102(3)の各

々について、仮想同期発電機制御のパラメータは、 $M=8$ 、 $D=20$ 、 $K=20$ 、 $T=0.1$ とした。又、リアクタンス値 $X_1 \sim X_3$ は、 $X_1=10$ （％）、 $X_2=20$ （％）、 $X_3=40$ （％）としている。即ち、図6のシミュレーションと比較すると、図7のシミュレーションでは、各分散電源102（1）～102（3）での仮想同期発電機制御における制動係数 D の値が小さく設定されている。その他のシミュレーション条件は、図6及び図7で同一である。

[0060] 図7に示される様に、 $P_{out1}+P_{out2}+P_{out3}$ 及び $f_1 \sim f_3$ が一定である下で、外乱の影響により分散電源102（1）～102（3）の間で往復的に横流が発生することにより、出力有効電力 $P_{out1} \sim P_{out3}$ 及び周波数 $f_1 \sim f_3$ は、発散的に振動が拡大する様に推移している。このような状況では、分散電源102（1）～102（3）の各々は、それぞれの出力可能限界を逸脱することで、自動停止に至ることが一般的である。

[0061] 図6及び図7に見られる様に、複数台の分散電源の制御パラメータの設定に依存して、電力系統全体の動作の安定性が異なることが理解される。即ち、各分散電源における仮想同期発電機制御の制御パラメータ値を適切に設定しなければ、電力系統を安定に維持することができない虞がある。

[0062] 更に、図7に示すような不安定現象は、複数台の分散電源間の相互の干渉によって発生するため、制御パラメータ値の設定は、個々の分散電源に対してそれぞれ完結した設計を実施すればよいものではなく、相互の干渉を含めて考慮する必要がある。又、動作を安定化させるために制御パラメータに求められる値の設定範囲は、分散電源及び電力系統に接続された他の電源や需要家408の状態によっても変わり得る。

[0063] この様な仮想同期発電機制御を備えた分散電源が電力系統104に複数台共存する場合の課題に対処するために、実施の形態1に係る分散電源統合管理装置101の演算部302での処理内容について詳細に説明する。

[0064] 再び図4を参照して、演算部302は、各分散電源102の動作決定部303と、制御パラメータ決定部304とを含む。動作決定部303は、各分

分散電源 102 の現在の出力有効電力（図 3 の P_{out} ）の情報等に基づいて、需要家に電力を供給する上で必要十分な分散電源の運転台数を決定する。更に、動作決定部 303 は、当該決定に基づき、各分散電源 102 の運転／停止指令を生成するとともに、運転指令が生成される分散電源 102 に対して出力有効電力の指令値（図 3 の P_{ref} ）を決定する。尚、電力系統 104 から充電される分散電源 102 では、出力有効電力指令値 P_{ref} は負値（ $P_{ref} < 0$ ）に設定される。又、運転指令が生成される分散電源 102 において、出力有効電力指令値 $P_{ref} = 0$ に設定されるケースも存在する。

[0065] 以下では、電力系統 104 に接続された複数台の分散電源 102 の運転／停止状態の組み合わせ（運転パターン）の各々を、運転状態の分散電源 102 の出力有効電力指令値 P_{ref} の組み合わせで細分化した各パターンを、動作パターンとも称する。即ち、動作決定部 303 によって、複数台の分散電源の運転パターン（運転／停止状態）が変更されたとき、或いは、運転パターンは同じでも出力有効電力指令値 P_{ref} が変更されたときに、動作パターンが変更されることになる。

[0066] 分散電源 102 の運転台数の決定に際しては、各分散電源 102 の現在の出力有効電力（ P_{out} ）の合計値から現在の需要量の概略が把握される。そして、把握した需要量の電力を十分供給可能となるように、少なくとも運転する分散電源 102 の定格容量の合計が当該需要量を上回るように、運転台数を決定することができる。

[0067] この際に、動作決定部 303 は、各分散電源 102 を運転する際の経済的成本及び環境的成本、並びに、運転効率に基づいて、分散電源 102 間の運転優先度を考慮した上、運転する分散電源 102 を決定してもよい。又、動作決定部 303 は、運転指令が生成される分散電源 102 が蓄電池を含む場合には、当該蓄電池の SOC（State of Charge）を考慮して出力有効電力指令値（ P_{ref} ）を決定してもよい。

[0068] このようにして、動作決定部 303 は、分散電源 102 毎の運転／停止指令、及び、出力有効電力指令値 P_{ref} を含む、動作指令情報 313 を生成する

。尚、動作決定部 303 は、一定時間の経過をトリガとして、或いは、分散電源情報 312 の予め定められたトリガ条件の成立に応じて、最新の動作指令情報 313 を生成する。これにより、最新の分散電源情報 312 に基づいて、動作指令情報 313 が逐次更新される。例えば、上記トリガ条件は、分散電源情報 312 を構成する複数の項目のうちのいずれかの項目が変化した場合に成立する。

[0069] 実施の形態 1 では、各分散電源 102 での仮想同期発電機制御のための制御構成が図 3 の内容に決定された上で、制御パラメータ決定部 304 が、図 3 の制御系中の制御パラメータ値を決定する、実施の形態 1 では、制御パラメータ決定部 304 は、動作決定部 303 によって決定された動作パターンのもとで、受信部から受ける分散電源情報 312 及び記憶部から受け取る情報 319 に基づいて、電力系統全体の安定性評価を伴って制御パラメータ値を決定する。

[0070] 以下、安定性を評価する方法の具体例について説明する。

実施の形態 1 では、管理対象とする電力系統の動作特性を状態方程式で表すとともに、当該状態方程式の係数行列の固有値から安定性を評価する。ここでは、図 5 に例示した、仮想同期発電機制御を備える分散電源 3 台を含む電力系統を対象として、具体的な安定性評価の手法を説明する。

[0071] まず、1 台目の分散電源 102 (1) の出力有効電力 P_{out1} と、リアクタンス値 X_1 及びその両端の電圧に関して、下記の式 (3) に示す関係が成立する。式 (3) 中において、 V_L 及び θ_L は、分散電源 102 (1) の接続点における共通母線 407 の電圧の振幅及び位相であり、 V_1 及び θ_1 は、分散電源 102 (1) の出力電圧の振幅及び位相である。又、 Δ は、電力系統が定常的に安定運転している状態における標準値からの各変数の微小変動量を示す。

[0072] [数 3]

$$\Delta P_{out1} = \frac{|V_1||V_L|}{X_1} \sin(\Delta\theta_1 - \Delta\theta_L) \quad (3)$$

[0073] 式（３）の関係は非線形特性を含むため、状態方程式を導入するためには、分散電源の出力電力特性に対して、図８に示す様な線形近似を行う。

[0074] 図８を参照して、式（３）における位相差（ $\Delta\theta_1 - \Delta\theta_L$ ）＝ δ_1 と表記すると、分散電源１０２（１）の出力有効電力 P_{out1} は式（３）中の $|V_1| |V_L| / X_1$ を最大値 P_{max} （振幅）とする位相差 δ_1 の $\sin$ 関数（特性線１１１）で示される。

[0075] 特性線１１１上の電力系統の安定運転状態での動作点１１２での位相差を δ_{10} とすると、当該動作点１１２における特性線１１０の接線の傾きは、 $\cos \delta_{10}$ で与えられる。これにより、動作点１１２近傍で線形近似した、動作点１１２からの変動量 Δ に係る特性線１１１（一次関数）を得ることができる。特性線１１１は、下記の式（４）で示される。又、２台目の分散電源１０２（２）及び３台目の分散電源１０２（３）の出力有効電力 P_{out2} 及び P_{out3} についても、安定運転状態での動作点からの変動量について同様の線形近似を行うことで、式（５）及び式（６）を得ることができる。

[0076] [数４]

$$\Delta P_{out1} = \frac{|V_1||V_L|}{X_1} \sin(\Delta\theta_1 - \Delta\theta_L) \approx \left(\frac{|V_1||V_L|}{X_1} \cos \delta_{10} \right) (\Delta\theta_1 - \Delta\theta_L) = P_{1m}(\Delta\theta_1 - \Delta\theta_L) \quad (4)$$

$$\Delta P_{out2} = \frac{|V_2||V_L|}{X_2} \sin(\Delta\theta_2 - \Delta\theta_L) \approx \left(\frac{|V_2||V_L|}{X_2} \cos \delta_{20} \right) (\Delta\theta_2 - \Delta\theta_L) = P_{2m}(\Delta\theta_2 - \Delta\theta_L) \quad (5)$$

$$\Delta P_{out3} = \frac{|V_3||V_L|}{X_3} \sin(\Delta\theta_3 - \Delta\theta_L) \approx \left(\frac{|V_3||V_L|}{X_3} \cos \delta_{30} \right) (\Delta\theta_3 - \Delta\theta_L) = P_{3m}(\Delta\theta_3 - \Delta\theta_L) \quad (6)$$

[0077] 尚、式（５）中の位相差 δ_{20} は、安定運転状態での分散電源１０２（２）及び共通母線４０７の接続点における共通母線４０７の電圧と、分散電源１０２（２）の出力電圧との位相差を示す。同様に、式（６）中の位相差 δ_{30} は、安定運転状態での分散電源１０２（３）及び共通母線４０７の接続点における共通母線４０７の電圧と、分散電源１０２（３）の出力電圧との位相差を示す。

[0078] 式（４）～式（６）において、 $P_{1m} = (|V_1| |V_L| / X_1) \cdot \cos \delta_{10}$ であり、 $P_{2m} = (|V_2| |V_L| / X_2) \cdot \cos \delta_{20}$ であり、 $P_{3m} = (|V_3| |V_L| / X_3) \cdot \cos \delta_{30}$ である。 $P_{1m} \sim P_{3m}$ は、リアクタンス

値 $X_1 \sim X_3$ にそれぞれ反比例する係数である。

[0079] 更に、分散電源102(1)～102(3)の出力有効電力 $P_{out1} \sim P_{out3}$ の合計は、管理対象以外の電源及び需要家408に流入する電力 P_L と等しいため、安定運転状態からの変動量 Δ について、下記の式(7)が成立する。

[0080] [数5]

$$\Delta P_{out1} + \Delta P_{out2} + \Delta P_{out3} = \Delta P_L \quad (7)$$

[0081] 式(4)～式(7)から $\Delta\theta_L$ を消去して、行列形式に整理することで、式(8)を得ることができる。

[0082] [数6]

$$\begin{bmatrix} \Delta P_{out1} \\ \Delta P_{out2} \\ \Delta P_{out3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{P_{1m}(P_{2m} + P_{3m})}{\sum_{j=1}^3 P_{jm}} & -\frac{P_{1m}P_{2m}}{\sum_{j=1}^3 P_{jm}} & -\frac{P_{1m}P_{3m}}{\sum_{j=1}^3 P_{jm}} \\ -\frac{P_{1m}P_{2m}}{\sum_{j=1}^3 P_{jm}} & \frac{P_{2m}(P_{1m} + P_{3m})}{\sum_{j=1}^3 P_{jm}} & -\frac{P_{2m}P_{3m}}{\sum_{j=1}^3 P_{jm}} \\ -\frac{P_{1m}P_{3m}}{\sum_{j=1}^3 P_{jm}} & -\frac{P_{2m}P_{3m}}{\sum_{j=1}^3 P_{jm}} & \frac{P_{3m}(P_{1m} + P_{2m})}{\sum_{j=1}^3 P_{jm}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\theta_1 \\ \Delta\theta_2 \\ \Delta\theta_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{P_{1m}}{\sum_{j=1}^3 P_{jm}} \\ \frac{P_{2m}}{\sum_{j=1}^3 P_{jm}} \\ \frac{P_{3m}}{\sum_{j=1}^3 P_{jm}} \end{bmatrix} \Delta P_L \quad (8)$$

[0083] 一方で、各分散電源102(1)～102(3)に備えられる仮想同期発電機制御の特性を状態方程式として表現する。図3に示した構成の仮想同期発電機制御を各分散電源102(1)～102(3)が備える場合には、伝達関数は式(9)で示される。又、式(9)の伝達関数を状態方程式として表現し直すと、内部状態変数 $x_1 \sim x_3$ を設定することで、式(10)及び式(11)を得ることができる。尚、内部状態変数 x_2 は、内部状態変数 x_1 を微分したものであり、内部状態変数 x_3 は、内部状態変数 x_2 を微分したものである。式(10)及び式(11)が、1台分の分散電源102の仮想同期発電機制御の状態方程式表現に相当する。

[0084]

[数7]

$$\begin{aligned}
 G_{VSG}(s) &= \frac{\Delta\theta}{\Delta dP} = \frac{\Delta\theta}{\Delta P_{ref} - \Delta P_{out}} = \frac{Ts + 1}{MTs^3 + (M + DT)s^2 + (D + K)s} \\
 &= \frac{\frac{1}{M}s + \frac{1}{MT}}{s^3 + \left(\frac{1}{T} + \frac{D}{M}\right)s^2 + \frac{D + K}{MT}s} \quad (9)
 \end{aligned}$$

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -\frac{D + K}{MT} & -\left(\frac{1}{T} + \frac{D}{M}\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \Delta P_{ref} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix} \Delta P_{out} \quad (10)$$

 $\Delta\theta$

$$= \begin{bmatrix} \frac{1}{MT} & \frac{1}{M} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} \quad (11)$$

[0085] 図5の分散電源102(1)～102(3)の各々に対して成立する式(10)及び式(11)の仮想同期発電機制御の状態方程式を3台分統合して、一つの状態方程式としてまとめると、式(12)及び式(13)が得られる。尚、式(12)及び式(13)において、状態変数 x_{ij} は、 i 番目の分散電源の j 番目の状態変数を示している。

[0086]

[数8]

$$\begin{aligned}
\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} x_{11} \\ x_{12} \\ x_{13} \\ x_{21} \\ x_{22} \\ x_{23} \\ x_{31} \\ x_{32} \\ x_{33} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{D_1 + K_1}{M_1 T_1} & -\left(\frac{1}{T_1} + \frac{D_1}{M_1}\right) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{D_2 + K_2}{M_2 T_2} & -\left(\frac{1}{T_2} + \frac{D_2}{M_2}\right) & 0 & 0 \\ & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{D_3 + K_3}{M_3 T_3} & -\left(\frac{1}{T_3} + \frac{D_3}{M_3}\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{11} \\ x_{12} \\ x_{13} \\ x_{21} \\ x_{22} \\ x_{23} \\ x_{31} \\ x_{32} \\ x_{33} \end{bmatrix} \\
&+ \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P_{ref1} \\ \Delta P_{ref2} \\ \Delta P_{ref3} \end{bmatrix} + \\
&\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P_{out1} \\ \Delta P_{out2} \\ \Delta P_{out3} \end{bmatrix} \quad (12)
\end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} \Delta \theta_1 \\ \Delta \theta_2 \\ \Delta \theta_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{M_1 T_1} & \frac{1}{M_1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{M_2 T_2} & \frac{1}{M_2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{M_3 T_3} & \frac{1}{M_3} & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{11} \\ x_{12} \\ x_{13} \\ x_{21} \\ x_{22} \\ x_{23} \\ x_{31} \\ x_{32} \\ x_{33} \end{bmatrix} \quad (13)$$

[0087] 最後に、式(12)及び式(13)を統合して、 $\Delta P_{out1} \sim \Delta P_{out3}$ 及び $\Delta \theta_1 \sim \Delta \theta_3$ を消去すると、式(14)を得ることができる。

[0088] [数9]

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} x_{11} \\ x_{12} \\ x_{13} \\ x_{21} \\ x_{22} \\ x_{23} \\ x_{31} \\ x_{32} \\ x_{33} \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} x_{11} \\ x_{12} \\ x_{13} \\ x_{21} \\ x_{22} \\ x_{23} \\ x_{31} \\ x_{32} \\ x_{33} \end{bmatrix} + B \begin{bmatrix} \Delta P_{ref1} \\ \Delta P_{ref2} \\ \Delta P_{ref3} \\ \Delta P_L \end{bmatrix} \quad (14)$$

[0089] ここで、3台の分散電源102(1)～102(3)に対して、式(14)中の係数行列A(9行×9列)は、下記の式(15)で示される。

[0090] [数10]

$$\begin{aligned}
A = & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{D_1 + K_1}{M_1 T_1} & -\left(\frac{1}{T_1} + \frac{D_1}{M_1}\right) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{D_2 + K_2}{M_2 T_2} & -\left(\frac{1}{T_2} + \frac{D_2}{M_2}\right) & 0 & 0 & 0 \\ & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{D_3 + K_3}{M_3 T_3} & -\left(\frac{1}{T_3} + \frac{D_3}{M_3}\right) & 0 \end{bmatrix} \\
+ & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{P_{1m}(P_{2m} + P_{3m})}{\sum_{j=1}^3 P_{jm}} \frac{1}{M_1 T_1} & -\frac{P_{1m}(P_{2m} + P_{3m})}{\sum_{j=1}^3 P_{jm}} \frac{1}{M_1} & 0 & \frac{P_{1m} P_{2m}}{\sum_{j=1}^3 P_{jm}} \frac{1}{M_2 T_2} & \frac{P_{1m} P_{2m}}{\sum_{j=1}^3 P_{jm}} \frac{1}{M_2} & 0 & \frac{P_{1m} P_{3m}}{\sum_{j=1}^3 P_{jm}} \frac{1}{M_3 T_3} & \frac{P_{1m} P_{3m}}{\sum_{j=1}^3 P_{jm}} \frac{1}{M_3} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{P_{1m} P_{2m}}{\sum_{j=1}^3 P_{jm}} \frac{1}{M_1 T_1} & \frac{P_{1m} P_{2m}}{\sum_{j=1}^3 P_{jm}} \frac{1}{M_1} & 0 & -\frac{P_{2m}(P_{1m} + P_{3m})}{\sum_{j=1}^3 P_{jm}} \frac{1}{M_2 T_2} & -\frac{P_{2m}(P_{1m} + P_{3m})}{\sum_{j=1}^3 P_{jm}} \frac{1}{M_2} & 0 & \frac{P_{2m} P_{3m}}{\sum_{j=1}^3 P_{jm}} \frac{1}{M_3 T_3} & \frac{P_{2m} P_{3m}}{\sum_{j=1}^3 P_{jm}} \frac{1}{M_3} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{P_{3m} P_{2m}}{\sum_{j=1}^3 P_{jm}} \frac{1}{M_1 T_1} & \frac{P_{3m} P_{2m}}{\sum_{j=1}^3 P_{jm}} \frac{1}{M_1} & 0 & \frac{P_{2m} P_{3m}}{\sum_{j=1}^3 P_{jm}} \frac{1}{M_2 T_2} & \frac{P_{2m} P_{3m}}{\sum_{j=1}^3 P_{jm}} \frac{1}{M_2} & 0 & -\frac{P_{3m}(P_{1m} + P_{2m})}{\sum_{j=1}^3 P_{jm}} \frac{1}{M_3 T_3} & -\frac{P_{3m}(P_{1m} + P_{2m})}{\sum_{j=1}^3 P_{jm}} \frac{1}{M_3} & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (15)
\end{aligned}$$

[0091] 同様に、式（１４）中の行列Ｂ（９行×４列）は、下記の式（１６）で示される。

[0092] [数11]

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -\frac{P_{1m}}{\sum_{j=1}^3 P_{jm}} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -\frac{P_{2m}}{\sum_{j=1}^3 P_{jm}} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -\frac{P_{3m}}{\sum_{j=1}^3 P_{jm}} \end{bmatrix} \quad (16)$$

[0093] 式（１４）は、管理対象とする電力システムの動作特性を全て含めた状態方程式表現である。そして、式（１４）の係数行列Ａ（式（１５））の固有値を求めることで、システムの振動モードを把握することができる。

[0094] 一般に、係数行列Ａの固有値の実部は、負の場合にはその系が持つ振動の減衰率を示す一方で、正の場合には当該振動の発散率を示す。又、固有値の虚部は、振動の周波数を表す。

[0095] 従って、式（１４）の係数行列Ａの固有値を求めて、求められた全固有値の実部が負であれば、この系統内で発生する振動は減衰方向となり、安定となることが確認できる。即ち、負値である、固有値の実部の絶対値は、電力システムの安定性を評価する安定性指標とすることができる。

[0096] 上述の様に、本実施の形態では、実用上、導出過程で線形近似を用いることから上記状態方程式から得られる特性と、実際の電力系統の動作特性との間には誤差が生じる。このため、電力系統の動作を安定化するためには、係数行列 A の全固有値の実部が負であり、かつ、実部の絶対値が一定の閾値以上の大きさが確保されることが望ましい。

[0097] 一例として、図 5 に例示した、3 台の分散電源 102 (1) ~ 102 (3) を含む系統に対して上述の係数行列 A の主な固有値を導出すると、図 6 のシミュレーション結果（安定動作）での設定条件の場合には、「 $-11.21523 \pm 4.86337i$ 」、「 $-11.221523 \pm 4.8632377i$ 」、「 $-11.237589 \pm 4.8508335i$ 」、及び、「 $-11.25 \pm 4.8412292i$ 」であった。

[0098] 又、図 7 のシミュレーション結果（不安定動作）での設定条件の場合には、主な固有値は、「 $-6.1625308 \pm 3.2739828i$ 」、「 $-6.2123889 \pm 3.2929444i$ 」、及び、「 $-6.25 \pm 3.3071891i$ 」となる。

[0099] これらを比較すると、図 6 及び図 7 の場合の両方で、主な固有値の実部は全て負値であるものの、図 6 の場合の方が、実部（負値）の絶対値は大きいことが確認できる。例えば、図 6 の安定動作と、図 7 の不安定動作とを切り分けるためには、固有値の実部（負値）の絶対値が 11 以上となる様に制御パラメータ値を設定することで、電力系統の安定動作を担保することが可能である。尚、当該閾値の適正な値は、系統構成に応じて変化し得るため、事前に瞬時値シミュレーション等に基づいて定義しておくことが望ましい。

[0100] この様に、状態方程式の係数行列 A の固有値を算出することで、電力系統の安定性を評価することが可能である。ここで、式 (15) に示された係数行列 A は、3 台の分散電源 102 (1) ~ 102 (3) が仮想同期発電機制御に従って動作するときの例であり、 (3×3) 行 $\times$ (3×3) 列のサイズであるが、係数行列 A のサイズは、電力系統に接続されて動作する分散電源の台数 (N : 自然数) によって変わる。具体的には、運転指令が生成された

分散電源の台数 N に対して、係数行列 A のサイズは、 $(N \times 3)$ 行 $\times$ $(N \times 3)$ 列となる。

[0101] 図9に示される様に、 $N = 2$ のときの係数行列 $A(2)$ は、 $3 \times 2 = 6$ のため、6行 $\times$ 6列のサイズとなる。 $N = 3$ のときの係数行列 $A(3)$ は、式(15)にも示した通り、9行 $\times$ 9列であり、 $N = 4$ のときの係数行列 $A(4)$ は、 $4 \times 3 = 12$ のため、12行 $\times$ 12列のサイズとなる。

[0102] 又、仮想同期発電機制御に従って動作する分散電源の運転台数(N)が同じであっても、主に、リアクタンス値 $X_1 \sim X_3$ の違いに起因して、運転する分散電源の組み合わせが異なる場合には、係数行列 A も変わる。又、運転される分散電源の出力有効電力指令値が変化すると、図8での動作点112(安定運転状態)が変わることで、係数行列 A も変わる可能性がある。

[0103] 従って、安定性評価に用いる係数行列 A は、図3の動作決定部303によって、各分散電源102の運転/停止指令、及び、各分散電源102の出力有効電力指令値 P_{ref} 、即ち、動作パターンに変更が生じる毎に変化する可能性がある。これに応じて、安定性評価も再実行することが好ましい。

[0104] 図10には、実施の形態1に係る分散電源統合管理装置による制御パラメータ値の決定処理手順の一例を説明するフローチャートが示される。図10に示された処理は、動作決定部303によって、少なくとも複数台の分散電源の運転パターン(運転/停止の組み合わせ)が変更されたときに、例えば、演算部302を構成するマイクロコンピュータが予め格納されたプログラムを実行することによって実行される。これにより、図4の制御パラメータ決定部304の機能が実現される。

[0105] 或いは、図10に示された処理は、複数台の分散電源の運転パターンが固定されていても、複数台の分散電源の出力有効電力指令値 P_{ref} が変更されたときにも実行されてもよい。即ち、動作決定部303による複数台の分散電源102の動作パターンの変更をトリガとして、図10に示された処理を実行することができる。

[0106] 演算部302(制御パラメータ決定部304)は、ステップ(以下、単に

「S」と表記する) 110により、各分散電源の制御パラメータ値を仮決定する。例えば、運転される分散電源の各々について、図3に例示された仮想同期発電機制御部201内の、慣性定数M、制動係数D、及び、ガバナ制御部205を構成する一次遅れ要素のゲインK及び時定数Tの値が仮決定される。尚、仮決定される制御パラメータ値の初期値は、予め定められた標準的な値であってもよく、ランダムに設定された値であってもよい。更に、S110では、仮決定された制御パラメータ値を用いて、式(15)の係数行列も仮決定される。

[0107] 演算部302は、S120では、S110で仮決定された係数行列Aを用いて、系の安定性指標を算出する。例えば、上述の様に、係数行列Aの固有値が算出される。そして、S130では、S120で算出された安定性指標(係数行列Aの固有値)が、予め定められた安定範囲内に含まれるか否かを判定する。例えば、上述の様に、全ての固有値の実部が負値であり、かつ、当該実部の絶対値が予め定められた閾値より大きいときに、S130はYES判定とされる。一方で、そうでないときには、S130はNO判定とされる。

[0108] 一方で、演算部302は、S130のNO判定時には、S140により、制御パラメータ値の少なくとも一部を変更する。S140では、系の安定性を上昇するためには、少なくとも一部の分散電源において、例えば、制動係数D及び／又は慣性定数Mを一定刻み(一定量、又は、一定比率)が増加される。又、制動係数D及び慣性定数Mを増加しても安定性指標が十分に改善しない場合には、ゲインKを更に増加することができる。

[0109] 更に、演算部302は、S110に処理を戻して、S140で変更された制御パラメータ値を用いて修正された係数行列Aを仮決定する。そして、S120では、修正された係数行列Aを用いて、系の安定性指標が算出され、S130では、S120で算出された安定性指標(修正後の係数行列Aの固有値)が、安定性が担保される範囲内に含まれるか否かが判定される。

[0110] S130がNO判定の間は、S140、S110、S120、及び、S1

30の処理が繰り返し実行される。即ち、S130がYES判定となる制御パラメータ値が設定されるまで、制御パラメータ値はS140により徐々に変更されることになる。

[0111] 演算部302は、S130のYES判定時には、S150により、S110で仮決定された値を用いて、運転指令が生成された分散電源の仮想同期発電機制御部201の制御パラメータ値を最終決定する。

[0112] これにより、動作決定部303による動作指令情報313、具体的には、分散電源102毎の運転／停止指令及び出力有効電力指令値 P_{ref} に対応させて、系を安定動作可能な制御パラメータ値を決定することができる。

[0113] 再び図4を参照して、演算部302は、動作決定部303で決定された動作指令情報313（分散電源102毎の運転／停止指令、及び、出力有効電力指令値 P_{ref} ）と、当該動作指令情報313に対応して制御パラメータ決定部304で決定された情報314（系を安定動作させるための制御パラメータ値）とを、設定情報315として送信部306へ出力する。この際に、記憶部305へ情報318を受け渡して、記憶させてもよい。この情報317は、送信部306に対して出力される情報の少なくとも一部を含んでもよい。

[0114] 送信部306は、演算部302からの設定情報315を受信すると、各分散電源102に対して、当該分散電源102の動作指令値及び制御パラメータ値を送信する。上述の様に、実施の形態1では、設定情報315は、少なくとも、分散電源102の運転／停止指令及び出力有効電力指令値（動作指令情報313）、並びに、運転指令が生成された各分散電源102が備える仮想同期発電機制御の制御パラメータ値を含む。

[0115] 以上説明した様に、実施の形態1に係る分散電源統合管理装置によれば、仮想同期発電機制御によって出力電圧が制御される分散電源が複数台接続された電力系統においても、分散電源の動作パターンが変化した場合に、分散電源間の相互干渉による不安定現象が発生しないように、各分散電源での仮想同期発電機制御の制御パラメータ値を適切に設定する。これにより、安定

性を担保した運転を実現して、複数台の分散電源の制御の相互干渉による不安定現象の発生を回避した安定した電力供給を実現することができる。

[0116] 実施の形態 2.

実施の形態 1 では状態方程式の係数行列 A の固有値を求めることで安定性指標を算出したが、実施の形態 2 では、安定性指標の異なる算出手法を説明する。即ち、実施の形態 2 に係る分散電源統合管理装置では、実施の形態 1 に係る分散電源統合管理装置 101 と比較して、制御パラメータ決定部 304 の機能のみが異なる。実施の形態 2 に係る分散電源統合管理装置のその他の部分の構成及び動作は、実施の形態 1 に係る分散電源統合管理装置 101 と同様であるので、詳細な説明は繰り返さない。

[0117] 実施の形態 2 では、制御パラメータ決定部 304 は、電力システムの安定性を評価する際に、系の周波数応答を表す一巡伝達関数を導出する。そして、当該一巡伝達関数の位相余裕及びゲイン余裕を安定性指標（図 9 の $S120$ ）として用いて、 $S130$ （図 9）において系の安定性を評価することができる。

[0118] 実施の形態 2 でも、図 5 に例示した、仮想同期発電機制御によって出力電圧が制御される分散電源が 3 台接続された電力システムを対象として、一巡伝達関数を用いた安定性評価の手法を説明する。

[0119] 図 11 は、実施の形態 2 に係る分散電源統合管理装置で用いられる伝達関数を含む電力システムの制御伝達特性を示すブロック図の一例である。図 11 には、図 5 に例示された電力システムにおける、3 台の分散電源 102 (1) ~ 102 (3) が備える仮想同期発電機制御の干渉を加味した制御伝達ブロック図が示される。

[0120] 図 11 において、共通母線 407 上の有効電力 P_L 、並びに、分散電源 102 (1) ~ 102 (3) の出力電力指令値 $P_{ref1} \sim P_{ref3}$ 、出力有効電力（測定値） $P_{out1} \sim P_{out3}$ 、及び、出力電圧の位相 $\theta_1 \sim \theta_3$ のそれぞれについて、上述の微小変動量 Δ が導入される。

[0121] ここで、図 5 に例示された電力システムに対して、実施の形態 1 で説明した線

形近似によって式（８）が成立する。又、分散電源１０２（１）～１０２（３）は、図３に示した構成の仮想同期発電機制御によって出力電圧が制御される。このため、分散電源１０２（１）～４３０のそれぞれの当該仮想同期発電機制御の伝達関数 $G_{VSG1}(s) \sim G_{VSG3}(s)$ を用いると、分散電源１０２（１）～１０２（３）の間で発生する横流（相互干渉）を反映して、分散電源１０２（１）～１０２（３）が接続された電力系統の伝達特性は、図１１のブロック図で示される。分散電源１０２（１）～１０２（３）の伝達関数 $G_{VSG1}(s) \sim G_{VSG3}(s)$ は、式（９）に対して、制御パラメータ値 D 、 M 、 T 、 K を代入することで求めることができる。

[0122] 図１１において、分散電源１０２（１）から分散電源１０２（２）への横流 ΔP_{crs12} 、分散電源１０２（２）から分散電源１０２（３）への横流 ΔP_{crs23} 、及び、分散電源１０２（１）から分散電源１０２（３）への横流 ΔP_{crs13} を加減算するための演算器８４１～８４３へ入力することにより、分散電源１０２（１）～１０２（３）のそれぞれでの横流の合計値 $\Delta P_{crs1} \sim \Delta P_{crs3}$ を求めることができる。

[0123] 又、共通母線４０７での有効電力変動量 ΔP_L は、式（４）～（６）中の定数 $P_{1m} \sim P_{3m}$ に基づく乗算器８１１～８１３での演算によって、分散電源１０２（１）～１０２（３）の間で $\Delta P_{L1} \sim \Delta P_{L3}$ に按分される（ $\Delta P_{L1} + \Delta P_{L2} + \Delta P_{L3} = \Delta P_L$ ）。加算器８３４～８３６は、乗算器８１１～８１３からの $\Delta P_{L1} \sim \Delta P_{L3}$ と、演算器８４１～８４３からの $\Delta P_{crs1} \sim \Delta P_{crs3}$ とをそれぞれ加算して、分散電源１０２（１）～１０２（３）での出力有効電力変動量 $\Delta P_{out1} \sim \Delta P_{out3}$ をそれぞれ算出する。

[0124] 減算器８３１～８３３は、出力有効電力指令値の変動量 $\Delta P_{ref1} \sim \Delta P_{ref3}$ から、加算器８３４～８３６からの $\Delta P_{out1} \sim \Delta P_{out3}$ を減算することで、分散電源１０２（１）～１０２（３）のそれぞれでの電力偏差 ΔP_{out} （図３）の変動量 $\Delta dP_1 \sim dP_3$ を算出する。

[0125] 図１１に示された制御伝達特性に従って、 ΔdP_1 を起点とする一巡伝達関数 $G(1)$ を求めることにより、分散電源１０２（１）による仮想同期発

電機制御の、他の分散電源 102 (2), 102 (3) での仮想同期発電機制御との干渉を加味した周波数応答特性を把握することができる。

[0126] 同様に、 ΔdP_2 を起点とする一巡伝達関数 $G(2)$ 、及び、 ΔdP_3 を起点とする一巡伝達関数 $G(3)$ を求めることにより、分散電源 102 (2) 及び 102 (3) での仮想同期発電機制御についても、他の分散電源での仮想同期発電機制御との干渉を加味した周波数応答特性を把握することができる。

[0127] この様な一巡伝達関数の導出は一般的な技術であり、公知の手法の適用によって、これらの一巡伝達関数を求めることができる。これらの一巡伝達関数の形は、分散電源の運転台数と、仮想同期発電機制御部の構成情報に基づいてあらかじめ導出しておくことが好ましい。

[0128] 更に、公知技術に従って、求められた一巡伝達関数のボード線図から、図 12 に示される、ゲイン余裕 GM 及び位相余裕 PM を更に求めることができる。

[0129] 図 12 に示される様に、一巡伝達関数の周波数特性を示すボード線図が、ゲイン $[dB]$ 及び位相 $[deg]$ について求められる。ゲイン余裕 GM は、ゲイン $0 [dB]$ となる周波数 ω_c における位相 $[deg]$ で定義され、位相余裕 PM は、位相が $-180 [deg]$ となる周波数 ω_p でのゲインの (-1) 倍で定義される。尚、ゲイン余裕 GM 及び位相余裕 PM を、制御系設計時の安定性指標とすることは一般的であり、ゲイン余裕 GM 及び位相余裕 PM が大きい程、系は安定的となることが知られている。

[0130] 従って、実施の形態 2 に係る分散電源統合管理装置では、複数台の分散電源 102 の動作パターンが変更されて、演算部 302 (制御パラメータ決定部 304) が図 9 の処理を実行する際に、S110 では、仮決定された制御パラメータ値が代入された伝達関数 $G_{VSG1}(s) \sim G_{VSG3}(s)$ を用いた、上述の一巡伝達関数 $G(1) \sim G(3)$ が求められる。

[0131] 更に、図 10 の S120 では、S110 で決定された一巡伝達関数 $G(1) \sim G(3)$ によるゲイン余裕 GM 及び位相余裕 PM が、安定性指標として

算出される。更に、図10のS130では、S120で算出されたゲイン余裕GM及び位相余裕PMが、予め定められた判定閾値 TH_{GM} 及び TH_{PM} よりもそれぞれ大きいときに、安定性指標が安定範囲内に含まれると判定（YES判定）することができる。

[0132] S130のNO判定時には、S140により、仮想同期発電機制御の制御パラメータ値を変更することにより、伝達関数 $G_{VSG1}(s) \sim G_{VSG3}(s)$ 及び一巡伝達関数 $G(1) \sim G(3)$ を変更して、S120及びS130が実行される。このS140及びS110～S130を、S130がYES判定となるまで繰り返すことにより、実施の形態1と同様に、動作決定部303によって決定された、複数台の分散電源102の動作パターンに対応させて、系を安定動作可能な制御パラメータ値を決定することができる。

[0133] 尚、上述したゲイン余裕GM及び位相余裕PMの判定閾値 TH_{GM} 及び TH_{PM} についても、回路シミュレーションでの結果と、ボード線図に基づいた安定判別結果とを照らし合わせて事前に設定しておくことが可能である。

[0134] 以上説明した様に、実施の形態2に係る分散電源統合管理装置によれば、制御パラメータ値（仮想同期発電機制御）から求められる伝達関数の周波数応答特性を安定性指標として用いることで、実施の形態1と同様の効果を享受することができる。即ち、仮想同期発電機制御によって出力電圧が制御される分散電源が複数台接続された電力系統においても、分散電源の運転パターンが変化した場合に、分散電源間の相互干渉による不安定現象が発生しないように、仮想同期発電機制御の制御パラメータ値を適切に設定することができる。これにより、複数台の分散電源の制御の相互干渉による不安定現象の発生を回避した安定した電力供給を実現することができる。

[0135] 実施の形態3.

実施の形態3及び4では、分散電源統合管理装置の更なる変形例を説明する。

[0136] 図13は、実施の形態3に係る分散電源統合管理装置の内部構成を説明するブロック図である。

- [0137] 図13を参照して、実施の形態3に係る分散電源統合管理装置101Xは、図4に示された分散電源統合管理装置101と比較して、演算部302に代えて、演算部302Xを備える点で異なる。分散電源統合管理装置101Xのその他の構成は、分散電源統合管理装置101と同様であるので、詳細な説明は繰り返さない。
- [0138] 演算部302Xは、動作決定部303と、制御パラメータ決定部304Xと、ルックアップテーブル307を更に含む。動作決定部303は、図4で説明したのと同様に、各分散電源102の現在の出力有効電力（図3の P_{out} ）等の分散電源情報312に基づいて、動作指令情報313を生成する。上述の様に、動作指令情報313は、分散電源102毎の運転／停止指令、及び、出力有効電力指令値 P_{ref} を含む。
- [0139] 制御パラメータ決定部304Xは、仮決定された制御パラメータ値を用いて算出された安定性指標が評価された実施の形態1及び2とは異なり、予め作成されてルックアップテーブル307の参照によって、運転指令が生成された分散電源102の仮想同期発電機制御に用いられる制御パラメータ値（制動係数D、慣性定数M、一次遅れ系の時定数T及びゲインK等）を決定する。
- [0140] ルックアップテーブル307は、電力系統104に接続される複数台の分散電源102の動作パターン毎に、シミュレーション結果等から予め求められた、系を安定的に動作可能な制御パラメータ値（上述のD、M、T、Kの値の組み合わせ）を予め格納する様に構成される。例えば、ルックアップテーブル307には、複数台の分散電源102の動作パターン毎に、実施の形態1又は2に従って安定性指標が安定範囲内に含まれることが事前に解析された制御パラメータ値が格納されている。
- [0141] 制御パラメータ決定部304Xは、動作決定部303からの動作指令情報313に基づき、予め定義された複数の動作パターンのうちの1つを選択して、ルックアップテーブル307を参照する。これにより、動作指令情報313によって決定された動作パターンに対応して、予め格納された、系を安

定動作させるための制御パラメータ値を、ルックアップテーブル307から読み出すことができる。当該制御パラメータ値は、制御パラメータ決定部304Xからの情報314の一部として、動作指令情報313とともに送信部306に足して出力され、各分散電源102へ伝達される。

[0142] この様に、実施の形態3に係る分散電源統合管理装置によっても、分散電源の動作パターンが変化した場合に、分散電源間の相互干渉による不安定現象が発生しないように、仮想同期発電機制御の制御パラメータ値を適切に設定することができる。これにより、複数台の分散電源の制御の相互干渉による不安定現象の発生を回避した安定した電力供給を実現することができる。

[0143] 尚、実施の形態1及び2では、仮決定された制御値パラメータ値を用いた安定性指標の算出及び評価がオンラインで行われるので演算負荷が比較的高くなる一方で、実施の形態3では、このようなオンラインでの演算負荷の増大を避けることができる。一方で、実施の形態3では、複数台の分散電源102の動作パターン毎に適切な制御パラメータ値を予め決定する必要があるため、ルックアップテーブル307の記憶容量及び準備のための作業負荷が増大することが懸念される。

[0144] 実施の形態4.

図14は、実施の形態4に係る分散電源統合管理装置の内部構成を説明するブロック図である。

[0145] 図14を参照して、実施の形態4に係る分散電源統合管理装置101Yは、図4に示された分散電源統合管理装置101と比較して、演算部302に代えて、演算部302Yを備える点で異なる。分散電源統合管理装置101Yのその他の構成は、分散電源統合管理装置101と同様であるので、詳細な説明は繰り返さない。

[0146] 演算部302Yは、動作決定部303と、制御パラメータ決定部304Yと、学習部308とを含む点で異なる。動作決定部303は、図4で説明したのと同様に、各分散電源102の現在の出力有効電力（図3の P_{out} ）等の分散電源情報312に基づいて、動作指令情報313を生成する。上述の様

に、動作指令情報 313 は、分散電源 102 毎の運転／停止指令、及び、出力有効電力指令値 P_{ref} を含む。

[0147] 制御パラメータ決定部 304 Y は、仮決定された制御パラメータ値を用いた安定性指標が評価された実施の形態 1 及び 2 とは異なり、学習部 308 での学習結果を反映して、運転指令が生成された分散電源 102 の仮想同期発電機制御に用いられる制御パラメータ値（制動係数 D 、慣性定数 M 、一次遅れ系の時定数 T 及びゲイン K 等）を決定する。

[0148] 学習部 308 は、動作パターン毎に、制御パラメータ値の組み合わせを入力とし、当該制御パラメータ値の組み合わせの下での安定性評価（安定／不安定のいずれかの情報、又は、実施の形態 1, 2 での安定性指標）を出力とする学習モデルを含む。例えば、当該学習モデルは、AI（Artificial Intelligence）学習モデルによって構成することができる。

[0149] 一例として、当該学習モデルは、動作パターン毎に、制御パラメータ値の組み合わせと、当該制御パラメータ値の組み合わせを用いたときの安定性評価結果との対応関係を学習データとして入力する機械学習によって作成することができる。学習モデルを作成する際（学習フェーズ）には、安定性評価結果は、実際に電力システムを動作させたときの結果、及び、シミュレーション結果の両方を含むことができる。

[0150] 学習モデルは、推論フェーズでは、動作パターンを入力として、適切な制御パラメータ値の組み合わせ（ D , M , T , K ）を出力とする様に構成される。適切な制御パラメータ値の組み合わせとしては、当該動作パターンにおいて、安定性評価が肯定的である、又は、安定性指標が予め定められた閾値より大きくなるものを用いることができる。

[0151] 制御パラメータ決定部 304 Y は、動作決定部 303 からの動作指令情報 313 によって示される動作パターンを、学習部 308 を構成する学習モデルに入力する。これにより、当該学習モデルの出力として、当該動作決定パターンでの適切な制御パラメータ値の組み合わせが取得される。

[0152] 当該制御パラメータ値は、制御パラメータ決定部 304 Y からの情報 31

4の一部として、動作指令情報313とともに送信部306に足して出力され、各分散電源102へ伝達される。

[0153] 尚、制御パラメータ決定部304Yは、学習部308に対して、実際に電力システムを動作させたときに得られた新たな結果を学習データとして追加入力することで、学習部308内の学習モデルを逐次更新することも可能である。

[0154] この様に、実施の形態4に係る分散電源統合管理装置によっても、分散電源の動作パターンが変化した場合に、分散電源間の相互干渉による不安定現象が発生しないように、仮想同期発電機制御の制御パラメータ値を適切に設定することができる。これにより、複数台の分散電源の制御の相互干渉による不安定現象の発生を回避した安定した電力供給を実現することができる。実施の形態4では、実施の形態3で説明したルックアップテーブル307を準備して記憶する必要がないため、作業負荷及び記憶容量の抑制が期待できる。

[0155] 尚、上述の様に、実施の形態1～4では、各分散電源102での仮想同期発電機制御の制御系の構成は図3の内容に固定されることとして、制御パラメータ決定部304（304X，304Y）は、図3内の制御パラメータ値を決定するものとしたが、動作設定パターンに応じて、仮想同期発電機制御の制御系の構成が切換えられてもよい。例えば、図3において、ガバナ制御部205（一次遅れ系）のフィードバックループを省略する構成（変形例）が、一部の動作パターンでは適用されてもよい。例えば、一次遅れ系のゲイン $K=0$ とすることで、上記構成（変形例）が実現される。即ち、制御パラメータ決定部304（304X，304Y）の機能には、仮想同期発電機制御の制御系の構成を決定することも実質的に含まれる。

[0156] 今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本開示の範囲は上記した説明ではなくて請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味及び範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

符号の説明

[0157] 10 電力システム、101, 101X, 101Y 分散電源統合管理装置、102, 102a~102f 分散電源、103 制御装置、104 電力系統、105 電源、106 電力変換装置、107 主回路、108 スwitchング制御回路、109 通信経路、110, 111 特性線、112 動作点、200 分散電源制御部、201 仮想同期発電機制御部、202 動作指令値生成部、203, 203b, 208 積分器、204 フィードバックパス、205 ガバナ制御部、206, 811, 813 乗算器、211~213, 831, 833 減算器、214, 834, 836 加算器、301 受信部、302, 302X, 302Y 演算部、303 動作決定部、304, 304X, 304Y 制御パラメータ決定部、305 記憶部、306 送信部、307 ルックアップテーブル、308 学習部、311, 312 分散電源情報、313 動作指令情報、314, 317, 318, 319 情報、315 設定情報、404, 406, X1 リアクタンス、407 共通母線、841, 843 演算器、D, K, M, T 制御パラメータ値、GM ゲイン余裕、 $G_{VSG1} \sim G_{VSG1}$ 伝達関数、PM 位相余裕、 P_{out} , $P_{out1} \sim P_{out3}$ 出力有効電力（測定値）、 P_{ref} , $P_{ref1} \sim P_{ref3}$ 出力有効電力指令値、 $X_1 \sim X_3$ リアクタンス値、 Δf 周波数変化量、 f 周波数指令値、 f_n 基準周波数、 θ 電圧位相。

請求の範囲

- [請求項1] 同期発電機の動作特性を静止型電源に模擬的に実装した仮想同期発電機制御によって出力電圧が制御される分散電源が複数台接続された電力系統の運用状態を管理する分散電源統合管理装置であって、
- 前記複数台の分散電源の運転状態に関する情報を受信する受信部と、
- 、
- 前記受信部が取得した情報に基づいて、前記複数台の分散電源の動作パターンを決定する動作決定部と、
- 前記動作決定部によって決定された前記動作パターンにおいて、前記複数台の分散電源による前記仮想同期発電機制御の相互干渉を回避して前記電力系統が安定的に動作できる様な、前記複数台の分散電源のそれぞれにおける前記仮想同期発電機制御の制御パラメータ値を決定する制御パラメータ決定部と、
- 前記複数台の分散電源のそれぞれに対して、前記動作決定部によって決定された前記動作パターンに従う動作指令、及び、前記制御パラメータ決定部によって決定された前記制御パラメータ値を送信する送信部とを備える、分散電源統合管理装置。
- [請求項2] 前記制御パラメータ決定部は、
- 仮決定された前記制御パラメータ値を用いた前記仮想同期発電機制御の実行時における前記電力系統の動作安定性を定量的に示す安定性指標の値を算出して、算出された前記安定性指標の値が予め定められた安定範囲内に含まれるか否かを判定し、前記安定範囲内に含まれる場合に、前記仮決定された前記制御パラメータ値を用いて前記複数台の分散電源に送信される前記制御パラメータ値を決定する、請求項1記載の分散電源統合管理装置。
- [請求項3] 前記制御パラメータ決定部は、
- 前記仮決定された制御パラメータ値を用いて算出された前記安定性指標の値が前記安定範囲内に含まれない場合には、算出された前記安

定性指標の値が前記安定範囲内に含まれる様になるまで、前記制御パラメータ値を変更して前記安定性指標の算出を実行する処理を繰り返す、請求項2記載の分散電源統合管理装置。

[請求項4] 前記安定性指標は、前記複数台の分散電源による前記仮想同期発電機制御が適用された前記電力系統の動作特性を表現する状態方程式の係数行列の固有値の実部の値である、請求項2又は3に記載の分散電源統合管理装置。

[請求項5] 前記安定性指標は、前記電力系統において、前記電力系統の動作特性、及び、前記複数台の分散電源のそれぞれが有する前記仮想同期発電機制御の動作特性を表現した伝達関数を用いて導出された一巡伝達関数の位相余裕及びゲイン余裕の少なくとも一方であり、

前記一巡伝達関数は、前記複数台の分散電源のうちのいずれか1台の前記分散電源が備える前記仮想同期発電機制御を制御器とし、前記電力系統における当該分散電源以外の要素を制御対象とみなして導出される、請求項2又は3に記載の分散電源統合管理装置。

[請求項6] 前記制御パラメータ決定部は、

前記動作決定部によって決定された前記動作パターンを用いて予め作成されたルックアップテーブルを参照することによって、前記複数台の分散電源のそれぞれにおける前記制御パラメータ値を決定し、

前記ルックアップテーブルは、予め定められた複数個の前記動作パターン毎に、前記電力系統が安定的に動作する様な前記複数台の分散電源のそれぞれにおける前記制御パラメータ値を予め格納する、請求項1記載の分散電源統合管理装置。

[請求項7] 前記複数台の分散電源での前記制御パラメータ値と、前記電力系統の動作安定性に係る情報との関係性を学習する学習部をさらに備え、

前記制御パラメータ決定部は、前記動作決定部によって決定された前記動作パターンを前記学習部への入力としたときの前記学習部からの出力を用いて、前記複数台の分散電源のそれぞれにおける前記制御

パラメータ値を決定する、請求項 1 記載の分散電源統合管理装置。

[請求項8] 前記動作パターンは、前記複数台の分散電源のそれぞれの運転指令又は停止指令の組み合わせを含む、請求項 1 ～ 7 のいずれか 1 項に記載の分散電源統合管理装置。

[請求項9] 前記動作パターンは、前記複数台の分散電源のそれぞれの出力有効電力の指令値の組み合わせを含む、請求項 1 ～ 7 のいずれか 1 項に記載の分散電源統合管理装置。

[請求項10] 前記電力系統の設備構成に関する情報を記憶する記憶部を更に備え、

前記制御パラメータ決定部は、前記受信部から得られる情報及び前記記憶部に記憶される情報に基づいて、前記複数台の分散電源のそれぞれにおける前記制御パラメータ値を決定する、請求項 1 ～ 9 のいずれか 1 項に記載の分散電源統合管理装置。

[請求項11] 前記複数台の分散電源は、前記電力系統の共通母線と電氣的に接続され、

前記記憶部が記憶する前記情報は、前記複数台の分散電源のそれぞれと前記共通母線との間のインピーダンスに係る情報を含む、請求項 10 記載の分散電源統合管理装置。

[請求項12] 前記受信部が受信する前記情報は、前記複数台の分散電源のそれぞれの出力有効電力の測定値を含む、請求項 1 ～ 11 のいずれか 1 項に記載の分散電源統合管理装置。

[請求項13] 前記受信部が受信する前記情報は、前記複数台の分散電源のそれぞれの出力電圧の振幅及び位相の情報を含む、請求項 1 ～ 12 のいずれか 1 項に記載の分散電源統合管理装置。

[請求項14] 前記受信部が受信する前記情報は、前記複数台の分散電源のそれぞれの出力電圧及び出力電流の測定値を含み、

前記受信部は、前記測定値に基づいて、前記複数台の分散電源のそれぞれの出力有効電力を算出する、請求項 13 記載の分散電源統合管

理装置。

[請求項15] 前記送信部によって送信される前記動作指令は、前記複数台の分散電源のそれぞれの運転指令又は停止指令を含む、請求項1～7のいずれか1項に記載の分散電源統合管理装置。

[請求項16] 前記送信部によって送信される前記動作指令は、前記複数台の分散電源のそれぞれの運転指令又は停止指令を含む、請求項1～7のいずれか1項に記載の分散電源統合管理装置。

[請求項17] 前記送信部によって送信される前記動作指令は、前記複数台の分散電源のそれぞれの出力有効電力の指令値を含む、請求項1～7のいずれか1項に記載の分散電源統合管理装置。

[請求項18] 前記動作決定部は、予め定められた一定時間の経過、又は、前記受信部で受信された前記情報を構成する複数の項目の変化に応じて、当該時点での前記情報に基づいて前記動作パターンを新たに生成する、請求項1～17のいずれか1項に記載の分散電源統合管理装置。

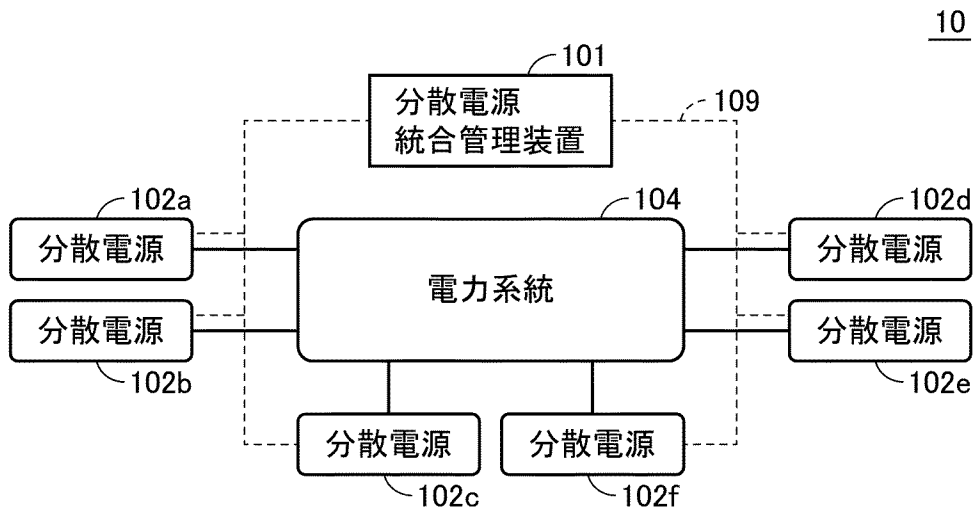
[請求項19] 同期発電機の動作特性を静止型電源に模擬的に実装した仮想同期発電機制御によって出力電圧が制御される分散電源が複数台接続された電力系統と、

請求項1～18のいずれか1項に記載の分散電源統合管理装置と、
前記分散電源統合管理装置と前記複数台の分散電源との間に形成される通信経路とを備える、電力システム。

[請求項20] 前記複数台の分散電源の各々は、
電源からの電力を前記電力系統に対して出力される交流電力に変換する様に前記静止型電源として動作する電力変換装置と、
前記仮想同期発電機制御に従った交流電圧を出力する様に前記電力変換装置を制御する制御装置とを含む、請求項19記載の電力システム。

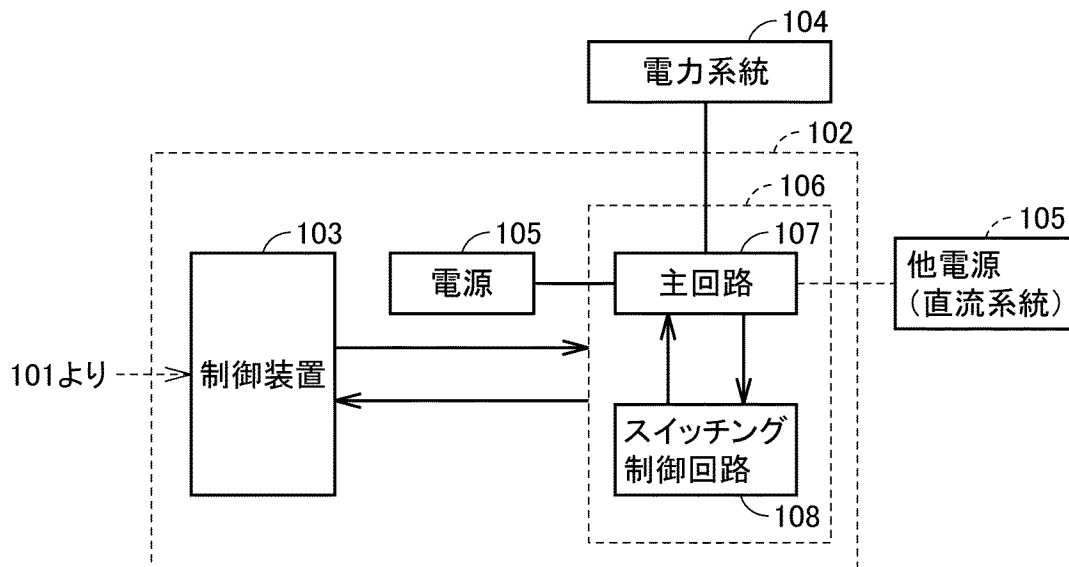
[図1]

図1



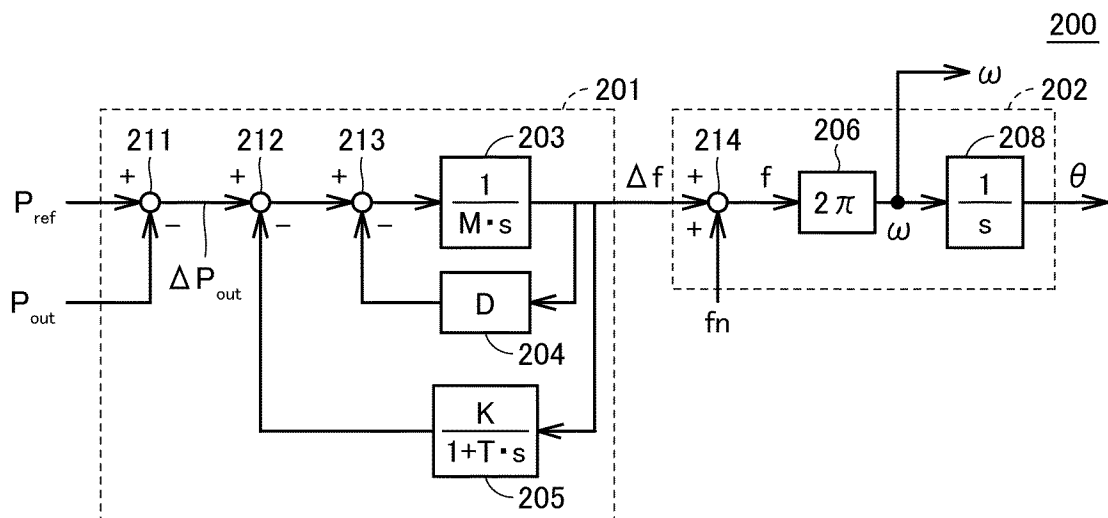
[図2]

図2



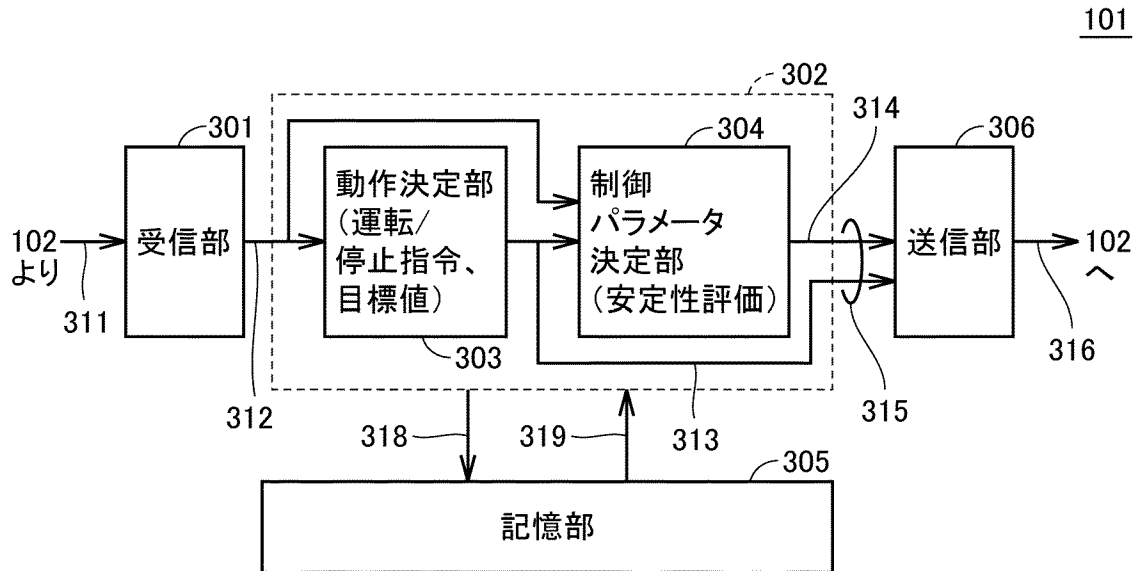
[図3]

図3



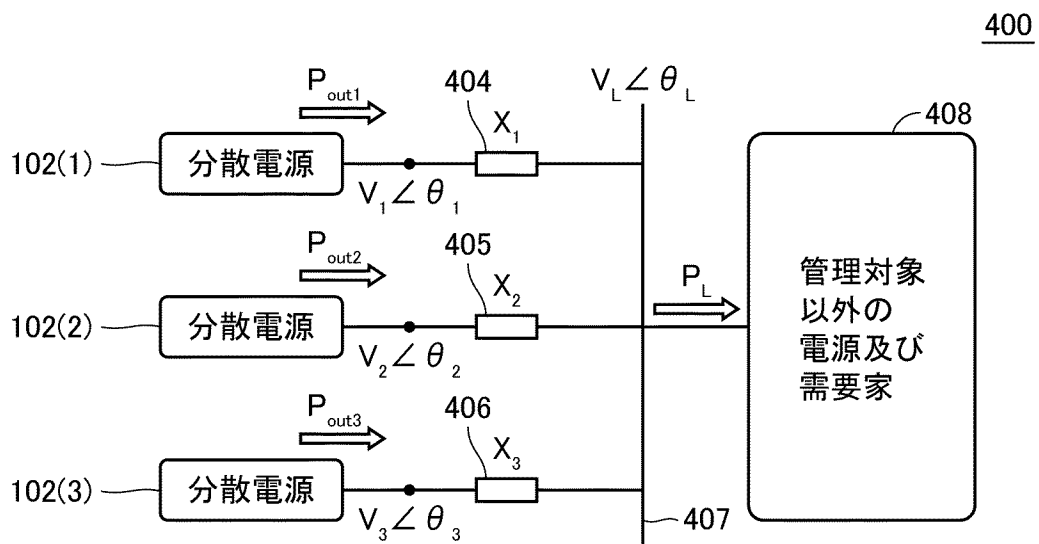
[図4]

図4



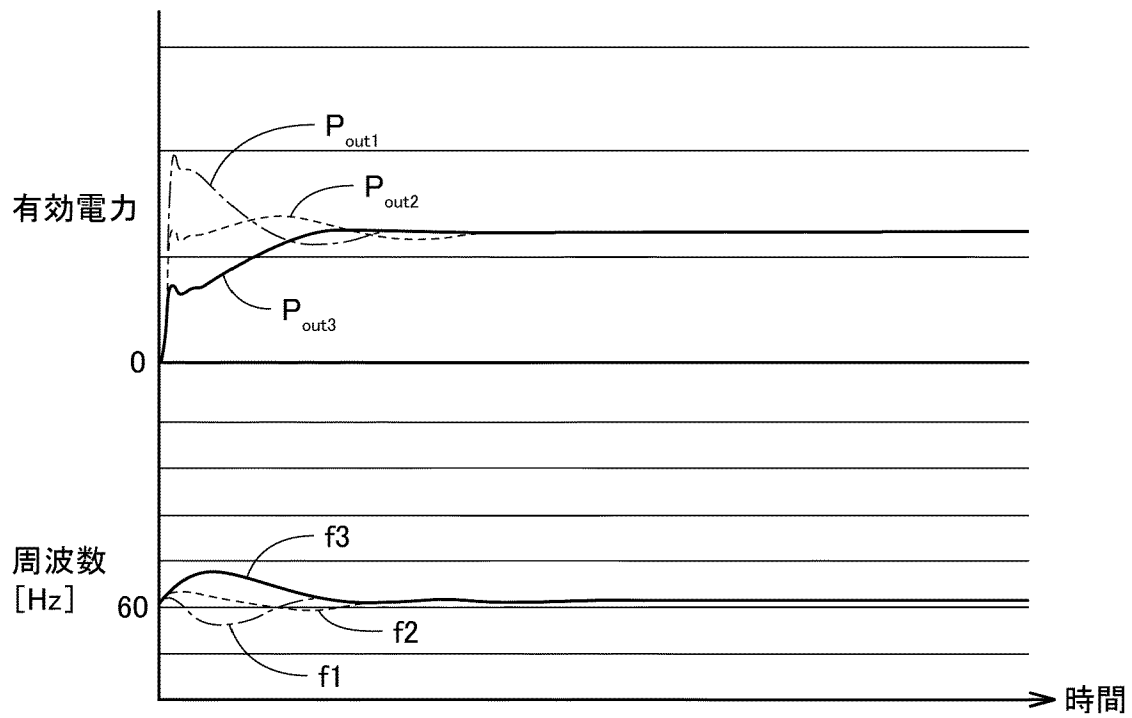
[図5]

図5



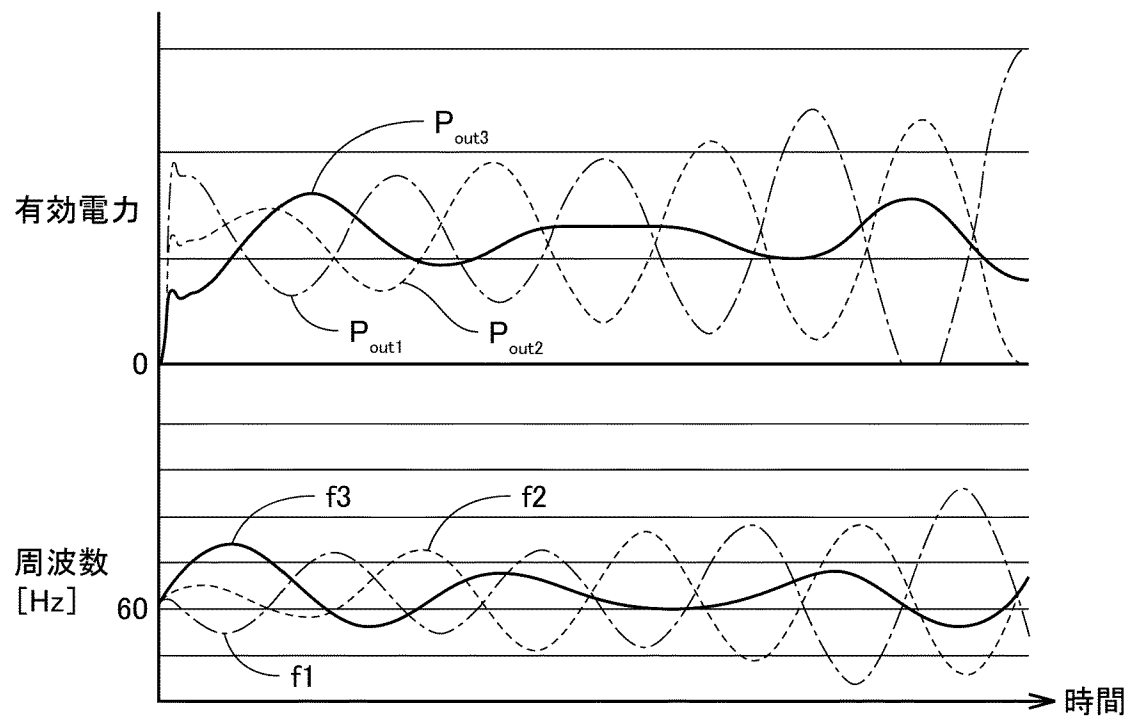
[図6]

図6



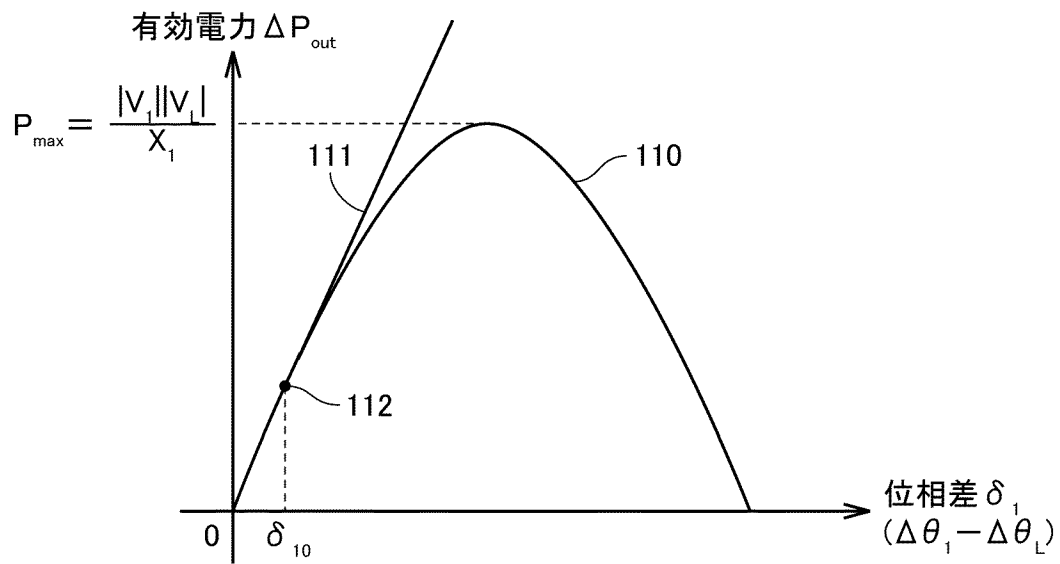
[図7]

図7



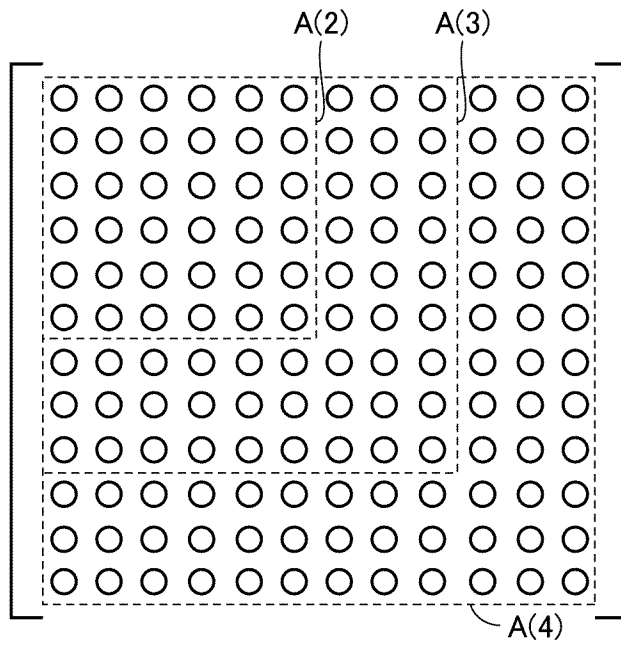
[図8]

図8



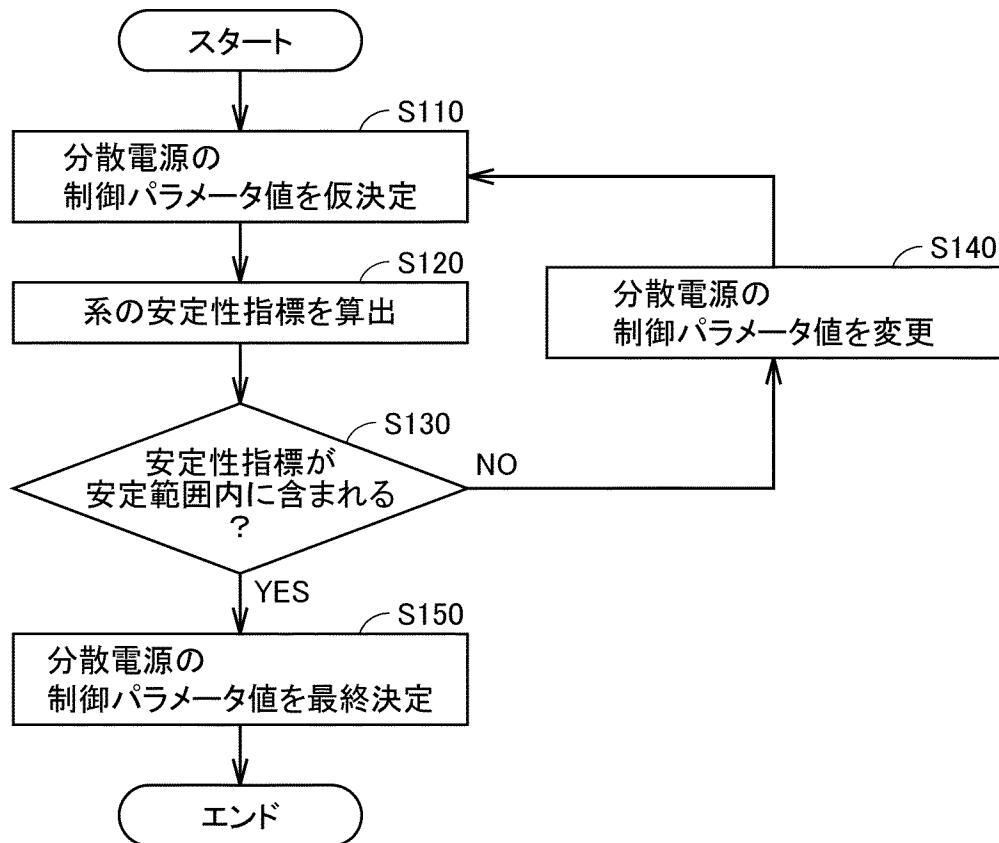
[図9]

図9



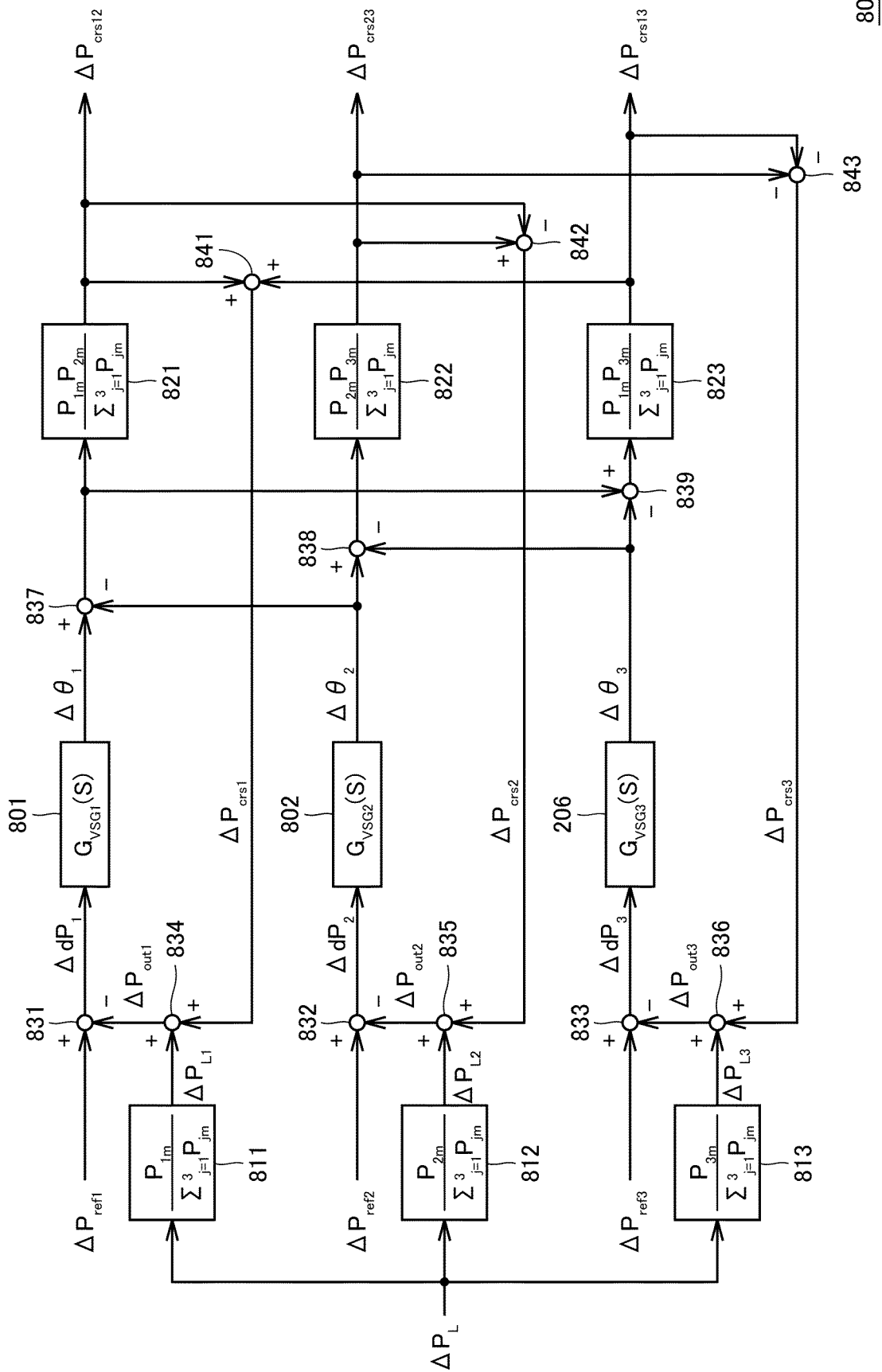
[図10]

図10



[図11]

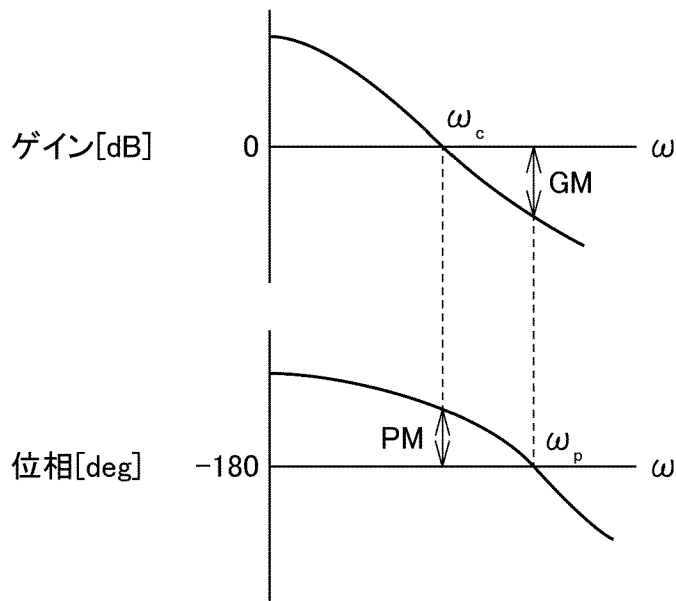
図11



800

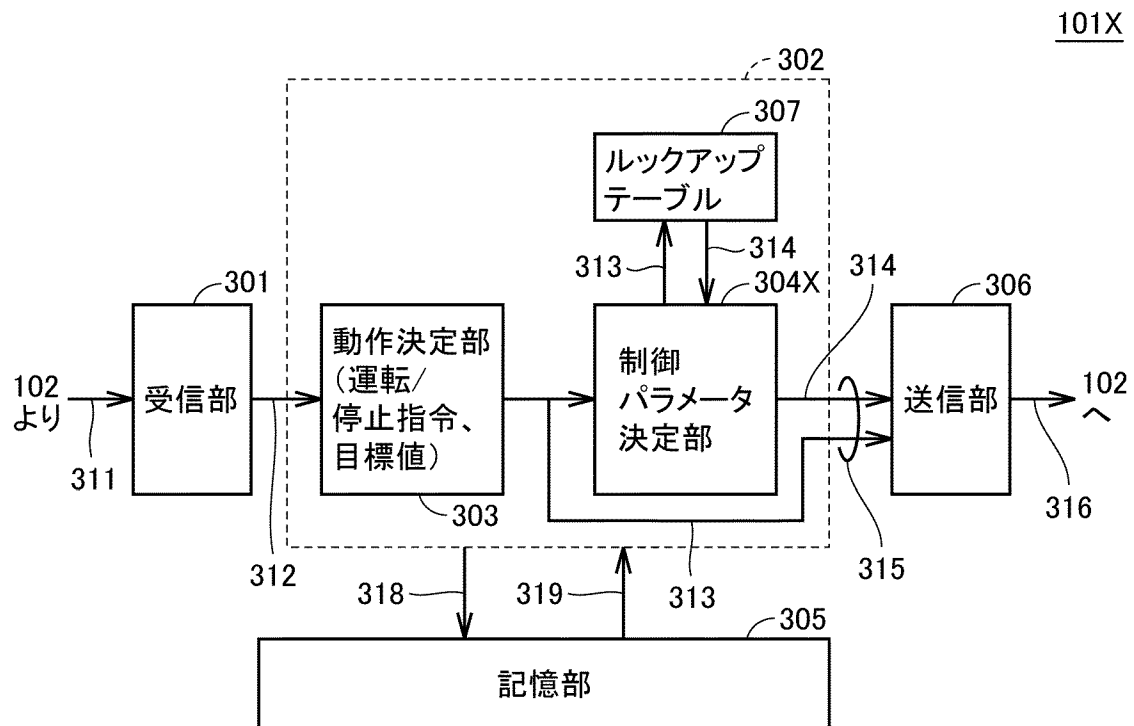
[図12]

図12



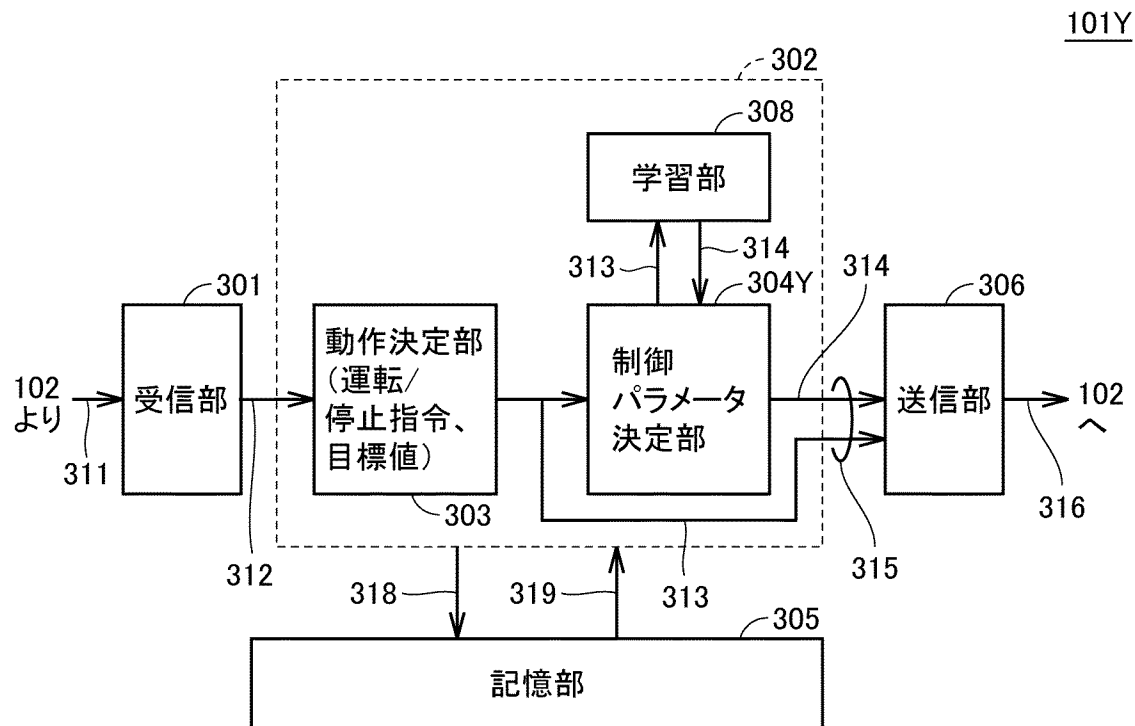
[図13]

図13



[図14]

図14



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/018187

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**H02J 3/38**(2006.01)i

FI: H02J3/38 110

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)

H02J3/38

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2022

Registered utility model specifications of Japan 1996-2022

Published registered utility model applications of Japan 1994-2022

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.
A	WO 2022/029924 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) 10 February 2022 (2022-02-10) paragraphs [0018]-[0348], fig. 1-41	1-20
A	JP 2016-220352 A (PANASONIC IP MAN CORP) 22 December 2016 (2016-12-22) paragraphs [0013]-[0124], fig. 1-13	1-20



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

20 May 2022

Date of mailing of the international search report

07 June 2022

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)
3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2022/018187

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
WO	2022/029924	A1	10 February 2022	(Family: none)	
JP	2016-220352	A	22 December 2016	WO 2016/185661 A1 paragraphs [0013]-[0124], fig. 1-13	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H02J 3/38(2006.01)i FI: H02J3/38 110														
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）） H02J3/38														
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														
<table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2022年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2022年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2022年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2022年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2022年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2022年				
日本国実用新案公報	1922 - 1996年													
日本国公開実用新案公報	1971 - 2022年													
日本国実用新案登録公報	1996 - 2022年													
日本国登録実用新案公報	1994 - 2022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												
A	WO 2022/029924 A1（三菱電機株式会社）10.02.2022（2022 - 02 - 10） 段落 [0018] - [0348]、図1 - 41	1-20												
A	JP 2016-220352 A（パナソニックIPマネジメント株式会社）22.12.2016（2016 - 12 - 22） 段落 [0013] - [0124]、図1 - 13	1-20												
☐ 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。														
<table border="0"> <tr> <td>* 引用文献のカテゴリー</td> <td>“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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</td> </tr> <tr> <td>“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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）</td> <td>“&” 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td></td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td></td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー	“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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの	“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	“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	“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	“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	“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）	“&” 同一パテントファミリー文献	“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	
* 引用文献のカテゴリー	“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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの													
“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	“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													
“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	“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													
“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）	“&” 同一パテントファミリー文献													
“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														
国際調査を完了した日 20.05.2022	国際調査報告の発送日 07.06.2022													
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 下林 義明 5T 4453 電話番号 03-3581-1101 内線 3568													

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2022/018187

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO	2022/029924	A1	10.02.2022	(ファミリーなし)	
JP	2016-220352	A	22.12.2016	WO 2016/185661 A1	
				段落 [0013] - [0124]、図1-13	