(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2020年7月30日(30.07.2020)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2020/153488 A1

(51) 国際特許分類:
G06F 30/36 (2020.01) *G06F 30/367* (2020.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2020/002574

(22) 国際出願日： 2020年1月24日(24.01.2020)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

(30) 優先権データ：
特願 2019-010567 2019年1月24日(24.01.2019) JP

(71) 出願人: オムロン株式会社 (**OMRON CORPORATION**) [JP/JP]; 〒6008530 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町８０１番地 Kyoto (JP).

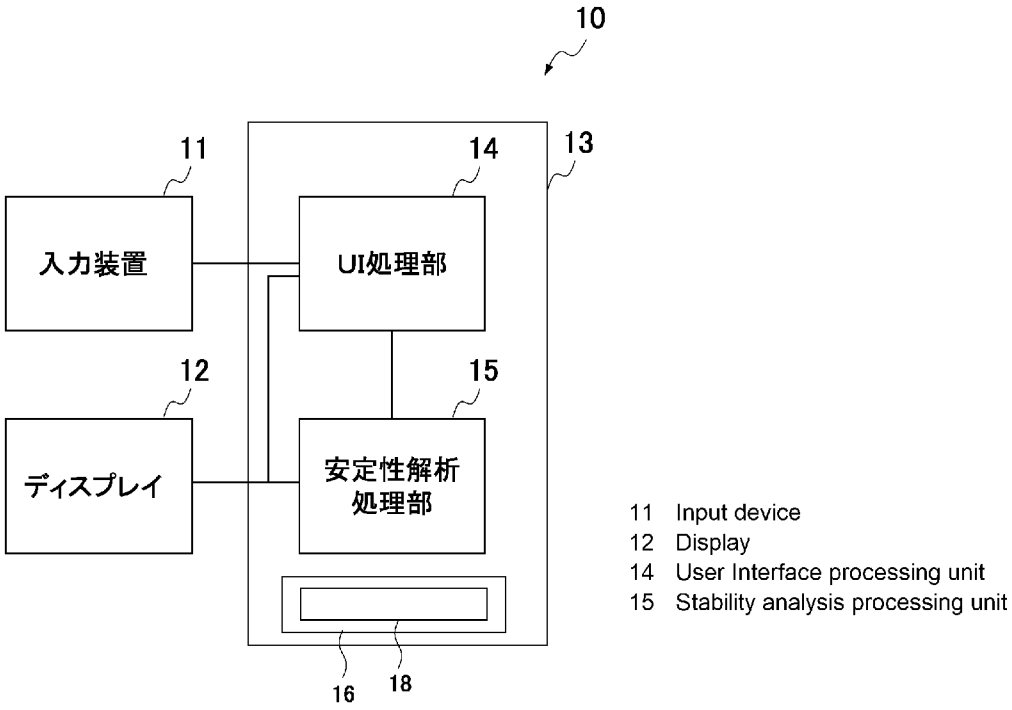
(72) 発明者: 桐淵 岳 (**KIRIBUCHI, Takeshi**); 〒6008530 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町８０１番地 オムロン株式会社内 Kyoto (JP). 財津 俊行 (**ZAITSU, Toshiyuki**); 〒6008530 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町８０１番地 オムロン株式会社内 Kyoto (JP). 蘆田 岳史 (**ASHIDA, Takeshi**); 〒6008530 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町８０１番地 オムロン株式会社内 Kyoto (JP). 土井 昌志 (**DOI, Masashi**); 〒6008530 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町８０１番地 オムロン株式会社内 Kyoto (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人秀和特許事務所 (**IP FIRM SHUWA**); 〒1030004 東京都中央区東

WO 2020/153488 A1

(54) **Title:** DESIGN ASSISTANCE DEVICE, DESIGN ASSISTANCE METHOD, AND DESIGN ASSISTANCE PROGRAM

(54) 発明の名称： 設計支援装置、設計支援方法及び設計支援プログラム



(57) **Abstract:** This design assistance device is provided with: a means for acquiring system information that indicates the configuration of a DC bus of a DC power feeding system; and an output means for outputting information about the stability of the DC power feeding system on the basis of the system information acquired by the acquisition means and a current value required for the respective operations of one or more servo devices. According to the configuration, the stability of the DC power feeding system in which a DC power supply supplies power to the one or more servo devices

［続葉有］

日本橋三丁目４番１０号 アクロポリス２１ビル８階 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, 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, 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：

— 国際調査報告（条約第21条(3)）

including an inverter circuit and an electromotor through the DC bus can be analyzed in consideration of the configuration of the DC bus.

(57) 要約：設計支援装置は、ＤＣ給電システムのＤＣバスの構成を示すシステム情報を取得する手段と、取得手段により取得されたシステム情報と、１台以上のサーボ装置のそれぞれの動作に要する電流値とに基づいて、ＤＣ給電システムの安定性に関する情報を出力する出力手段と、を備える。この構成により、インバータ回路と電動機とを含む１台以上のサーボ装置に直流電源からＤＣバスにより電力が供給されるＤＣ給電システムの安定性をＤＣバスの構成を考慮して解析可能となる。

明　細　書

発明の名称 ：

設計支援装置、設計支援方法及び設計支援プログラム

技術分野

[0001] 本発明は、設計支援装置と設計支援方法と設計支援プログラムとに関する。

背景技術

[0002] 工場等では、複数の電動機が、離れた場所に配置された複数のサーボドライバにてＰＷＭ駆動されるシステム（ロボットとその制御装置とで構成されたシステム等）が使用されている。そのようなシステムには、電動機・サーボドライバ間の長いケーブルからの放射ノイズを低減するために、スイッチングスピードを速くできない、電動機・サーボドライバ間の接続に多数のケーブルが必要とされる、といった問題がある。

[0003] 各電動機の近傍にサーボドライバ内のインバータ回路のみを配置し、１つの直流電源からＤＣバスにて複数のインバータ回路に電力を供給する構成を採用しておけば、上記問題が発生しないようにすることが出来る。

[0004] ただし、この構成を採用したシステムでは、ＤＣバス側のＬＣ回路とインバータ回路側とが干渉してシステムの動作が不安定となる場合がある（例えば、非特許文献１参照）。実物で配線し発振が確認された場合、実物の配線バスを修正し発振を抑制するので、工数が必要となる。また、発振が抑制できるまで配線バスを試行錯誤的に変える必要があり更に工数を必要とする。そのため、上記構成の採用時には、ＤＣバス側のインダクタンス等を考慮した安定性解析が必要とされる。

先行技術文献

非特許文献

[0005] 非特許文献1：横尾 真志，近藤 圭一郎，「直流電気鉄道車両におけるベクトル制御された誘導電動機駆動システムのダンピング制御系設計法」、電気学

会論文誌Ｄ，Vol. 135 No.6 pp.622-631 (2015)

非特許文献2：R. D. Middlebrook, "Input Filter Considerations in Design and Application of Switching Regulators", Proc, IEEE Industrial Application Society Annual Meeting pp.363-382 (1976)

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 本発明は、上記現状に鑑みなされたものであり、インバータ回路と電動機とを含む１台以上のサーボ装置に直流電源からＤＣバスにより電力が供給されるＤＣ給電システムの安定性を、ＤＣバスの構成を考慮して解析（評価）可能な技術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

[0007] 本発明の一観点に係る設計支援装置は、インバータ回路と電動機とを含む１台以上のサーボ装置に直流電源からＤＣバスにより電力が供給されるＤＣ給電システムの設計を支援する装置である。そして、設計支援装置は、前記ＤＣ給電システムの前記ＤＣバスの構成を示すシステム情報を取得する取得手段と、前記取得手段により取得された前記システム情報と、前記１台以上のサーボ装置のそれぞれの動作に要する電流値とに基づいて、前記ＤＣ給電システムの安定性に関する情報を出力する出力手段と、を備える。システム情報は、ＤＣバスのハード構成に基づく電気的特性に関連する情報であり、ＤＣ給電システムの安定性は、ＤＣバスを流れる作動電流値と強い関係性を有する。そこで、このような構成を有する設計支援装置によれば、ＤＣ給電システムの安定性をＤＣバスの構成と、そこから給電されるサーボ装置での動作電流とを考慮して解析（評価）することが出来る。

[0008] そして、前記出力手段は、前記システム情報に応じた$Z_o(s)$及び$Z_{in}(s)$（ｓはラプラス演算子）に基づき、前記ＤＣ給電システムの安定性に関する情報を出力するように構成され、そして、前記$Z_o(s)$が、前記ＤＣ給電システムを前記１台以上のサーボ装置を含む負荷側部と前記負荷側部に電力を供給する電源側部とを接続した接続システムであると見做した場合における前

記電源側部の出力インピーダンスを、ｓの関数として表した式であり、前記$Z_{in}(s)$が、前記ＤＣ給電システムを前記接続システムであると見做した場合における前記負荷側部の入力インピーダンスを、ｓ、前記ＤＣバスを流れる電流値であるバス電流値及び当該バス電流値の、前記電動機のｑ軸電流への変換率αの関数として表した式である構成を有する。

[0009] すなわち、ＤＣ給電システムのＤＣバスの構成を示すシステム情報があれば、ＤＣ給電システムの負荷側部の出力インピーダンス$Z_o(s)$を求めることが出来る。また、ＤＣ給電システムの電源側部の入力インピーダンス$Z_{in}(s)$は、バス電流値及びバス電流値の、電動機のｑ軸電流への変換率αの関数として表せる。なお、αの値は、各サーボ装置に入力される指令を仮定するか、当該指令として実際に入力される指令を用いることで算出することが出来る。そして、$Z_o(s)$及び$Z_{in}(s)$から、前記ＤＣ給電システムの安定性に関する情報（$Z_o(s)／Z_{in}(s)$のナイキスト線図や、$Z_o(s)$及び$Z_{in}(s)$のボード線図等のＤＣ給電システムが安定性であるか否かを示す情報）を得ることが出来る。従って、設計支援装置によれば、ＤＣ給電システムの安定性をＤＣバスの構成（ＤＣバスのインダクタンス等）を考慮して解析（評価）することが出来る。

[0010] 設計支援装置の出力手段は、ＤＣ給電システムの安定性に関する情報をどのような形で出力するものであっても良い。具体的には、出力手段は、ユーザインターフェースを介して、設計支援装置の外部のユーザ等に対して、前記ＤＣ給電システムの安定性に関する情報（ナイキスト線図やボード線図）をディスプレイの画面上に表示するものであっても、ナイキスト線図等を表すデータ（数値群）を出力するものであっても良い。また、これらの情報やデータを、設計支援装置の内部、又は外部の装置で行われる別の処理に対して出力する形態も、上記出力手段による出力形態に含まれる。

設計支援装置の出力手段は、予め設定されているバス電流値毎に、ＤＣ給電システムの安定性に関する情報を出力するものであっても、ユーザが指定したバス電流値毎に、ＤＣ給電システムの安定性に関する情報を出力するも

のであっても良い。

[0011] 出力手段は、前記ＤＣ給電システム内の前記サーボ装置が１つである場合の前記$Z_{in}(s)$を、以下の（１）～（４）式から求めても良い。

[0012] [数1]

$$\frac{1}{Z_{in}(s)} = \frac{1}{Z_N(s)}\frac{T(s)}{1+T(s)} + \frac{1}{Z_D(s)}\frac{1}{1+T(s)} \quad \cdots(1)$$

$$Z_N(s) = -\frac{V_b}{I_b} \quad \cdots(2)$$

$$Z_D(s) = \frac{1}{\alpha^2}(R_m + sL_m) \quad \cdots(3)$$

$$T(s) = \left(\frac{1}{R_m + sL_m}\right)\left(K_p + \frac{K_i}{s}\right) \quad \cdots(4)$$

[0013] なお、V_b、I_bは、それぞれ、前記ＤＣバスの電圧、電流であり、R_m、L_mは、電動機の抵抗、インダクタンスであり、K_p、K_iは、それぞれ、電動機へのｑ軸電流を電流指令と一致させるために行われるＰＩ制御の比例ゲイン、積分ゲインである。

[0014] ここで、上述までの設計支援装置において、前記システム情報は、前記１台以上のサーボ装置のそれぞれの動作パターンを示す動作パターン情報を含んでもよい。動作パターンを含むことで、その動作パターンに基づいて前記１台以上のサーボ装置のそれぞれの動作に要する電流値に関する情報を導出でき、それを利用して上記の安定性に関する情報を出力することが可能となる。

[0015] また、上述までの設計支援装置は、前記出力手段により出力された前記ＤＣ給電システムの安定性に関する情報が、所定の安定性条件を満たしていない場合、前記所定の安定性条件を満たすように前記システム情報を修正する修正手段を、更に備えてもよい。このような構成により、修正手段による修正処理を通して、ＤＣ給電システムの安定性が所定の安定性条件を満たした

システム情報を取得することが可能となる。例えば、修正手段は、ＤＣバスの構成の修正を行うことができる。また、別法として、前記システム情報に前記動作パターン情報が含まれる場合であって、前記ＤＣ給電システムの安定性に関する情報が前記所定の安定性条件を満たしていない場合には、前記修正手段は、前記１台以上のサーボ装置のそれぞれの動作に要する電流値が下がるように前記動作パターン情報に応じた前記動作パターンを修正することもできる。

[0016] また、本発明の一観点に係る、インバータ回路と電動機とを含む１台以上のサーボ装置に直流電源からＤＣバスにより電力が供給されるＤＣ給電システムの設計を支援する設計支援方法は、前記ＤＣ給電システムの前記ＤＣバスの構成を示すシステム情報を取得し、前記システム情報と、前記１台以上のサーボ装置のそれぞれの動作に要する電流値とに基づいて、前記ＤＣ給電システムの安定性に関する情報を出力する。更に、当該設計支援方法において、前記システム情報と、前記１台以上のサーボ装置のそれぞれの動作に要する電流値とに基づいて、前記ＤＣ給電システムを前記１台以上のサーボ装置を含む負荷側部と前記負荷側部に電力を供給する電源側部とを接続したシステムであると見做して、前記電源側部の出力インピーダンスである$Z_o(s)$を特定すると共に、前記負荷側部の入力インピーダンスである$Z_{in}(s)$として、前記ＤＣバスを流れる電流値及び当該電流値の、前記電動機のｑ軸電流への変換率αの関数を特定し、特定した$Z_o(s)$及び$Z_{in}(s)$に基づき、ＤＣ給電システムの安定性に関する情報を出力する。また、本発明の一観点に係る設計支援プログラムは、コンピュータを、上記したいずれかの構成の設計支援装置として動作させる。従って、これらの技術によっても、ＤＣ給電システムの安定性をＤＣバスの構成（ＤＣバスのインダクタンス等）を考慮して解析（評価）することが可能となる。

発明の効果

[0017] 本発明によれば、インバータ回路と電動機とを含む１台以上のサーボ装置に直流電源からＤＣバスにより電力が供給されるＤＣ給電システムの安定性

を、ＤＣバスの構成を考慮して解析することが可能となる。

図面の簡単な説明

[0018] [図1]図１は、本発明の一実施形態に係る設計支援装置のブロック図である。

[図2A]図２Ａは、設計支援装置により安定性が解析さるＤＣ給電システムの構成例の説明図である。

[図2B]図２Ｂは、設計支援装置により安定性が解析さるＤＣ給電システムの構成例の説明図である。

[図3]図３は、サーボ装置が備える制御部のｑ軸電流の制御内容を示す制御ブロック図である。

[図4]図４は、ＬＣ並列回路情報の説明図である。

[図5]図５は、設計支援装置が表示するナイキスト線図の説明図である。

[図6]図６は、$Z_D(s)$、Ｔ(ｓ)を特定するために設計支援装置が使用する、ｑ軸電流の制御内容を示す制御ブロック図である。

[図7]図７は、設計支援装置により安定性が解析できることを確認するために行った実験結果の説明図である。

[図8]図８は、設計支援装置による設計支援処理のフローチャートである。

[図9]図９は、設計支援処理による、当初入力された動作パターンの修正処理について説明するための図である。

発明を実施するための形態

[0019] 以下、図面を参照して本発明の実施の形態について説明する。

[0020] 図１に、本発明の一実施形態に係る設計支援装置１０のブロック図を示し、図２Ａ及び図２Ｂに、設計支援装置１０により安定性が解析されるＤＣ給電システムの構成例を示す。

[0021] 本実施形態に係る設計支援装置１０（図１）は、図２Ａや図２Ｂに示したような構成のＤＣ給電システムの安定性を解析することで、当該ＤＣ給電システムの設計を支援するために開発した装置である。

[0022] 具体的には、図２Ａ及び図２Ｂに示してあるように、設計支援装置１０が安定性を解析するＤＣ給電システム（以下、解析対象システムとも表記する

）は、インバータ回路４１、電動機４２及び制御部４３により構成された１台（図２Ａ）又は複数台（図２Ｂ）のサーボ装置に、ＤＣバス３５を介して、直流電源３１からの電力が供給されるシステムである。

[0023] 解析対象システム内の各サーボ装置の電動機４２は、永久磁石同期電動機である。また、各サーボ装置の制御部４３は、電動機４２に取り付けられたエンコーダ（図示略）及び電動機４２の駆動電流を検知するセンサ（図示略）からの情報（図では、θ、i_u、i_v）に基づき、非干渉化補償を伴うベクトル制御を、ｄ軸電流I_d＝０として行うユニットである。

[0024] より詳細には、制御部４３は、図３に示したように、ｑ軸電流を制御するユニットとなっている。なお、この図３は、制御部４３のｑ軸電流の制御内容を示す制御ブロック図である。また、図３において、Ｋｔは、電動機４２のトルク定数であり、K_eは、電動機４２の誘起電圧定数である。Ｊ、Ｄｒ、Ｋは、それぞれ、機械系（電動機４２と電動機４２にて駆動される機械）のイナーシャ、粘性、ばね定数である。I_{q_ref}は、基準電流（電流指令）であり、I_qは、ｄｑ変換した電動機４２の電流（ｑ軸電流）である。電流補償器４５は、I_qをI_{q_ref}と一致させるためのＰＩ補償器である。

[0025] 図１に戻って、設計支援装置１０の構成及び機能を説明する。

図示してあるように、設計支援装置１０は、キーボード、マウス等の入力装置１１と、ディスプレイ１２と、本体部１３とを備える。

[0026] 本体部１３は、ＣＰＵ（Central Processing Unit）、ＲＡＭ（Random Access Memory）、不揮発性記憶装置１６（ハードディスクドライブ、ソリッドステートドライブ等）等で構成されたユニットである。この本体部１３の不揮発性記憶装置１６には、設計支援プログラム１８がインストールされており、ＣＰＵが設計支援プログラム１８をＲＡＭ上に読み出して実行することで、本体部１３は、ＵＩ処理部１４及び安定性解析処理部１５として動作する。

[0027] ＵＩ処理部１４は、ディスプレイ１２の画面上に各種画像情報を表示しながら、入力装置１１に対する操作を通じて、ユーザから、システム情報及び

表示対象指定情報を取得するユニットである。

[0028] ＵＩ処理部１４がユーザから取得するシステム情報は、解析対象システムの構成及び動作を示す情報である。ＵＩ処理部１４は、このシステム情報として、ユーザから、以下の情報を取得する。

・解析対象システムの電源側部３０を、図４に示した構成のＬＣ並列回路として取り扱うためのＬＣ並列回路指定情報

・直流電源３１（系統電圧を直流化するコンバータ等）の出力電圧V_b（以下、ＤＣバス電圧V_bとも表記する）

・各サーボ装置の電動機４２のインダクタンスL_m、電機子抵抗R_m

・各サーボ装置の電流補償器４５（図３）の比例ゲインK_p及び積分ゲインK_i

・各サーボ装置の動作パターン情報

[0029] なお、各サーボ装置の動作パターン情報とは、各サーボ装置を動作させるために、各制御部４３に入力される指令値群（位置指令の時系列データ等）のことである。動作パターン情報の用途については後述するが、動作パターン情報は、入力を省略できる情報となっている。

[0030] ＵＩ処理部１４がユーザから取得するＬＣ並列回路指定情報は、図４におけるC_bに、各インバータ回路４１の入力コンデンサの容量及びＤＣバスの容量を含めたものである。

[0031] ＵＩ処理部１４がユーザから取得する表示対象指定情報は、安定性解析処理部１５にナイキスト線図を表示させる１つ以上のＤＣバス電流I_bを指定する情報である。この表示対象指定情報は、１つ以上のＤＣバス電流I_bを、直接的に指定する情報であっても、間接的に指定する情報であっても良い。

[0032] ＵＩ処理部１４は、通常は、上記２情報（システム情報と表示対象指定情報）がユーザにより入力されるのを待機している。そして、２情報の入力完了後に、ユーザから安定解析処理の実行指示が入力された場合には、安定性解析処理の開始を安定性解析処理部１５に指示する。

[0033] 安定性解析処理部１５が実行する安定性解析処理は、システム情報に基づ

き、解析対象システム（図２Ａ、図２Ｂ）の電源側部３０の出力インピーダンスＺ$_o$（ｓ）（ｓは、ラプラス演算子）と解析対象システムの負荷側部４０の入力インピーダンスＺ$_{in}$（ｓ）とを特定し、特定したＺ$_o$（ｓ）及びＺ$_{in}$（ｓ）から“Ｚ$_o$（ｓ）／Ｚ$_{in}$（ｓ）”のナイキスト線図をディスプレイ１２の画面上に表示する（出力する）処理である。また、安定性解析処理は、負荷側部４０の入力インピーダンスＺ$_{in}$（ｓ）として、ｓと、ＤＣバス電流Ｉ$_b$と、ＤＣバス電流Ｉ$_b$の、電動機４２のｑ軸電流への変換率αの関数を用いる処理であると共に、表示対象指定情報が直接的／間接的に指定するＤＣバス電流Ｉ$_b$毎にナイキスト線図を表示する処理となっている。

[0034] すなわち、詳細については後述するが、安定性解析処理が行われると、ディスプレイ１２の画面上に、例えば、図５に示したようなナイキスト線図が表示される。そのため、ユーザは、各ＤＣバス電流Ｉ$_b$におけるナイキスト線図（ベクトル軌跡）と、（－１、０）の位置関係から、発振が生ずる／生じないＤＣバス電流Ｉ$_b$の範囲を把握することが出来る。なお、安定性解析処理部１５による出力は、ディスプレイ１２への上記ナイキスト線図の表示処理だけではなく、当該ナイキスト線図に関するデータを、設計支援装置１０の内部、又はその外部の装置で行われる別の処理に対して出力する形態の処理を含んでもよい。

[0035] 以下、解析対象システムの負荷側部４０が１台のサーボ装置で構成されている場合（図２Ａ）を中心に、安定性解析処理の内容をさらに具体的に説明する。

[0036] 安定性解析処理時、安定性解析処理部１５は、システム情報（ＬＣ並列回路情報）に基づき、解析対象システムの電源側部３０の出力インピーダンスＺ$_o$（ｓ）として、以下の（Ａ１）式で表される関数を用意する。

[0037] [数2]

$$Z_0(s)=\frac{s^2L_bC_br_{cb}+s(L_b+L_br_{Lb}r_{cb})+r_{Lb}}{s^2L_bC_b+sC_b(r_{Lb}+r_{cb})+1} \quad \cdots(\mathrm{A1})$$

また、安定性解析処理部１５は、システム情報（ＬＣ並列回路情報以外の情報）に基づき、負荷側部４０の入力インピーダンス$Z_{in}(s)$として、以下の（Ａ２）式を満たす関数を用意する。

[0038] [数3]

$$\frac{1}{Z_{in}(s)} = \frac{1}{Z_N(s)}\frac{T(s)}{1+T(s)} + \frac{1}{Z_D(s)}\frac{1}{1+T(s)} \quad \cdots (A2)$$

この（Ａ２）式において、$Z_N(s)$は、理想フィードバック時におけるサーボ装置の入力インピーダンスである。また、$Z_D(s)$は、無帰還時（フィードバックがない場合）におけるサーボ装置の入力インピーダンスであり、Ｔ（ｓ）は、サーボ装置の一巡伝達関数である。

[0039] なお、解析対象システムの負荷側部４０が複数台のサーボ装置で構成されている場合には、安定性解析処理部１５は、（Ａ２）式により用意した各サーボ装置の$Z_{in}(s)$を合成することで、負荷側部４０（複数台のサーボ装置全体）の入力インピーダンス$Z_{inall}(s)$を用意することができる。すなわち、安定性解析処理部１５は、各サーボ装置が単軸でＤＣバス３５に接続されていると仮定した場合の、その各サーボ装置の$Z_{in}(s)$を$Z_i(s)$（ｉ＝１～ｉｍａｘ）と表記すると、以下の式を満たす$Z_{inall}(s)$を用意することができる。

[0040] [数4]

$$\frac{1}{Z_{inall}(s)} = \sum_{i=1}^{imax} \frac{1}{Z_i(s)} \quad \cdots (C1)$$

[0041] また、理想フィードバック時におけるサーボ装置の入力インピーダンスは、$-V_b/I_b$である。すなわち、$Z_N(s)$を、以下の（Ｂ０）式で表すことが出来る。

[0042]

[数5]

$$Z_N(\mathrm{s}) = -\frac{V_b}{I_b} \qquad \cdots(\mathrm{B0})$$

[0043] また、サーボ装置においてフィードバックされているのは、I_qである（図３参照）。そのため、Z_D（ｓ）、Ｔ（ｓ）として、それぞれ、I_qがフィードバックされていない場合におけるサーボ装置の入力インピーダンス、一巡伝達関数を使用すれば良いことになる。

[0044] I_qがフィードバックされていない場合におけるサーボ装置の入力インピーダンス、一巡伝達関数は、図３から求めることが出来る。ただし、Z_D（ｓ）、Ｔ（ｓ）として、図３から求めた関数を用いると、ナイキスト線図表示時の計算負荷が大きくなってしまう。

[0045] ここで、サーボ装置の機械系の応答性（通常、数百Ｈｚ）が、電源側部３０の共振周波数よりもかなり低いことを考えると、Ｈ（ｓ）を無視した制御ブロック図、すなわち、図６に示した制御ブロック図から、I_qがフィードバックされていない場合におけるサーボ装置の入力インピーダンス、一巡伝達関数を求めて、Z_D（ｓ）、Ｔ（ｓ）として使用しても、安定性を良好に評価できることになる。

[0046] そして、ＰＩ（ｓ）、Ｇ（ｓ）は、それぞれ、以下の（Ａ３）式、（Ａ４）式で表すことが出来るため、Ｔ（ｓ）を、（Ａ５）式で表せる。

[0047]

[数6]

$$PI(s) = K_p + \frac{K_i}{s} \quad \cdots (A3)$$

$$G(s) = \frac{1}{R_m + sL_m} \quad \cdots (A4)$$

$$T(s) = G(s)PI(s)$$

$$= (\frac{1}{R_m + sL_m})(K_p + \frac{K_i}{s}) \quad \cdots (A5)$$

[0048] また、I_qがフィードバックされていない場合におけるサーボ装置の入力インピーダンス$Z_D(s)$は、電動機４２の電気的時定数部分となる。ただし、図６から求められる入力インピーダンス$Z_D(s)$は、V_q，I_q側の値となる。そのため、安定性解析処理部１５は、変換率αについて成立する以下の（Ａ６）式（詳細は後述）を用いて、図６から求められる入力インピーダンス$Z_D(s)$を、V_q，I_q側の値に換算することにより、以下の（Ａ７）式で表される$Z_D(s)$を用意する。なお、本実施形態に係る安定性解析処理部１５は、$Z_D(s)$を用意する際、各サーボ装置の動作パターン情報が設定されている場合には、サーボ装置に関するイナーシャ等の機械情報を用い、設定されている動作パターン情報に基づき、速度、電流指令値の変化パターンを特定し、特定結果から変換率αを算出する。また、安定性解析処理部１５は、各サーボ装置の動作パターン情報が設定されていない場合には、予め用意されている動作パターン情報に基づき、上記手順で、変換率αを算出する。

[0049] [数7]

$$\frac{V_b}{I_b} = \frac{1}{\alpha^2}\frac{V_q}{I_q} \quad \cdots (A6)$$

$$Z_D(s) = \frac{1}{\alpha^2}(R_m + sL_m) \quad \cdots (A7)$$

[0050] 以上のようにして$Z_o(s)$、Z_N，$Z_D(s)$、$T(s)$を用意した安定性解析処理部１５は、Z_N，$Z_D(s)$及び$T(s)$と（Ａ２）式とから、負荷側部４０（１台のサーボ装置）の入力インピーダンス$Z_{in}(s)$を用意する。そして、安定性解析処理部１５は、用意した$Z_{in}(s)$及び$Z_o(s)$に基づき、表示対象指定情報が直接的／間接的に指定するＤＣバス電流I_b毎に、“$Z_o(s)／Z_{in}(s)$”のナイキスト線図をディスプレイ１２の画面上に表示してから、安定性解析処理を終了する。

[0051] 以下、幾つかの事項について補足する。

図５に示したナイキスト線図は、実際のシステムに則した条件で安定性解析処理を行うことにより得られたものである。なお、（Ａ５）式のK_p値及びK_i値としては、$T(s)$のボード線図における０ｄＢを横切る周波数が所定の周波数となる値を採用した。当該ナイキスト線図は、最大電流をImax1、Imax2、Imax3（Imax1<Imax2<Imax3）とした表示条件で表示されたものである。

[0052] 図７に、L_m値、K_p値等が上記値であるＤＣ給電システムを実際に制御した実験結果を示す。

図７から明らかなように、速度が上昇するにつれ、ＤＣバス電流I_bが増加していき、ＤＣバス電流I_bがImax2程度まで上昇すると、図５に示したナイキスト線図から判定される安定性通りに、ＤＣバス電流I_b及びＤＣバス電圧V_bが発振し始めることが確認できた。

[0053] このように、設計支援装置１０（安定性解析処理部１５）は、ＤＣ給電システムの実際の動作と対応するナイキスト線図を表示することが出来る。従って、設計支援装置１０によれば、システム情報であるＤＣ給電システムの構成（例えば、ＤＣケーブルとして使用するケーブルの仕様）やインバータ回路４１に対する制御内容を、振動がより発生しにくいものとすることが可能となる。

[0054] また、別法として、設計支援装置１０での安定性解析処理部１５の処理結果に基づいて、システム情報の修正を自動的に行ってもよい。そこで、システム情報の修正処理について、図８に基づいて説明する。図８に示すフロー

チャートに従う制御は、設計支援装置１０の本体部１３によって実行される。先ず、Ｓ１０１では、システム情報の取得が行われる。当該取得処理は、入力装置１１に対する操作を通じて、ユーザから、ＵＩ処理部１４がシステム情報として、ＤＣバスの構成に関する情報やサーボ装置の動作パターン情報を取得する処理に相当する。続いて、Ｓ１０２では、解析対象システムの安定性情報の出力が行われる。当該出力処理は、安定性解析処理部１５によるナイキスト線図等のシステムの安定性に関する安定性情報を出力する処理に相当する。

[0055] そして、Ｓ１０３では、Ｓ１０２で出力された安定性情報と、解析対象システムにおいて、各サーボ装置の動作パターンから導出される、その動作に必要な電流値とに基づいて、所定の安定性条件を満たしているか否かが判定される。例えば、図５に示す出力結果であるナイキスト線図に基づいて説明する。この場合の所定の安定性条件とは、ナイキスト線図と（－１，０）との相対位置関係となる。ここで、動作パターンから導出される最大の電流値がＩｍａｘ２やＩｍａｘ３である場合には、所定の安定性条件を満たしていないと判断できる（否定判定）。一方で、最大の電流値がＩｍａｘ１である場合には、所定の安定性条件を満たしていると判断できる（肯定判定）。

[0056] そこで、Ｓ１０３で肯定判定された場合には、処理はＳ１０４へ進み、Ｓ１０１で取得されたシステム情報は維持される。すなわち、Ｓ１０１で取得されたシステム情報に対応するＤＣバスの構成は、当該システム情報とサーボ装置の動作パターンを考慮しても安定性を確保することができるものであるから、それを修正する必要は無く維持される。一方で、Ｓ１０３で否定判定された場合には、処理はＳ１０５へ進み、Ｓ１０１で取得されたシステム情報が修正される。当該修正処理が、本願の修正手段による処理に相当する。システム情報の修正については、一例としては、ＤＣバスの構成に関する情報を修正してもよい。この場合、サーボ装置の動作パターンを実現可能な範囲において、ＤＣバスの諸元を適宜修正し、その修正結果をディスプレイ１２に表示してもよい。

[0057] また、システム情報の修正の別例として、ＤＣバスの構成はそのままに維持した上で、システム情報に含まれる動作パターンを適宜修正して、その修正結果をディスプレイ１２に表示してもよい。例えば、図９に示すように、Ｓ１０１で取得された動作パターン情報のうち、サーボ装置の最高速度を線Ｌ１で示すものから線Ｌ２で示すものに修正し、その修正結果をディスプレイ１２に表示する。このように最高速度を低下させることで、サーボ装置の作動に要する電流値を低くすることができ、所定の安定性条件を満たすことが可能となる。

[0058] なお、システム情報が修正された場合、その修正結果の受け入れは、入力装置１１を介してユーザが適宜決定すればよい。

[0059] 最後に、上記した（Ａ６）式が成立する理由を説明しておくことにする。

ＤＣバス電圧V_bとＤＣバス電流I_bとｄ軸電圧V_dとｄ軸電流I_dとｑ軸電圧V_qとｑ軸電流I_qとの間には、以下の（Ｂ１）式が成立する。そして、$I_d=0$であるため、（Ｂ１）式を以下の（Ｂ２）式に変形することが出来る。

[0060] [数8]

$$V_b I_b = V_d I_d + V_q I_q \quad \cdots (\mathrm{B1})$$

$$V_b I_b = V_q I_q \quad \cdots (\mathrm{B2})$$

[0061] （Ｂ２）式から、ＤＣバス電流I_bとｑ軸電流I_qの比である変換率αについて、以下の（Ｂ３）式が成立する。従って、以下の（Ｂ４）式、すなわち、上記した（Ａ６）式が成立することになる。

[0062] [数8]

$$\alpha V_b = V_q \quad \cdots (\mathrm{B3})$$

$$\frac{V_b}{I_b} = \frac{1}{\alpha^2}\frac{V_q}{I_q} \quad \cdots (\mathrm{B4})$$

[0063] 《変形形態》

上記した設計支援装置１０は、各種の変形が可能なものである。例えば，安定性解析処理を、$Z_o(s)/Z_{in}(s)$のナイキスト線図ではなく、$Z_o(s)$及び$Z_{in}(s)$のボード線図を表示する処理に変形しても良い。なお、ボード線図を用いる場合には、$Z_o(s)/Z_{in}(s)$の大きさが1以下または位相が１８０度以下の位相差であるときに安定となると判定することが出来る。すなわち、$Z_o(s)$及び$Z_{in}(s)$のゲイン線図や位相線図が図１０に示したようなものであるときに、安定となると判定することが出来る。また、安定性解析処理を、ナイキスト線図やボード線図を表示する処理ではなく、ナイキスト線図やボード線図を表すデータ（数値群）を出力する処理に変形しても良い。安定性解析処理を、そのような処理に変形する場合には、安定性解析処理に、安定であるか否かを判定して判定結果を出力する機能を付与しておいても良い。また、設計支援装置１０から幾つかの機能を取り除いておいても良いことや、設計支援装置１０を、ネットワークを介して情報を入出力する装置（換言すれば、入力装置１１、ディスプレイ１２を備えない装置）に変形しても良いことは、当然のことである。

[0064] 《付記１》

インバータ回路（４１）と電動機（４２）とを含む１台以上のサーボ装置にＤＣバス（３５）を介して直流電源（３１）から電力が供給されるＤＣ給電システムの設計を支援する設計支援装置（１０）であって、

前記ＤＣ給電システムの前記ＤＣバスの構成を示すシステム情報を取得する取得手段（１４）と、

前記取得手段（１４）により取得された前記システム情報と、前記１台以上のサーボ装置のそれぞれの動作に要する電流値とに基づいて、前記ＤＣ給電システムの安定性に関する情報を出力する出力手段（１５）と、

を備える、設計支援装置（１０）。

符号の説明

[0065] １０ 設計支援装置

１１ 入力装置

１２　ディスプレイ

１３　本体部

１４　ＵＩ処理部

１５　安定性解析処理部

１６　不揮発性記憶部

１８　設計支援プログラム

３０　電源側部

３１　直流電源

４０　負荷側部

４１　インバータ

４２　電動機

４３　制御部

請求の範囲

[請求項1] インバータ回路と電動機とを含む１台以上のサーボ装置にＤＣバスを介して直流電源から電力が供給されるＤＣ給電システムの設計を支援する設計支援装置であって、

前記ＤＣ給電システムの前記ＤＣバスの構成を示すシステム情報を取得する取得手段と、

前記取得手段により取得された前記システム情報と、前記１台以上のサーボ装置のそれぞれの動作に要する電流値とに基づいて、前記ＤＣ給電システムの安定性に関する情報を出力する出力手段と、

を備える、設計支援装置。

[請求項2] 前記出力手段は、前記システム情報に応じた$Z_o(s)$及び$Z_{in}(s)$（ｓはラプラス演算子）に基づき、前記ＤＣ給電システムの安定性に関する情報を出力し、

前記$Z_o(s)$が、前記ＤＣ給電システムを前記１台以上のサーボ装置を含む負荷側部と前記負荷側部に電力を供給する電源側部とを接続した接続システムであると見做した場合における前記電源側部の出力インピーダンスを、ｓの関数として表した式であり、

前記$Z_{in}(s)$が、前記ＤＣ給電システムを前記接続システムであると見做した場合における前記負荷側部の入力インピーダンスを、ｓ、前記ＤＣバスを流れる電流値であるバス電流値及び当該バス電流値の、前記電動機のｑ軸電流への変換率αの関数として表した式である、

請求項１に記載の設計支援装置。

[請求項3] 前記システム情報は、前記１台以上のサーボ装置のそれぞれの動作パターンを示す動作パターン情報を含む、

請求項１又は請求項２に記載の設計支援装置。

[請求項4] 前記出力手段により出力された前記ＤＣ給電システムの安定性に関する情報が、所定の安定性条件を満たしていない場合、前記所定の安

定性条件を満たすように前記システム情報を修正する修正手段を、更に備える、

請求項１から請求項３の何れか１項に記載の設計支援装置。

[請求項5] 前記システム情報に前記動作パターン情報が含まれる場合であって、前記ＤＣ給電システムの安定性に関する情報が前記所定の安定性条件を満たしていない場合には、前記修正手段は、前記１台以上のサーボ装置のそれぞれの動作に要する電流値が下がるように前記動作パターン情報に応じた前記動作パターンを修正する、

請求項４に記載の設計支援装置。

[請求項6] 前記出力手段は、“$Z_o(s)／Z_{in}(s)$”のナイキスト線図を出力する、

ことを特徴とする請求項１から請求項５の何れか１項に記載の設計支援装置。

[請求項7] 前記出力手段は、$Z_o(s)$及び$Z_{in}(s)$のボード線図を出力する、

ことを特徴とする請求項１から請求項５の何れか１項に記載の設計支援装置。

[請求項8] 前記出力手段は、前記ＤＣ給電システム内の前記サーボ装置が１つである場合の前記$Z_{in}(s)$を、以下の（１）～（４）式から求める、

ことを特徴とする請求項１から７のいずれか一項に記載の設計支援装置。

[数1]

$$\frac{1}{Z_{in}(s)} = \frac{1}{Z_N(s)}\frac{T(s)}{1+T(s)} + \frac{1}{Z_D(s)}\frac{1}{1+T(s)} \quad \cdots(1)$$

$$Z_N(s) = -\frac{V_b}{I_b} \quad \cdots(2)$$

$$Z_D(s) = \frac{1}{\alpha^2}(R_m + sL_m) \quad \cdots(3)$$

$$T(s) = \left(\frac{1}{R_m + sL_m}\right)\left(K_p + \frac{K_i}{s}\right) \quad \cdots(4)$$

なお、V_b、I_bは、それぞれ、前記ＤＣバスの電圧、電流であり、R_m、L_mは、電動機の抵抗、インダクタンスであり、K_p、K_iは、それぞれ、電動機のｑ軸電流を電流指令と一致させるために行われるＰＩ制御の比例ゲイン、積分ゲインである。

[請求項9] インバータ回路と電動機とを含む１台以上のサーボ装置に直流電源からＤＣバスにより電力が供給されるＤＣ給電システムの設計を支援する設計支援方法において、

前記ＤＣ給電システムの前記ＤＣバスの構成を示すシステム情報を取得し、

前記システム情報と、前記１台以上のサーボ装置のそれぞれの動作に要する電流値とに基づいて、前記ＤＣ給電システムの安定性に関する情報を出力する、

設計支援方法。

[請求項10] 前記システム情報と、前記１台以上のサーボ装置のそれぞれの動作に要する電流値とに基づいて、前記ＤＣ給電システムを前記１台以上のサーボ装置を含む負荷側部と前記負荷側部に電力を供給する電源側部とを接続したシステムであると見做して、前記電源側部の出力インピーダンスである$Z_o(s)$（ｓはラプラス演算子）を特定すると共に、前記負荷側部の入力インピーダンスである$Z_{in}(s)$として、前記

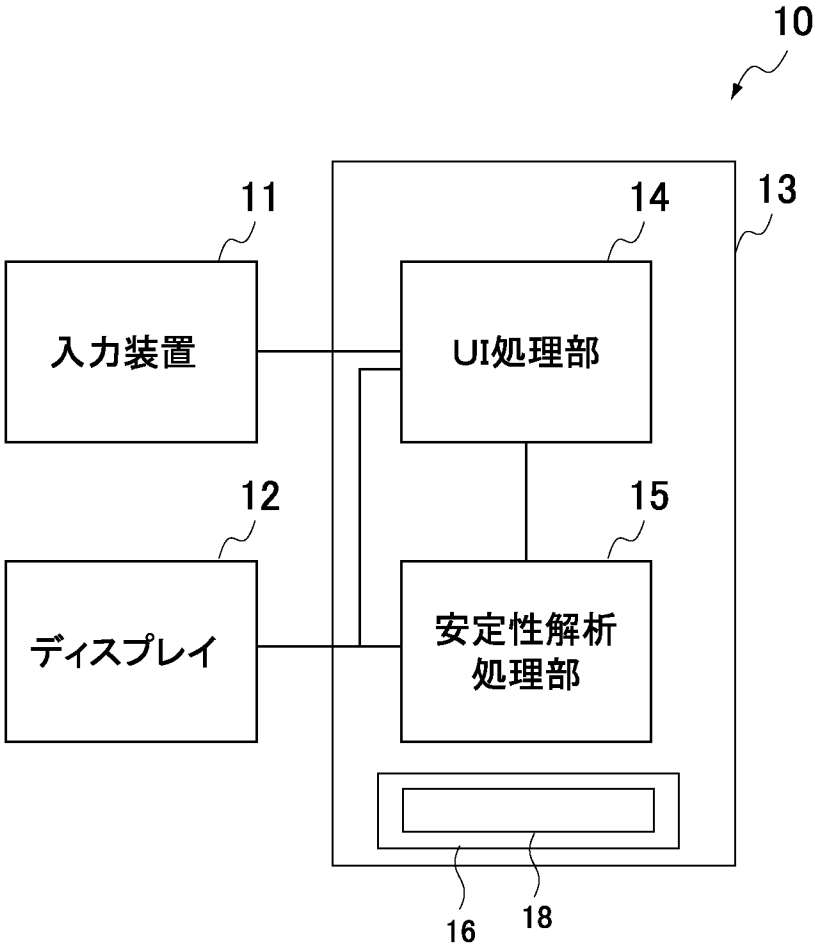
ＤＣバスを流れる電流値と当該電流値の、前記電動機のｑ軸電流への変換率αの関数を特定し、

特定した前記$Z_o(s)$及び前記$Z_{in}(s)$に基づき、前記ＤＣ給電システムの安定性に関する情報を出力する、

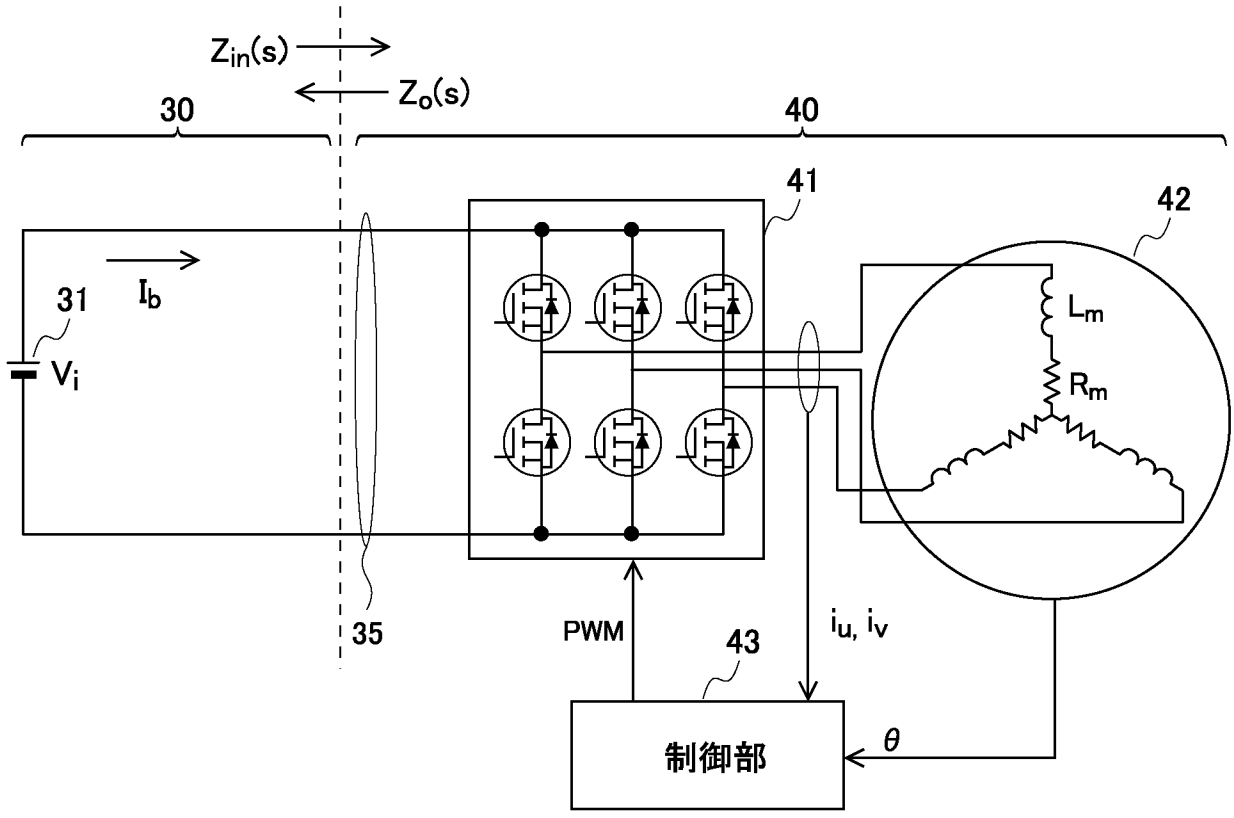
請求項９に記載の設計支援方法。

[請求項11] コンピュータを、請求項１から８のいずれか一項に記載の設計支援装置として動作させる設計支援プログラム。

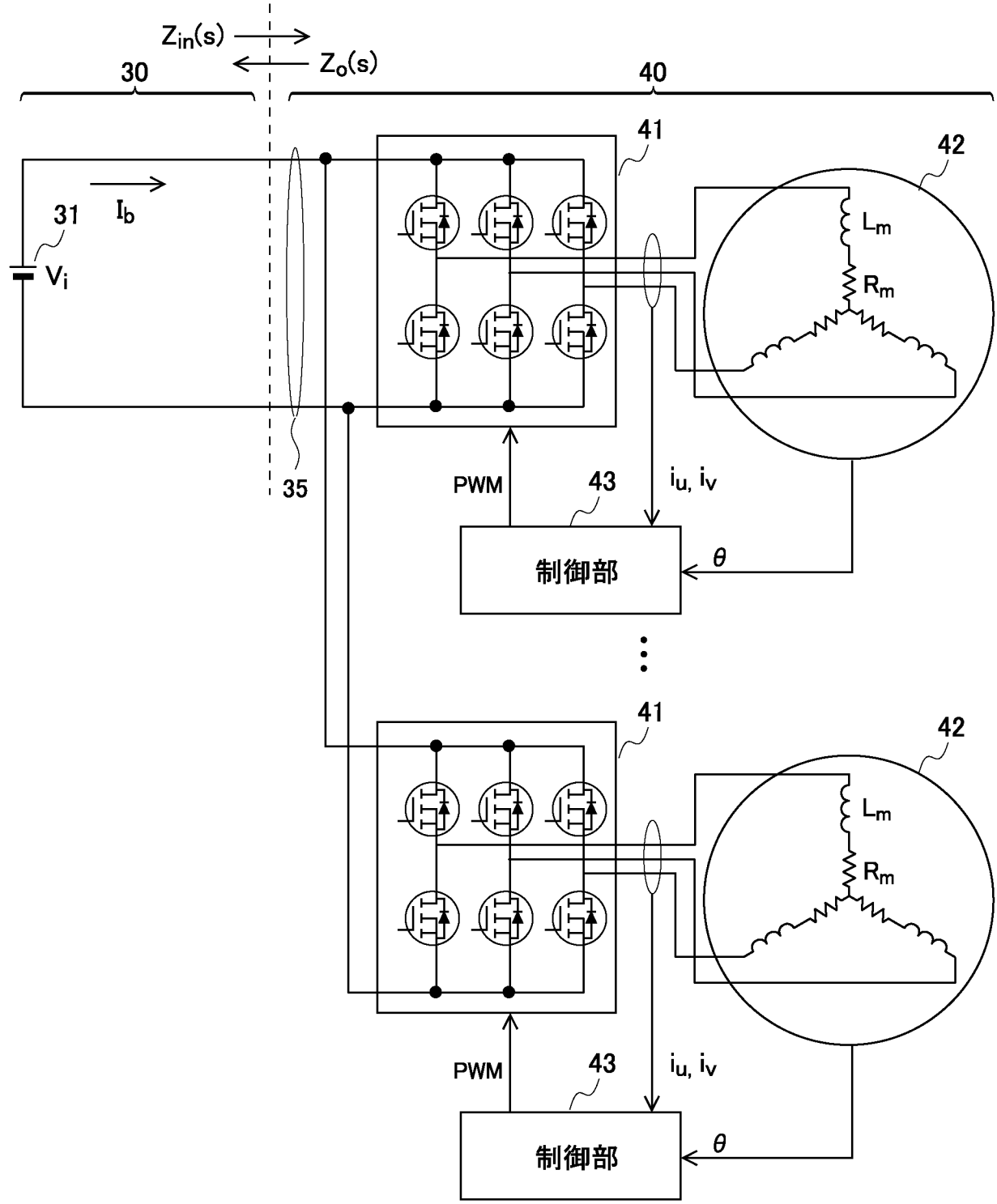
[図1]


10
11
14
13
入力装置
UI処理部
12
15
ディスプレイ
安定性解析
処理部
16
18

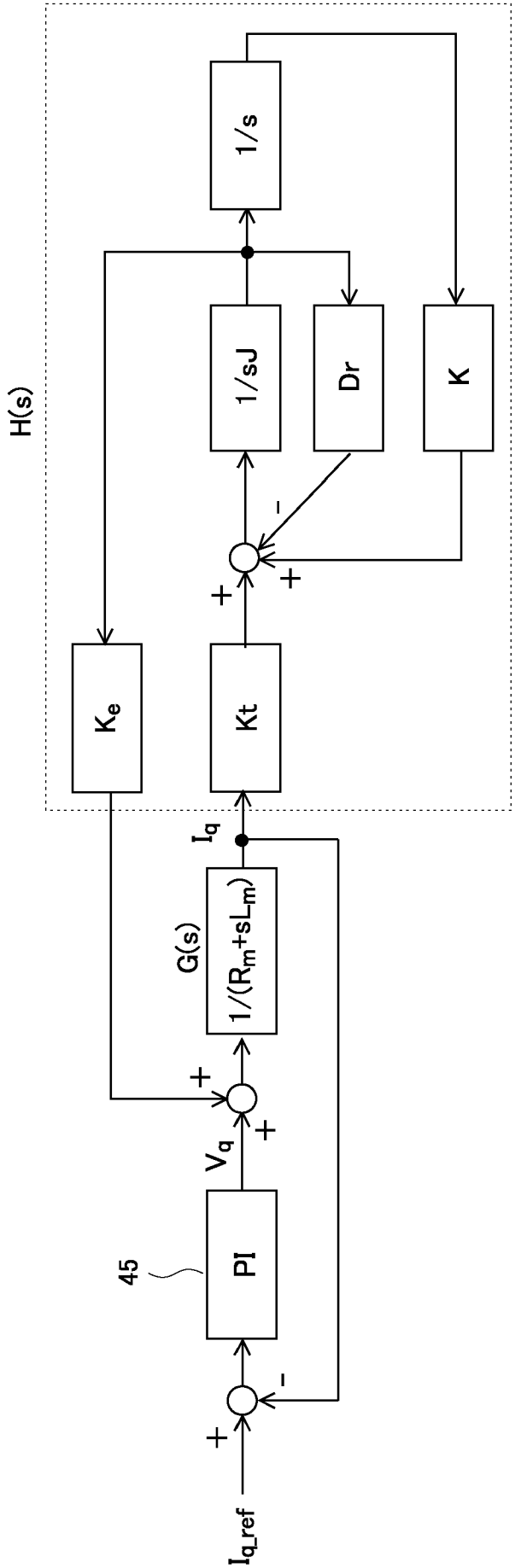
[図2A]


Zin(s)
Zo(s)
30
40
41
42
31
Ib
Vi
Lm
Rm
35
PWM
43
iu, iv
制御部
θ

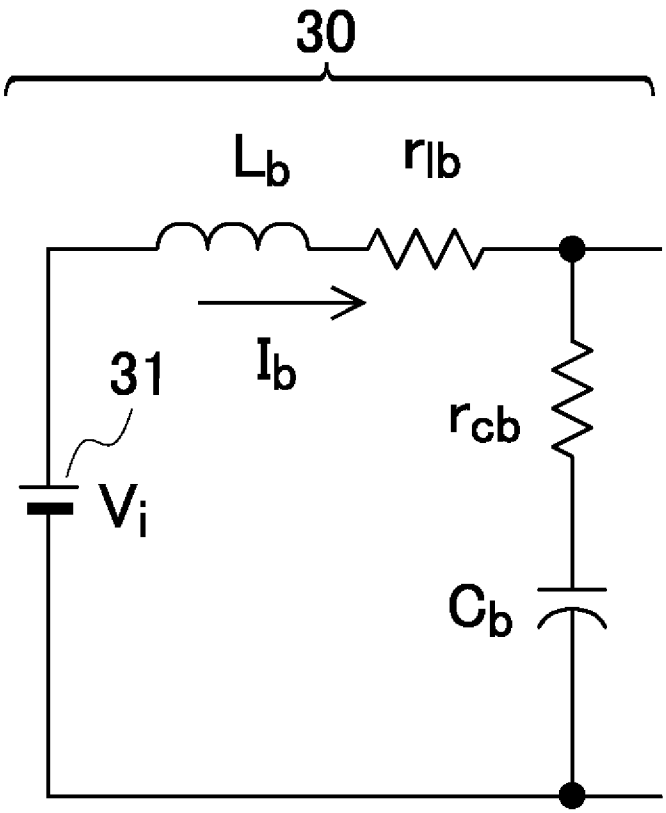
[図2B]


Zin(s)
Zo(s)
30
40
41
42
31
Ib
Vi
Lm
Rm
35
PWM
43
iu, iv
制御部
θ
41
42
Lm
Rm
PWM
43
iu, iv
制御部
θ

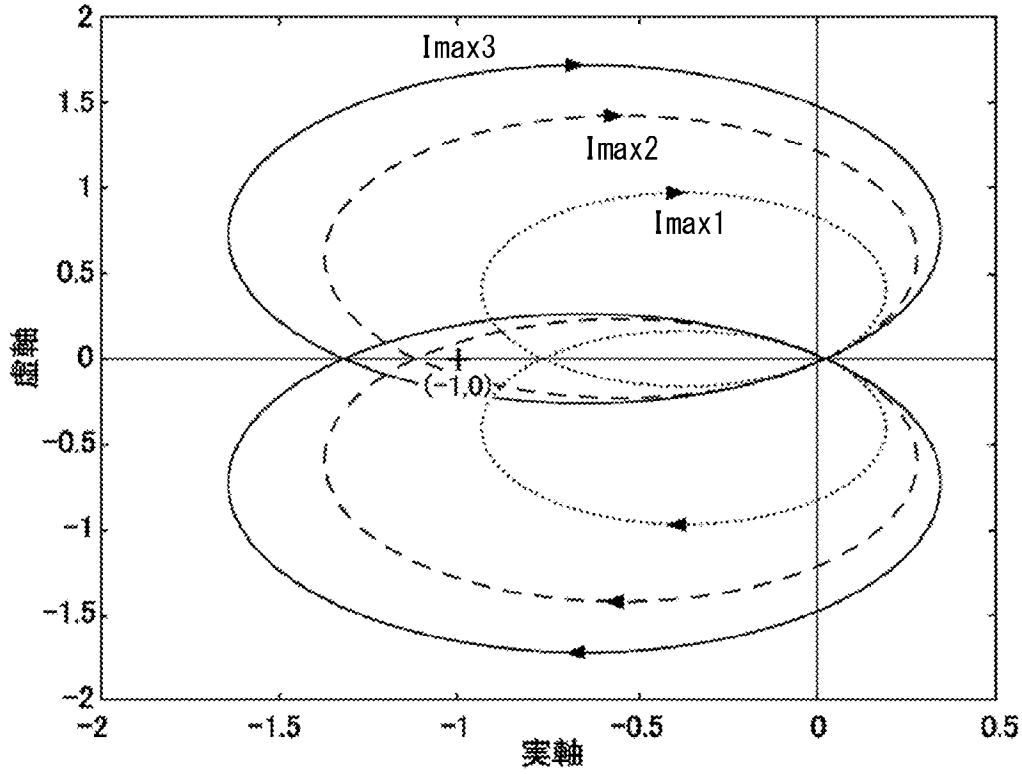
[図3]



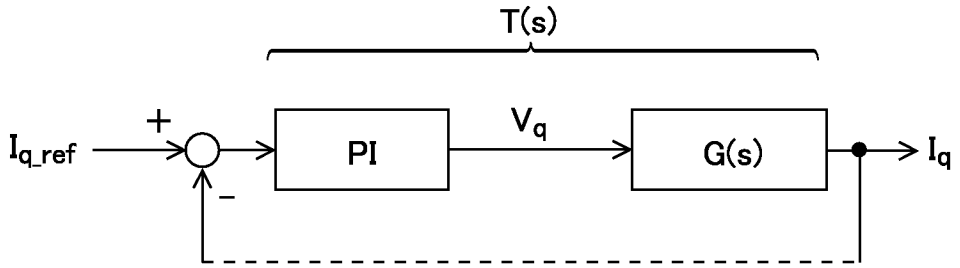
[図4]


30
Lb
rlb
Ib
31
rcb
Vi
Cb

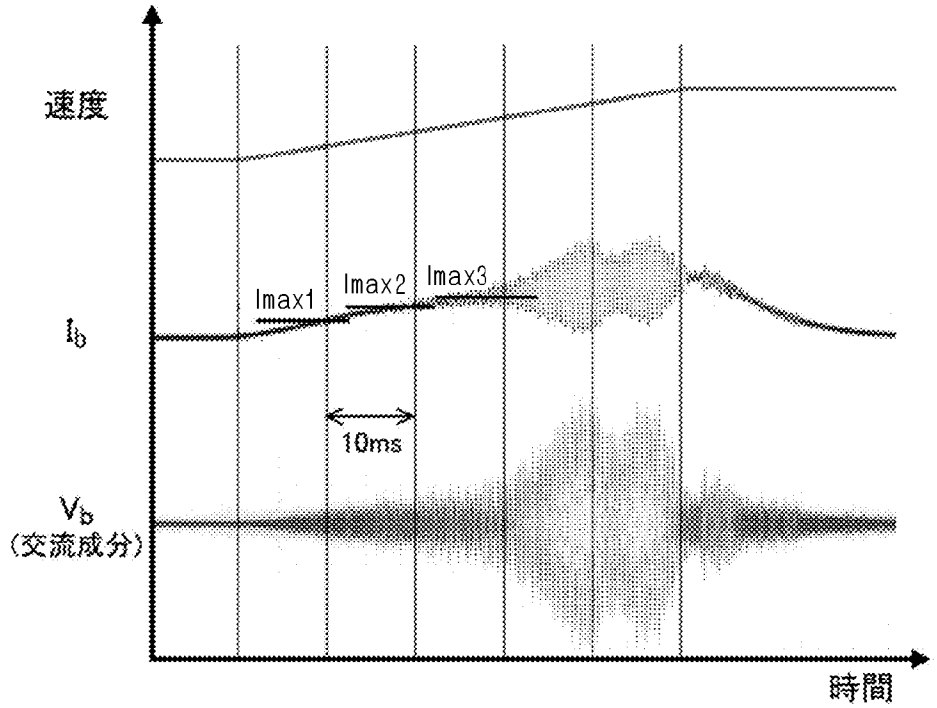
[図5]


Imax3
Imax2
Imax1
(-1,0)
虚軸
実軸
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
-2
-2
-1.5
-1
-0.5
0
0.5

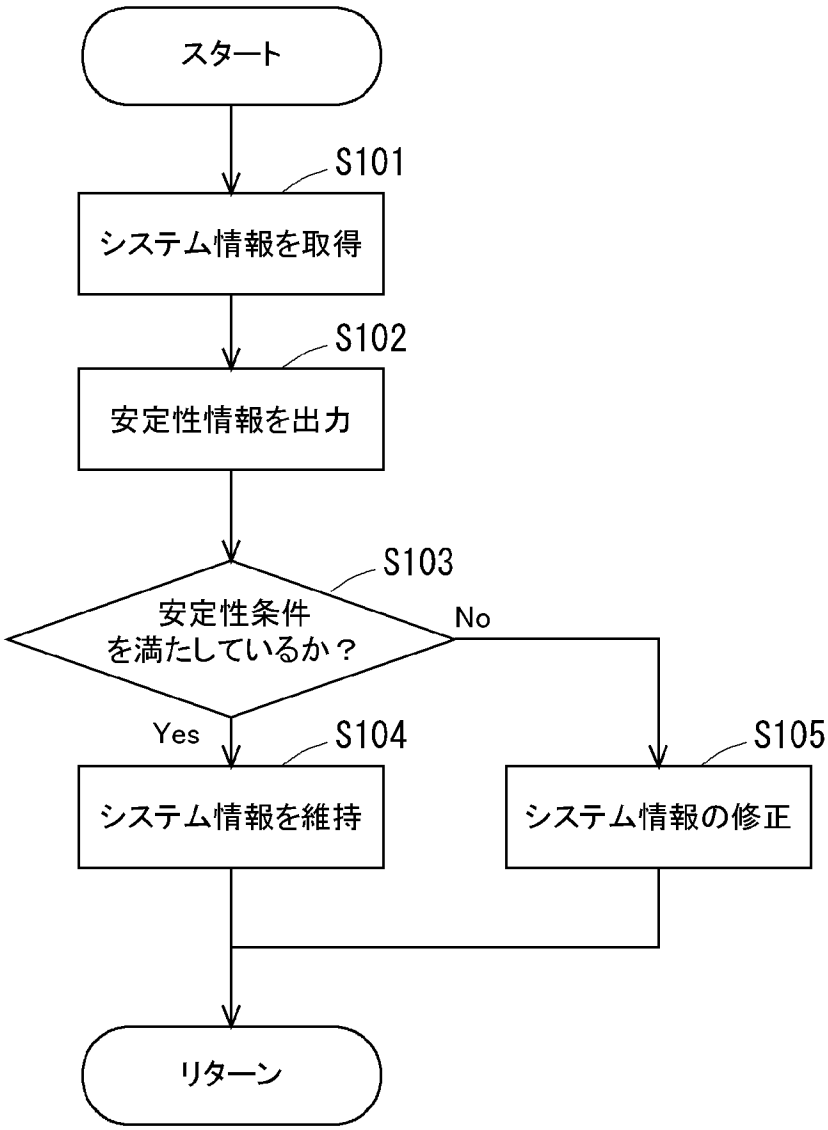
[図6]



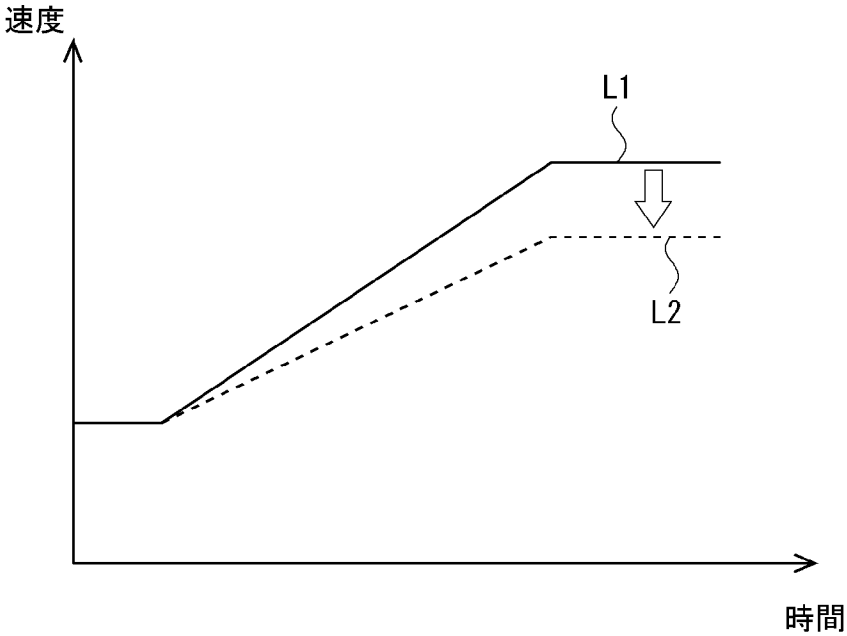
[図7]



[図8]


スタート
S101
システム情報を取得
S102
安定性情報を出力
S103
安定性条件
を満たしているか？
No
Yes
S104
システム情報を維持
S105
システム情報の修正
リターン

[図9]


速度
L1
L2
時間

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2020/002574

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G06F 30/36(2020.01)i; G06F 30/367(2020.01)i
FI: G06F17/50 652A; G06F17/50 662G

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)
G06F30/36; G06F30/367

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	1971-2020
Registered utility model specifications of Japan	1996-2020
Published registered utility model applications of Japan	1994-2020

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	JP 2015-19566 A (THE BOEING CO.) 29.01.2015 (2015-01-29) abstract	1-11
A	長野剛ほか，永久磁石同期電動機複数台並列運転におけるダンピング制御の安定性および補助インバータの出力電力に関する検討，電気学会産業応用部門大会(CD-ROM), 28 August 2013, pp. 1-4, page 1, left column, line 1 to right column, line 4, (NAGANO, Tsuyoshi et al., "Investigation of the stability of the damping control and the output power of the auxiliary inverter for Multi-parallel Motor Drive System of Permanent Magnet Synchronous Motors", IEE Japan Industry Applications Society Conference (CD-ROM))	1-11

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

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

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
13 April 2020 (13.04.2020)	21 April 2020 (21.04.2020)

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2020/002574

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2015-19566 A	29 Jan. 2015	US 2015/0019175 A1 abstract CN 104281731 A	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2020/002574

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

G06F 30/36(2020.01)i; G06F 30/367(2020.01)i
FI: G06F17/50 652A; G06F17/50 662G

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））

G06F30/36; G06F30/367

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０２０年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２０年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２０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	JP 2015-19566 A (ザ・ボーイング・カンパニー) 29.01.2015 (2015-01-29) 【要約】	1-11
A	長野剛ほか，永久磁石同期電動機複数台並列運転におけるダンピング制御の安定性および補助インバータの出力電力に関する検討，電気学会産業応用部門大会(CD-ROM)，2013.08.28，1-4ページ １ページ左欄１行～右欄４行	1-11

☐ Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。

☑ パテントファミリーに関する別紙を参照。

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

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
13.04.2020	21.04.2020

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）
田中　幸雄 5H 9191

電話番号 03-3581-1101 内線 3545

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/JP2020/002574

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2015-19566 A	29.01.2015	US 2015/0019175 A1 ABSTRACT CN 104281731 A	