

(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
2018年10月18日(18.10.2018)



(10) 国際公開番号

WO 2018/190255 A1

- (51) 国際特許分類:
H02P 29/00 (2016.01) *G06F 17/50* (2006.01)
B60L 9/18 (2006.01) *G06Q 50/04* (2012.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2018/014677
- (22) 国際出願日: 2018年4月6日(06.04.2018)
- (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 2017-079820 2017年4月13日(13.04.2017) JP
- (71) 出願人: 日立オートモティブシステムズ株式会社(HITACHI AUTOMOTIVE SYSTEMS,

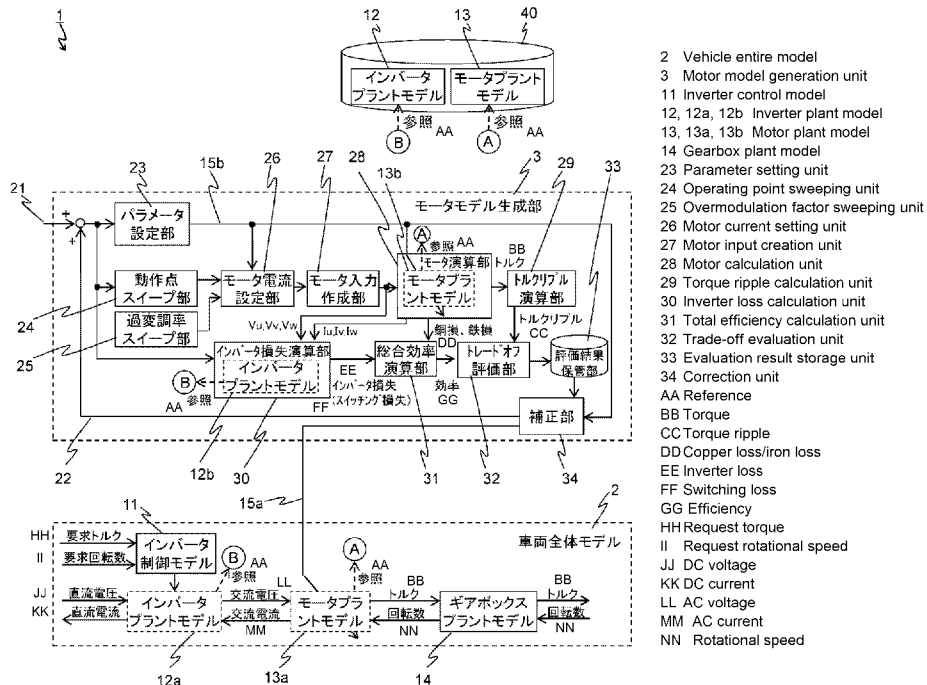
LTD.) [JP/JP]; 〒3128503 茨城県ひたちなか市高場2520番地 Ibaraki (JP).

- (72) 発明者: 宮崎 泰三 (MIYAZAKI Taizou); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 安島 俊幸 (AJIMA Toshiyuki); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 山崎 勝 (YAMASAKI Masaru); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 原 崇文 (HARA Takafumi); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP).

(54) Title: MOTOR MODEL SIMULATION PROGRAM, MOTOR SIMULATOR, AND VEHICLE INTEGRATED SIMULATOR

(54) 発明の名称: モータモデルシミュレーションプログラム、モータシミュレータ、車両統合シミュレータ

図2



(57) Abstract: Provided is a motor design taking the entire vehicle system into account. In a vehicle integrated simulator 1, an operating point sweeping unit 24 outputs an operating point in the motor operating range on the basis of an output request value 21 for a motor mounted on a vehicle. A parameter setting unit 23 sets structural parameters relating to the structure of the motor. A motor input creation unit 27 creates, on the basis of the operating point output from the operating point sweeping unit 24, an input value to a motor plant model 13b obtained by modeling the motor. A motor



(74) 代理人: 戸田 裕二 (TODA Yuji); 〒1008220 東京都千代田区丸の内一丁目 6 番 1 号 株式会社日立製作所内 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, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, 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))

calculation unit 28 calculates an output value to the input value using the motor plant model 13b on the basis of electrical parameters relating to motor electrical characteristics that are set by the parameter setting unit 23 on the basis of the structural parameters. A correction unit 34 modifies the structural parameters so that the output value calculated by the motor calculation unit 28 approaches the output request value 21.

(57) 要約: 車両システム全体を見据えたモータ設計を実現する。車両統合シミュレータ 1 において、動作点スイープ部 2 4 は、車両に搭載されるモータに関する出力要求値 2 1 に基づいて、モータ動作領域内部の動作点を出力する。パラメータ設定部 2 3 は、モータの構造に関する構造パラメータを設定する。モータ入力作成部 2 7 は、動作点スイープ部 2 4 から出力された動作点に基づいて、モータをモデル化したモータプラントモデル 1 3 b への入力値を作成する。モータ演算部 2 8 は、パラメータ設定部 2 3 で構造パラメータに基づき設定されたモータの電気的特性に関する電気パラメータに基づいて、入力値に対する出力値をモータプラントモデル 1 3 b を用いて演算する。補正部 3 4 は、モータ演算部 2 8 で演算された出力値が出力要求値 2 1 に近づくように、構造パラメータを変更する。

明 細 書

発明の名称：

モータモデルシミュレーションプログラム、モータシミュレータ、車両統合シミュレータ

技術分野

[0001] 本発明は、モータモデルシミュレーションプログラム、モータシミュレータ、および車両統合シミュレータに関する。

背景技術

[0002] 車両システムは数多くの部品の組合せからなる複雑なシステムである。近年、車両に求められる機能は低燃費化や安全性能の強化などますます高度化かつ複雑化している。しかも、市場要求は年々変化するため、開発期間を短縮して顧客ニーズにできるだけ早く対応することが求められる。

[0003] 上記課題を実現するための一手法として、車両統合シミュレータの利用が進められている。これは、車両全体の挙動をコンピュータなどを用いてシミュレートできるように数式化、あるいはプログラム化しておき、実車によらず計算で車両の性能を見積もることを目的とするものである。以降、数式やプログラムを「モデル」と称し、またモデルを用いてシミュレーション可能な状態とすることを「モデル化」と称す。

[0004] 車両統合シミュレータを用いれば、これまでは車両を試作することによって性能評価を行っていたところを、計算機上で性能評価を行うことができるようになる。そのため、試作よりも多くの設計案を評価することができるため、より顧客要求にふさわしい設計を選択することができるようになる。また、試作によらなければ評価できない部分以外は試作費用を削減できるため、開発コストの低減が見込める。さらに、一般的に試作より車両統合シミュレータのほうが評価にかかる時間が短いために、開発期間の低減が期待できる。

[0005] 車両統合シミュレータは通常、MATLAB（登録商標）やSimulink（登録商標）

）などの制御系CADを用いて実現される。一般にこれらの制御系CADでは、ブロックの組合せにより全体システムを構築する。ブロックは、入力および内部状態から出力を計算するひとまとまりのモデルを指す。ブロックの大きさ（以降「粒度」と記載する）は自由に設定することができるが、一般的には車両を構成する一部品を一ブロックとすることが多い。この場合、部品特性の違いは、各ブロックのパラメータ値を変更することで実現される。部品ごとにブロックを作成しておけば、実際に部品を交換した際、対応する部分のブロックの交換のみで車両統合シミュレータは対処できるため、変更にかかる工数が減少する。また、部品ごとにブロックを作成することで、各部品作成メーカーがそれぞれのブロックの設計を並行して行えるため、開発期間が短くなるという利点がある。

[0006] これまで車両統合シミュレータは、主に燃費評価や走行性能評価といった用途に利用されてきた。しかし近年では、更なる開発期間短縮の要求を受け、さまざまな特性を有する部品を適用した際の車両特性を計算し、その計算結果を比較して車両に最適な部品を選定するという試みも行われている。特に、今後市場の伸びが期待されている電気自動車やハイブリッド自動車においては、モータの選定が車両性能に直結するため、モータ選定の重要性がますます増加しつつある。

[0007] 従来のモータシミュレーション技術として、特許文献1に記載の方法が知られている。特許文献1には、コンピュータ上でモータの効率を求める3次元磁界解析において、最適進角値を求めることが可能な進角値のシミュレーション方法が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0008] 特許文献1：特開2014-199500号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] 最近の電気自動車やハイブリッド自動車では、モータに交流電力を供給するインバータの制御を工夫して、モータの動作領域を拡大したり、電気系の総合効率を向上したりする手法が提案されている。この場合、インバータ制御まで含めて車両システム全体を見据えたモータ設計が望ましいが、特許文献1に開示された従来のシミュレーション方法では、車両システム全体を見据えたモータ設計は困難であった。

課題を解決するための手段

[0010] 本発明によるモータモデルシミュレーションプログラムは、コンピュータにより実行可能なものであって、前記コンピュータを、車両に搭載されるモータに関する出力要求値に基づいて、モータ動作領域内部の動作点を出力する動作点スイープ部と、前記モータの構造に関する構造パラメータを設定するパラメータ設定部と、前記動作点に基づいて、前記モータをモデル化したモータモデルへの入力値を作成するモータ入力作成部と、前記構造パラメータに基づき設定された前記モータの電気的特性に関する電気パラメータに基づいて、前記入力値に対する出力値を前記モータモデルを用いて演算するモータ演算部と、前記出力値が前記出力要求値に近づくように、前記構造パラメータを変更する補正部と、として機能させる。

本発明によるモータシミュレータは、車両に搭載されるモータに関する出力要求値に基づいて、モータ動作領域内部の動作点を出力する動作点スイープ部と、前記モータの構造に関する構造パラメータを設定するパラメータ設定部と、前記動作点に基づいて、前記モータをモデル化したモータモデルへの入力値を作成するモータ入力作成部と、前記構造パラメータに基づき設定された前記モータの電気的特性に関する電気パラメータに基づいて、前記入力値に対する出力値を前記モータモデルを用いて演算するモータ演算部と、前記出力値が前記出力要求値に近づくように、前記構造パラメータを変更する補正部と、を備える。

本発明による車両統合シミュレータは、車両に搭載されるモータをモデル化したモータモデルを生成するモータモデル生成部と、前記車両を構成する

部品をそれぞれモデル化した複数のブロックを有し、前記ブロックは前記モータモデルを少なくとも含む車両全体モデルと、を備え、前記モータモデル生成部は、前記モータに関する出力要求値に基づいて、モータ動作領域内部の動作点を出力する動作点スイープ部と、前記モータの構造に関する構造パラメータを設定するパラメータ設定部と、前記動作点に基づいて、前記モータモデルへの入力値を作成するモータ入力作成部と、前記構造パラメータに基づき設定された前記モータの電気的特性に関する電気パラメータに基づいて、前記入力値に対する出力値を前記モータモデルを用いて演算するモータ演算部と、前記出力値が前記出力要求値に近づくように、前記構造パラメータを変更する補正部と、を備える。

発明の効果

[0011] 本発明によれば、車両システム全体を見据えたモータ設計を実現できる。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]本発明の一実施形態に係る車両統合シミュレータのハードウェア構成を示す図である。

[図2]本発明の第1の実施形態に係る車両統合シミュレータのソフトウェア構成を示す図である。

[図3]モータモデル生成部が行う処理のフローチャートである。

[図4]パラメータ設定処理のフローチャートである。

[図5]パラメータ確認処理のフローチャートである。

[図6]過変調の説明図である。

[図7]PWM波形の一例を示す図である。

[図8]過変調を用いたd軸電流 i_d およびq軸電流 i_q の設定方法の説明図である。

[図9]変調率と効率、ペナルティおよび報酬との関係の一例を示す図である。

[図10]従来手法による動作点決定方法の説明図である。

[図11]本発明の第1の実施形態に係る車両統合シミュレータを用いた場合の動作点決定方法の説明図である。

[図12]本発明の第2の実施形態に係る車両統合シミュレータのソフトウェア構成を示す図である。

[図13]省パルスPWM方式におけるPWM波形選択方法の説明図である。

[図14]本発明の第3の実施形態に係る車両統合シミュレータのソフトウェア構成を示す図である。

[図15]本発明の第4の実施形態に係るモータシミュレータのハードウェア構成を示す図である。

発明を実施するための形態

[0013] (車両統合シミュレータの概要)

初めに、本発明に係る車両統合シミュレータの概要を説明する。本発明に係る車両統合シミュレータは、電気モータにより走行可能な電気自動車やハイブリッド自動車等の電動車両について、実際の車両の走行条件を模擬し、その際の車両の各部品の挙動をシミュレーションにより求めるものである。こうした車両統合シミュレータの使用は、要求特性を満足する部品の選定に好適である。

[0014] 一般的に電動車両用モータには三相交流モータが用いられることが多く、その駆動制御にはインバータが用いられる。そのため、モータの性能はインバータの動作によっても左右される。本発明に係る車両統合シミュレータは、インバータの動作も考慮して、総合的にモータの電気パラメータを決定するものである。これにより、車両設計者が本シミュレータを用いる場合の使い勝手の改善や省力化に寄与している。

[0015] (第1の実施形態)

以下、本発明の第1の実施形態を、図面を用いて説明する。図1は、本発明の一実施形態に係る車両統合シミュレータのハードウェア構成を示す図である。図1に示す車両統合シミュレータ1は、制御部501、記憶部502、表示部503および操作入力部504を備えている。

[0016] 制御部501は、たとえばCPU、ROM、RAM等により構成されるコンピュータである。制御部501は、記憶部502に記憶されている不図示

のシミュレーションプログラムを実行することで、車両全体モデル2およびモータモデル生成部3として機能する。なお、車両全体モデル2およびモータモデル生成部3の詳細については、後で図2を参照して説明する。

[0017] 記憶部502は、たとえばハードディスクドライブ（HDD）、ソリッドステートドライブ（SSD）等により構成される不揮発性の記憶装置である。記憶部502には、前述のシミュレーションプログラムに加えて、車両全体モデル2およびモータモデル生成部3で利用されるプラントモデル実体データベース40が記憶されている。なお、プラントモデル実体データベース40の詳細については、後で図2を参照して説明する。

[0018] 表示部503は、たとえば液晶ディスプレイ等により構成され、車両全体モデル2やモータモデル生成部3で行われたシミュレーション結果を表示して車両設計者等のユーザに提示する。操作入力部504は、たとえばキーボードやマウス等により構成され、ユーザからの操作入力を検出して制御部501に通知する。

[0019] 図2は、本発明の第1の実施形態に係る車両統合シミュレータのソフトウェア構成を示す図である。図2に示すように、本実施形態の車両統合シミュレータ1は、ソフトウェア構成上の機能として、車両全体モデル2、モータモデル生成部3およびプラントモデル実体データベース40を備えている。

[0020] 車両全体モデル2は、シミュレーション対象車両を構成する部品をそれぞれモデル化したインバータ制御モデル11、インバータプラントモデル12a、モータプラントモデル13aおよびギアボックスプラントモデル14を有している。これらのモデルは、インバータ制御装置、インバータ、モータ、ギアボックスの各部品の挙動を導出するものであり、たとえばMATLAB（登録商標）やSimulink（登録商標）などの制御系1次元CADにおけるブロック（計算のひとまとまり）として表現される。ただし、他のモデル表現形式、たとえば数式、表（マップ）形式、C言語等によって実現されるコンピュータプログラムなどであってもよい。なお、車両全体モデル2は、実際には構成要素が非常に多く複雑であるため、図2では説明の簡素化のために、モータ

モデル生成部 3 と関係のある部分のみを抽出して図示している。

[0021] インバータ制御モデル 1 1 は、インバータの要求トルクと要求回転数を入力として、インバータの制御信号を作成するブロックである。インバータプラントモデル 1 2 a は、インバータ制御モデル 1 1 で作成されたインバータの制御信号と、バッテリーからインバータに供給される直流電圧やインバータからモータに出力される交流電流を入力として、インバータに流れる直流電流やインバータからモータに印加される交流電圧を計算するブロックである。モータプラントモデル 1 3 a は、モータに印加される交流電圧とモータ回転数からモータのトルクや交流電流を計算するブロックである。ギアボックスプラントモデル 1 4 は、モータの出力トルクを用いて車軸の出力トルクを計算するブロックである。

[0022] 図 2 において、インバータプラントモデル 1 2 a とモータプラントモデル 1 3 a は、破線でそれぞれ示されている。インバータプラントモデル 1 2 a はタグ B を介して、またモータプラントモデル 1 3 a はタグ A を介して、プラントモデル実体データベース 4 0 に記憶されたインバータプラントモデル 1 2、モータプラントモデル 1 3 をそれぞれ参照するような構成としている。プラントモデル実体データベース 4 0 に記憶されたこれらのプラントモデルは、インバータとモータをそれぞれモデル化した各プラントモデルの実体を表している。すなわち、プラントモデル実体データベース 4 0 に記憶されたインバータプラントモデル 1 2 およびモータプラントモデル 1 3 とそれぞれ同一の内容が、インバータプラントモデル 1 2 a およびモータプラントモデル 1 3 a として、車両全体モデル 2 に反映される。

[0023] モータモデル生成部 3 は、パラメータ設定部 2 3、動作点スイープ部 2 4、過変調率スイープ部 2 5、モータ電流設定部 2 6、モータ入力作成部 2 7、モータ演算部 2 8、トルクリプル演算部 2 9、インバータ損失演算部 3 0、総合効率演算部 3 1、トレードオフ評価部 3 2、評価結果保管部 3 3 および補正部 3 4 を有している。モータモデル生成部 3 には、ユーザにより決定された出力要求値 2 1 が入力される。出力要求値 2 1 は、たとえばモータ体

格や目標トルク、最高回転数など、車両特性に関するモータの設計要求値のことである。モータモデル生成部3に入力された出力要求値21は、補正部34からの補正值22と加算されることで補正され、パラメータ設定部23、動作点スイープ部24およびインバータ損失演算部30に入力される。

[0024] パラメータ設定部23は、入力された補正後の出力要求値21、すなわち出力要求値21と補正值22の加算値に基づいて、モータの挙動に関する物理量または設定値を表すモータのパラメータを設定する。モータのパラメータにはさまざまなものがあるが、以下の説明では、モータのパラメータをその特性に応じて、「構造パラメータ」、「電気パラメータ」、「制御パラメータ」の3つに分類する。構造パラメータは、モータの軸長や内径、磁石の厚さなど、モータの形状や構造に関するパラメータである。電気パラメータは、バッテリー電圧、d軸インダクタンスやq軸インダクタンス、巻線抵抗など、モータの挙動をシミュレートする上で計算に直接用いられる、モータの電気的特性に関するパラメータである。電気パラメータには、構造パラメータにより決定されるものが含まれる。制御パラメータは、主にモータ演算部28への入力作成に用いられる、モータの制御条件に関するパラメータであり、たとえばq軸電流、d軸電流、直流電圧などの条件が相当する。また、後述する評価関数の重みや学習係数など、電気パラメータを収束計算させる際の調整パラメータも制御パラメータに含まれる。パラメータ設定部23は、周知のモータ設計手順に従って構造パラメータと電気パラメータを反復計算により設定（仮決定）すると共に、ユーザに与えられた制御条件に従って制御パラメータを設定し、各パラメータ値をモータ電流設定部26、モータ演算部28および補正部34に出力する。

[0025] 動作点スイープ部24は、入力された補正後の出力要求値21、すなわち出力要求値21と補正值22の加算値に基づいて、モータの動作を確認するためのモータ動作領域内部の動作点として、モータに要求される最大回転数と最大トルクの組み合わせを生成する。最大回転数と最大トルクの組み合わせは複数個存在するため、動作点スイープ部24は、出力要求値21に応じ

て複数の動作点を生成し、リスト化してモータ電流設定部 26 に出力する。動作点スイープ部 24 が出力するリスト化された複数の動作点をまとめて、以下では「動作点リスト」と記載する。

[0026] 過変調率スイープ部 25 は、モータの過変調領域における変調率を生成し、モータ電流設定部 26 に出力する。変調率は、「相電圧の基本波成分の振幅÷（直流電圧／2）」として定義される値であり、一般的には、相電圧が正弦波の場合は変調率1以上、正弦波に3次高調波を重畳させた場合は変調率1.15以上の領域を過変調領域と称する。過変調は周知のようにインバータの出力最大電圧を拡大することができる技術であり、この過変調によって電圧を上げれば、モータはより効率が良く、かつ回転数を上げられる効果がある。その反面、過変調を行わない場合と比較して、電流リップルの増大によるノイズやトルク変動の影響を考える必要が出てくる。上記の3次高調波を重畳させた相電圧の場合、変調率1.15から理論上の変調率の最大値1.27までの範囲では、こうした影響が現れてくることが知られている。そのため、過変調率スイープ部 25 は、たとえば変調率1.15（3次高調波重畳の場合）から変調率1.27まで少しずつ、たとえば0.01間隔などで変調率を変化させ、モータ電流設定部 26 に出力する。

[0027] モータ電流設定部 26 は、動作点スイープ部 24 から出力された動作点と、過変調率スイープ部 25 から出力された過変調領域における変調率とに基づいて、モータ制御信号を作成するための重要な物理量である d 軸電流 i_d および q 軸電流 i_q を計算する。具体的には、動作点スイープ部 24 が生成した動作点リストから動作点の一つずつ取り出し、その動作点で変調率を変化させながら d 軸電流 i_d および q 軸電流 i_q を計算することにより、各動作点での変調率ごとの d 軸電流 i_d と q 軸電流 i_q の値を計算する。このときモータ電流設定部 26 は、パラメータ設定部 23 で設定された制御パラメータを用いて、周知の計算手法により d 軸電流 i_d および q 軸電流 i_q の計算を行う。

[0028] モータ入力作成部 27 は、モータ電流設定部 26 で計算された d 軸電流 i_d および q 軸電流 i_q の値に基づいて d 軸電圧 V_d および q 軸電圧 V_q を計算し、さ

らに計算したd軸電圧 V_d およびq軸電圧 V_q の値に基づいて2相-3相変換を行うことで、モータに印加される三相電圧 V_u, V_v, V_w を計算する。モータ入力作成部27で計算された三相電圧 V_u, V_v, V_w は、モータ演算部28およびインバータ損失演算部30に出力される。

[0029] モータ電流設定部26およびモータ入力作成部27は、以上説明したような処理をそれぞれ行う。これにより、動作点スイープ部24で設定された動作点と、過変調率スイープ部25で設定された変調率とに基づいて、モータ演算部28内のモータプラントモデル13bへの入力値としての三相電圧 V_u, V_v, V_w を作成することができる。なお、過変調領域においてモータを使用しない場合は、モータプラントモデル13bへの入力値を作成する際に、過変調率スイープ部25で設定された変調率を用いる必要はない。

[0030] モータ演算部28は、モータプラントモデル13bを用いて、モータプラントモデル13bへの入力値である三相電圧 V_u, V_v, V_w に対する出力値を演算する。この出力値には、たとえばモータに流れる三相電流 I_u, I_v, I_w や、モータが出力するトルクなどが含まれる。このときモータ演算部28は、パラメータ設定部23で設定（仮決定）された電気パラメータに基づいて、モータプラントモデル13bの演算を行う。モータプラントモデル13bは、車両全体モデル2におけるモータプラントモデル13aと同様に、モータに印加される交流電圧とモータ回転数からモータのトルクや交流電流を計算するブロックであり、タグAを介して、プラントモデル実体データベース40に記憶されたモータプラントモデル13を参照するような構成としている。なお、モータプラントモデル13bもモータプラントモデル13aと同様に、図2において破線で示されている。

[0031] トルクリプル演算部29は、モータ演算部28で演算されたトルクに基づいて、モータのトルクリプルを演算する。

[0032] インバータ損失演算部30は、インバータの等価回路モデルであるインバータプラントモデル12bを用いて、インバータ損失を演算する。具体的には、モータ入力作成部27で計算された三相電圧 V_u, V_v, V_w と、モータ演算部

28で演算された三相電流 I_u, I_v, I_w と、補正後の出力要求値21とに基づき、損失＝電圧×電流の式を時々刻々適用して、スイッチング損失を含めたインバータ損失を計算する。インバータプラントモデル12bは、車両全体モデル2におけるインバータプラントモデル12aと同様のものであり、タグBを介して、プラントモデル実体データベース40に記憶されたインバータプラントモデル12を参照するような構成としている。なお、インバータプラントモデル12bもインバータプラントモデル12aと同様に、図2において破線で示されている。

[0033] 総合効率演算部31は、インバータ損失演算部30で演算されたインバータ損失と、モータ演算部28においてモータプラントモデル13bから演算される銅損および鉄損とに基づいて、モータの総合効率を演算する。この総合効率は、過変調領域におけるモータの効率向上効果を表している。

[0034] トレードオフ評価部32は、トルクリプル演算部29で演算されたトルクリプルと、総合効率演算部31で演算された総合効率とに基づいて、過変調領域におけるモータの効率向上効果とトルクリプル増加による不利益とのトレードオフ評価を行う。トレードオフ評価部32は、動作点スイープ部24が生成した動作点リストの各動作点と、過変調率スイープ部25から出力された各変調率との組み合わせごとに、トレードオフ評価を行う。トレードオフ評価部32によるトレードオフ評価の結果は、評価結果保管部33に保管される。なお、トレードオフ評価部32が行うトレードオフ評価の詳細については、後で説明する。

[0035] 補正部34は、評価結果保管部33に保管されたトレードオフ評価結果に基づいて最適な動作点と変調率を抽出し、出力要求値21に対する補正值22を作成する。この補正值22に基づいてパラメータ設定部23がパラメータの再設定を行うことで、モータ演算部28からの出力値が出力要求値21に近づくように、構造パラメータおよび電気パラメータが変更される。さらに補正部34は、所定のシミュレーション終了条件を満足したか否かを判断し、満足したと判断した場合には、そのときの電気パラメータの値を電気パ

ラメータ 15 a として車両全体モデル 2 に出力する。車両全体モデル 2 では、この電気パラメータ 15 a に基づいて、モータプラントモデル 13 a の計算が行われる。

[0036] プラントモデル実体データベース 40 は、前述のように、インバータプラントモデル 12 a、12 b およびモータプラントモデル 13 a、13 b からそれぞれ参照される実体としてのインバータプラントモデル 12 およびモータプラントモデル 13 を記憶している。プラントモデル実体データベース 40 は、たとえばハッシュテーブル、連想リスト、リレーショナルデータベースなどによって実現可能である。なお、実体としてのインバータプラントモデル 12 およびモータプラントモデル 13 は、たとえばコンピュータにより実行可能なプログラムによって実現される。また、インバータプラントモデル 12 およびモータプラントモデル 13 の参照は、たとえばこれらのプログラムを指定するアドレスやポインタによって実現される。具体的には、たとえばモータプラントモデル 13 a は、前述の電気パラメータ 15 a をプログラムの引数として、プラントモデル実体データベース 40 に記憶されたモータプラントモデル 13 を指し示すアドレスを関数呼び出しするといった手続きで実行可能である。モータ演算部 28 においてモータプラントモデル 13 b を用いた演算を行う場合も同様である。

[0037] 上記のようにすることで、たとえばプラントモデル実体データベース 40 においてモータプラントモデル 13 を変更すると、その変更がモータプラントモデル 13 a、13 b にもそれぞれ同時に反映される。そのため、各モデル間での整合性が確保される。したがって、たとえば使用するモータが磁石モータから誘導モータに設計変更されたような場合でも、プラントモデル実体データベース 40 内のモータプラントモデル 13 の変更のみで、車両統合シミュレータ 1 の全体を当該設計変更に対処できるという効果がある。

[0038] 上述のように、本実施形態による車両統合シミュレータ 1 は、車両全体モデル 2 に加えて、モータモデル生成部 3 を有している。モータモデル生成部 3 は、モータの構造パラメータのみならず過変調といったインバータの制御

方式も考慮に入れた上で、モータの電気パラメータを作成するという特徴がある。そのため、必ずしもモータの設計に熟達していない設計者であっても、モータ特性を変化させて車両に適したモータ仕様を試してみることが容易になる。

[0039] 図3は、車両統合シミュレータ1においてモータモデル生成部3が行う処理のフローチャートである。車両統合シミュレータ1は、制御部501において所定のプログラムを実行することで、制御部501をモータモデル生成部3として機能させ、図3の処理を実行させることができる。

[0040] まずステップS101において、モータモデル生成部3は、パラメータ設定部23により制御パラメータを設定する。ここでは、たとえば初期補正值(=0)、要求トルク差分 $\Delta\tau$ の初期値、トルク差分変化率 α ($0 < \alpha < 1$ なる定数)および終了条件 ε の各制御パラメータを設定する。

[0041] ステップS102において、モータモデル生成部3は、パラメータ設定部23により、構造パラメータおよび電気パラメータの設定を行うためのパラメータ設定処理を実行する。パラメータ設定処理の詳細については、後で図4を参照して説明する。

[0042] ステップS103において、モータモデル生成部3は、ステップS102で設定した構造パラメータおよび電気パラメータを確認するためのパラメータ確認処理を実行する。パラメータ確認処理の詳細については、後で図5を参照して説明する。

[0043] ステップS104以降の処理は、補正部34において実施されることで、補正值22を更新する処理である。ステップS104では、ステップS102で設定した電気パラメータが出力要求値21の仕様を満足しているか否かを判断する。モータ演算部28からの出力値と出力要求値21との差分が所定の範囲内となった場合には、電気パラメータが出力要求値21の仕様を満足していると判断してステップS108に進む。一方、そうでない場合はステップS105に進み、補正值22に要求トルク差分 $\Delta\tau$ を加算してステップS106に進む。

- [0044] ステップS 1 0 4 で電気パラメータが出力要求値 2 1 の仕様を満足していると判断した場合、ステップS 1 0 8 以降では、さらに条件を厳しくして最適な電気パラメータの探索を行う。ステップS 1 0 8 では、現在の要求トルク差分 $\Delta \tau$ と終了条件 ε とを比較し、要求トルク差分 $\Delta \tau$ が終了条件 ε よりも小さければ、十分に探索が行われることでシミュレーション終了条件を満足したと判断してステップS 1 1 0 に進む。ステップS 1 1 0 では、得られた電気パラメータの値を電気パラメータ 1 5 a として出力する。ステップS 1 1 0 を実行したら、モータモデル生成部 3 は図 3 の処理を終了する。一方、要求トルク差分 $\Delta \tau$ が終了条件 ε 以上である場合は、さらに厳しい条件を探索するため、補正值 2 2 から要求トルク差分 $\Delta \tau$ を減算してステップS 1 0 6 に進む。
- [0045] ステップS 1 0 6 では、探索間隔減少処理として、ステップS 1 0 5 で補正值 2 2 に加算またはステップS 1 0 9 で補正值 2 2 から減算した要求トルク差分 $\Delta \tau$ に対して、トルク差分変化率 α を乗算する。ステップS 1 0 7 では、得られた補正值 2 2 を保存し、ステップS 1 0 2 に戻る。ここで保存された補正值 2 2 は、続くステップS 1 0 2 のパラメータ設定処理において呼び出され、構造パラメータの設定に利用される。
- [0046] 図 4 は、図 3 のステップS 1 0 2 で実行されるパラメータ設定処理のフローチャートである。パラメータ設定部 2 3 は、基本的にはモータの単体設計と同じ手順で、図 4 に示すパラメータ設定処理を実行する。
- [0047] ステップS 2 0 1 では、出力要求値 2 1 を設定する。ステップS 2 0 2 では、図 3 のステップS 1 0 7 で保存された補正值 2 2 を呼び出して入力する。ステップS 2 0 3 では、ステップS 2 0 1 で設定した出力要求値 2 1 とステップS 2 0 2 で入力した補正值 2 2 の和を満足するような構造パラメータを計算するモータ構造設計処理を行う。ステップS 2 0 4 では、ステップS 2 0 3 で計算した構造パラメータがモータに対する仕様を満足するか否かを判定する。その結果、仕様を満足すると判定した場合はステップS 2 0 6 に進み、仕様を満足しないと判定した場合はステップS 2 0 5 に進む。ステッ

プS 2 0 5では、ステップS 2 0 3で計算した構造パラメータの値を更新する構造パラメータ更新処理を実行し、ステップS 2 0 3のモータ構造設計処理を再度行う。一般的にモータの構造設計は反復および収束計算からなり、ステップS 2 0 3～S 2 0 5の処理は、こうした設計手法を踏襲して構造パラメータを求める処理である。

[0048] ステップS 2 0 4で構造パラメータが仕様を満足すると判定した場合、ステップS 2 0 6では、その構造パラメータを出力する構造パラメータ出力処理を行う。ステップS 2 0 7では、ステップS 2 0 6で出力した構造パラメータを用いて電気パラメータを計算する電気パラメータ計算処理を行う。続くステップS 2 0 8では、ステップS 1 0 7で計算した電気パラメータを出力する電気パラメータ出力処理を行う。ステップS 2 0 8を実行したら、パラメータ設定部2 3は図4のパラメータ設定処理を終了し、図3のステップS 1 0 3に進む。なお、ステップS 2 0 6、S 2 0 8でそれぞれ出力される構造パラメータと電気パラメータの値は、いずれもパラメータ設定処理で仮決定された値であり、ステップS 1 0 3のパラメータ確認処理でその妥当性が検証される。

[0049] 図5は、図のステップS 1 0 3で実行されるパラメータ確認処理のフローチャートである。

[0050] ステップS 3 0 1は、動作点に関する反復処理であり、動作点スイープ部2 4で生成した動作点リストの全ての動作点について、下記のステップS 3 0 2～S 3 0 8の処理をそれぞれ行う。ステップS 3 0 2は、過変調率に関する反復処理であり、過変調率スイープ部2 5で生成した全ての過変調領域の変調率について、下記のステップS 3 0 3～S 3 0 7の処理をそれぞれ行う。

[0051] ステップS 3 0 3では、モータ電流設定部2 6により、d軸電流 i_d およびq軸電流 i_q の設定を行う。ステップS 3 0 4では、モータ入力作成部2 7により、ステップS 3 0 3で設定したd軸電流 i_d およびq軸電流 i_q に基づいて、モータプラントモデル1 3 bに入力される三相電圧 V_u, V_v, V_w を作成する。

ステップS305では、インバータ損失演算部30により、ステップS304で作成したモータ入力すなわち三相電圧 V_u, V_v, V_w に基づいてインバータ損失を演算し、演算結果を出力する。ステップS306では、モータ演算部28、トルクリプル演算部29および総合効率演算部31により、ステップS304で作成したモータ入力に対するモータプラントモデル13bの出力値、トルクリプルおよび総合効率をそれぞれ演算する。ステップS307では、トレードオフ評価部32により、ステップS306で演算されたトルクリプルおよび総合効率に基づくトレードオフ評価の計算を行う。

[0052] モータモデル生成部3は、以上説明したステップS303～S307の一連の処理を、ステップS302の反復処理の対象として、変調率ごとに繰り返し実行する。その結果、各変調率に対するトレードオフ評価の結果が得られる。

[0053] ステップS302の反復処理を終えたら、ステップS308では、各変調率に対して得られたトレードオフ評価の結果に基づいて、最適な過変調率を選択する。なお、ステップS308での最適な過変調率の選択方法については後述する。

[0054] モータモデル生成部3は、以上説明したステップS303～S308の一連の処理を、ステップS301の反復処理の対象として、動作点ごとに繰り返し実行する。その結果、各動作点に対して最適な過変調率が選択される。ステップS301の反復処理を終えたら、モータモデル生成部3は図5のパラメータ確認処理を終了し、図3のステップS104に進む。

[0055] 以降では、図6～図11を参照して、図5で説明したパラメータ確認処理での考え方について説明する。図6は、過変調の説明図である。インバータは直流電圧をスイッチング素子でON、OFFすることにより、モータに供給する交流電圧を作成する。そのため、通常はインバータから出力される交流電圧の最大値は、直流電圧の最大値以下となる。図6において、符号101に示す波形は、最大値が直流電圧と等しくなるときの正弦波波形を示している。本図の縦軸は交流電圧の大きさを表しており、直流電圧と等しくなるときの

交流電圧を1.0としている。

[0056] インバータから出力される交流電圧の実効値が最大となるのは、交流電圧の波形が符号102に示す最大電圧1.0の矩形波波形となるときである。符号103に示す波形は、矩形波波形102をフーリエ変換し、その基本波成分を示したものである。すなわち、インバータの出力電圧は、この矩形波の基本波成分波形103に示す電圧を上限值として、ここまでは上昇させることが可能である。

[0057] インバータの制御に用いられるPWM制御では、電圧の絶対値が1.0を超えた領域ではインバータのスイッチングを行うことが出来ない。このような領域を有する電圧波形を電圧指令として行われるPWM制御は、過変調PWM制御と称される。過変調PWM制御では、前述のように電圧を上げられる効果がある。またスイッチング回数が減るため、インバータのスイッチング損失が低減する効果がある。しかしその一方で、パルスを打たない領域では正弦波形状を再現することが出来なくなるため、交流電圧の波形に歪みが生じることとなり、ノイズの増加やトルクリプルの増大という考慮すべき点が出てくる。なお、このとき正弦波に3次高調波を重畳することで、過変調PWM制御を行うことなく電圧を上げることも可能ではあるが、矩形波よりは電圧の利用率が低くなる。変調率は一般に「相電圧の基本波成分の振幅÷（直流電圧／2）」として定義され、正弦波の場合は変調率1以上、3次高調波を重畳させた場合には1.15以上の場合は過変調となる。符号104に示す波形は、正弦波に3次高調波を重畳した電圧波形である。

[0058] 図7は、PWM波形の一例を示す図である。ここでは簡単のため、電圧指令信号として正弦波を採用する場合を示している。この場合、前述のように変調率1.0以上で過変調となる。図7（a）は、過変調なしの場合のPWM波形の例であり、図7（b）は、過変調ありの場合のPWM波形の例である。図7（a）、図7（b）において、符号110に示す波形は、それぞれのPWM波形を作成するための比較三角波である。また、図7（a）の符号111aに示す波形は、過変調なしの場合の電圧指令であり、図7（b）の符号

1 1 1 bに示す波形は、過変調ありの場合の電圧指令である。比較三角波 1 1 0と電圧指令 1 1 1 a、1 1 1 bとの大小関係をそれぞれ比較し、電圧指令 1 1 1 a、1 1 1 bが比較三角波 1 1 0より大きければ電圧パルスを出力し、小さければ電圧パルスを出力せずに0とすることで、符号 1 1 2 a、1 1 2 bにそれぞれ示すようなPWM波形が生成される。符号 1 1 2 aに示す波形は、過変調なしの場合のPWM波形であり、符号 1 1 2 bに示す波形は、過変調ありの場合のPWM波形である。PWM波形 1 1 2 bはPWM波形 1 1 2 aと比較して、スイッチング回数が少ない。そのため、過変調時にはスイッチング損失を減らせることが分かる。

[0059] 図8は、過変調を用いたd軸電流 i_d およびq軸電流 i_q の設定方法の説明図である。一般的にモータの構造が決定されれば電気パラメータを決定でき、動作点(ω , τ)を実現するd軸電流とq軸電流の組(i_d , i_q)（以降d qペアと記載）を導出できる。なお、上記動作点(ω , τ)において、 ω はモータの回転数、 τ はモータのトルクを表す。図8において、符号2 0 1は電流制限円を表しており、これはインバータが流すことが出来る最大電流により決定される。すなわち、インバータは電流制限円2 0 1内部のd qペアを実現できる。符号2 0 2は電圧制限楕円を表しており、これはモータ回転数 ω に応じて変化する。モータ回転数 ω が大きくなると、電圧制限楕円2 0 2は小さくなる性質を持つ。d qペアはこの電圧制限楕円2 0 2の内部にあることが要求される。

[0060] 符号2 0 3 a、2 0 3 b、2 0 3 cおよび2 0 3 dはいずれも等トルク線であり、トルクの値に応じてそれぞれ決定される。図8では、等トルク線2 0 3 aはトルク τ_1 のときの等トルク線を、等トルク線2 0 3 bはトルク τ_2 のときの等トルク線を、等トルク線2 0 3 cはトルク $-\tau_2$ のときの等トルク線を、等トルク線2 0 3 dはトルク $-\tau_1$ のときの等トルク線をそれぞれ表している。ここで、 $\tau_1 > \tau_2 > 0$ としている。

[0061] 電動車両では小型高効率という利点から、埋め込み式同期モータが用いられることが多い。このモータでは、動作点(ω , τ)を実現するd qペアを

一意に決定できないため、何らかの設計基準を設定する。たとえば、 $id=0$ 、電流最小、力率最大、効率最大などの設計基準がよく用いられる。以下では、設計基準として効率最大を選択した場合の動作例を説明する。

[0062] 電気パラメータが決定されると、図8において銅損最小線204および鉄損最小線205と、これらの和を最小とする損失最小線206が決定される。効率最大を実現する場合、等トルク線203a~203dと損失最小線206の交点が求めるd qペアとなる。

[0063] たとえば、ある動作点(ω 、 τ_1)を効率最大で実現するd qペアが、符号207に示す等トルク線203aと損失最小線206の交点で表されるとする。この交点すなわちd qペア207は電流制限円201内部に入っているが、回転数 ω における電圧制限楕円202内には入っていない。そのため、効率最大のd qペア207は実現できないことが分かる。そこで、等トルク線203a上で電圧制限楕円202の内部にある点を探索すると、今度は電流制限円201の外に出てしまう。したがって、動作点(ω 、 τ_1)を実現できないことが分かる。このときモータが運転できるd qペアは、電流と電圧の制約上、符号208に示す交点で表されるものとなり、等トルク線203aから外れてしまう。

[0064] 上記のような場合、設計上では2通りの方策が考えられる。一つは、モータがトルクをもっと出せるように構造パラメータを変更することであり、もう一つは、過変調を行って電圧を上げることである。一つ目の方策のように、トルク目標値を変えて構造パラメータを変更する方法は、補正部34において実現可能である。一方、二つ目の方策のように、過変調を行って電圧を上げた場合は、図8に示す電圧制限楕円202が拡大され、拡大電圧制限楕円209のようになる。その結果、d qペア207が拡大電圧制限楕円209の内部となるため、動作点(ω 、 τ_1)を効率最大で実現可能となる。

[0065] なお、以上説明した方策は、従来手法における過変調の使用方法的例であるが、過変調を用いずに動作可能なd qペアに対しても過変調を用いることで、インバータのスイッチング損失の低減を図ることもできる。

[0066] たとえば、動作点 (ω 、 τ_2) を効率最大で実現する dq ペアが、符号 210 に示す等トルク線 203b と損失最小線 206 の交点で表されとする。この交点すなわち dq ペア 210 は最高効率である損失最小線 206 上にあり、さらに電流制限円 201 と電圧制限楕円 202 双方の内部にあるため、モータ単体では最高効率で運転できる。しかし、過変調にはスイッチング損失低減によるインバータ損失低減効果があるため、総合効率では dq ペア 210 よりも効率の高い dq ペア 211 が存在する可能性がある。この dq ペア 211 は損失最小線 206 を外れているので、モータ単体としての効率は dq ペア 210 を採用した場合と比較して劣るものの、総合効率では dq ペア 210 と比較して優れているかどうかを確認する価値がある。そこで、変調率を少しずつ変えてモータとインバータの総合損失を計算し、変調率と総合損失の特性を計算する。

[0067] ところで、過変調には電圧ひずみに起因するトルクリプルという、車両の特性上で不利な性質（以降「ペナルティ」と記載）がある。そのため、過変調時にはこうしたペナルティの影響を考慮する必要がある。図 2 のトレードオフ評価部 32 は、効率とペナルティにより設定される得失を数値化した得点（以降「報酬」と記載）を最大化するように動作する。報酬の決め方にはさまざまな方法があるが、ここでは簡単のため、報酬＝効率－ペナルティとする。また、ペナルティはトルクリプルの大きさとする。

[0068] 図 9 は、変調率と効率、ペナルティおよび報酬との関係の一例を示す図である。変調率を変えていくと、効率、ペナルティ、報酬がそれぞれ図 9 に示すように図示化できる。トレードオフ評価部 32 は、図 9 において報酬が最大となる変調率を採用する。このことにより、効率向上による利点とトルクリプルによるペナルティのバランスを考慮した変調率の設定が可能となる。なお、ここでは説明の簡単化のため、全動作点において同じ報酬評価式を用いたが、効率とペナルティに適当な重さ係数 w ($0 \leq w \leq 1$) を設定し、報酬＝ $w \times$ 報酬－ $(1 - w) \times$ ペナルティとしてもよい。このようにすることで、各動作点において重視すべき特性を反映させることが出来る。

[0069] 図10は、従来手法による動作点決定方法の説明図である。図10では3通りの動作点決定方法を示しており、図10(a)は変調率1.15未満である過変調なしの場合を、図10(b)は変調率1.21の中間過変調の場合を、図10(c)は変調率1.27の最大過変調の場合をそれぞれ示している。図10において、白丸は探索対象の動作点を示し、黒丸は各変調率において採用された動作点を示している。図10(a)では黒丸がないため、過変調なしの場合は採用可能な動作点が存在しないが、図10(b)、(c)では複数の黒丸がそれぞれ存在しているため、過変調時にはいずれかの動作点を採用可能なことが分かる。

[0070] 図10で説明した従来の設計手法では、過変調による電圧拡大効果のみを使用して動作点を決定していた。その結果、過変調は高速領域のみに限定され、必ずしも過変調の必要がない領域、すなわち図10のハッチング領域においては、過変調を行わない通常の変調率制御が行われていた。

[0071] 図11は、本発明の第1の実施形態に係る車両統合シミュレータ1を用いた場合の動作点決定方法の説明図である。図11での白丸および黒丸の定義と、図11(a)、(b)、(c)に示した3通りの動作点決定方法における変調率とは、図10と同じである。本実施形態の車両統合シミュレータ1では、動作点スイープ部24が設定するモータの全動作点について、過変調によるインバータ損失低減効果が試算される。その結果、従来の設計手法では過変調が必要でない領域においても、過変調を行う領域が出現する場合がある。図11の例では、モータの回転速度が0かつ高トルクで最大過変調となる動作点が出現することが分かる。これは、主に熱的要求からくるものである。回転速度が0の場合はモータの特定相に電流が集中して流れるため、発熱を低減する要求が他の動作点と比較して大きい。したがって、スイッチング損失を減らせる過変調が有利となる。さらに、回転速度が0のときにはトルクリプルが車両に与える影響が小さくなるので、さらに過変調で動作させることが有利になる。

[0072] 以上説明した本発明の第1の実施形態によれば、以下の作用効果を奏する

。

[0073] (1) 車両統合シミュレータ 1 において、モータモデル生成部 3 は、動作点スイープ部 2 4 と、パラメータ設定部 2 3 と、モータ入力作成部 2 7 と、モータ演算部 2 8 と、補正部 3 4 とを備える。動作点スイープ部 2 4 は、車両に搭載されるモータに関する出力要求値 2 1 に基づいて、モータ動作領域内部の動作点を出力する。パラメータ設定部 2 3 は、モータの構造に関する構造パラメータを設定する。モータ入力作成部 2 7 は、動作点スイープ部 2 4 から出力された動作点に基づいて、モータをモデル化したモータプラントモデル 1 3 b への入力値を作成する。モータ演算部 2 8 は、パラメータ設定部 2 3 で構造パラメータに基づき設定されたモータの電気的特性に関する電気パラメータに基づいて、入力値に対する出力値をモータプラントモデル 1 3 b を用いて演算する。補正部 3 4 は、モータ演算部 2 8 で演算された出力値が出力要求値 2 1 に近づくように、構造パラメータを変更する。記憶部 5 0 2 に記憶されているシミュレーションプログラムは、コンピュータである制御部 5 0 1 により実行可能なプログラムであって、制御部 5 0 1 をモータモデル生成部 3 の各部として機能させる。このようにしたので、車両システム全体を見据えたモータ設計を実現できる。

[0074] (2) モータ入力作成部 2 7 は、モータの過変調領域を含めてモータプラントモデル 1 3 b への入力値を作成する。具体的には、モータモデル生成部 3 は、モータの過変調領域における変調率を出力する過変調率スイープ部 2 5 をさらに備える。モータ入力作成部 2 7 は、動作点スイープ部 2 4 から出力された動作点と、過変調率スイープ部 2 5 から出力された変調率とに基づいて、モータプラントモデル 1 3 b への入力値を作成する。このようにしたので、過変調による効率向上効果を利用した高効率のモータを設計することが可能となる。

[0075] (3) モータモデル生成部 3 は、過変調領域におけるモータの効率向上効果とトルクリプル増加による不利益とのトレードオフ評価を行うトレードオフ評価部 3 2 をさらに備える。このようにしたので、過変調領域での効率向上

による利点とトルクリプルによるペナルティのバランスを考慮した変調率の設定が可能となる。

[0076] (4) 車両統合シミュレータ 1 は、プラントモデル実体データベース 40 をさらに備えている。車両統合シミュレータ 1 の制御部 501 は、このプラントモデル実体データベース 40 を含む記憶部 502 と接続されている。モータ演算部 28 は、プラントモデル実体データベース 40 を参照してモータプラントモデル 13b を取得する。このようにしたので、モータの設計変更が行われた場合に、車両統合シミュレータ 1 の全体を当該設計変更に対応させることができる。

[0077] (第 2 の実施形態)

次に本発明の第 2 の実施形態について説明する。前述の第 1 の実施形態では、モータ電流設定部 26 およびモータ入力作成部 27 において、過変調を適用してモータプラントモデル 13b への入力値を作成する例を説明した。しかし、過変調と同様の効果が得られる他の手法として、省パルス PWM 方式が存在する。本実施形態では、この省パルス PWM 方式を適用してモータプラントモデル 13b への入力値を作成する例を説明する。

[0078] 上記の省パルス PWM 方式とは、電圧波形に含まれる高調波成分が少なくなるように、予めパルス数を少なくした PWM 波形を導出しておき、動作点に応じて適切な PWM 波形を選択するものである。ここで用いられる PWM 波形は、たとえば 3 次、5 次、7 次などの奇数次の高調波を消去するように予め決定される。このような電圧波形の調整方法は周知であるため、詳細は省略する。

[0079] なお、本実施形態に係る車両統合シミュレータのハードウェア構成は、第 1 の実施形態で説明した図 1 のハードウェア構成と同様である。そのため、以下では本実施形態のハードウェア構成の説明を省略する。

[0080] 図 12 は、本発明の第 2 の実施形態に係る車両統合シミュレータのソフトウェア構成を示す図である。図 12 に示すように、本実施形態の車両統合シミュレータ 1a は、ソフトウェア構成上の機能として、車両全体モデル 2、

モータモデル生成部 3 a およびプラントモデル実体データベース 4 0 を備えている。なお、車両全体モデル 2 およびプラントモデル実体データベース 4 0 は、図 2 に示した第 1 の実施形態とそれぞれ同一のものである。

[0081] モータモデル生成部 3 a は、図 2 に示した第 1 の実施形態におけるモータモデル生成部 3 のうち、過変調率スリーブ部 2 5 を省パルス PWM 波形選択部 3 5 に置き換えたものである。省パルス PWM 波形選択部 3 5 は、モータの省パルス PWM 制御領域における PWM 波形を選択し、モータ電流設定部 2 6 に出力する。省パルス PWM 制御領域とは、前述のように電圧波形に含まれる高調波成分が少なくなるようにパルス数を削減した PWM 波形を出力するモータの制御領域であり、過変調領域と同様に、所定の変調率以上の領域がこれに該当する。なお、省パルス PWM 波形選択部 3 5 が省パルス PWM 制御領域において選択する PWM 波形は、変調率や削減対象とする高調波の次数に応じて変化する。

[0082] モータモデル生成部 3 a において、モータ電流設定部 2 6 は、動作点スリーブ部 2 4 から出力された動作点と、省パルス PWM 波形選択部 3 5 から出力された省パルス PWM 制御領域における PWM 波形とに基づいて、d 軸電流 i_d および q 軸電流 i_q を計算する。それ以外の各部の動作は、モータモデル生成部 3 とそれぞれ同様である。また、モータモデル生成部 3 a は、図 5 のパラメータ確認処理において、省パルス PWM 波形選択部 3 5 が選択した全ての PWM 波形に関してステップ S 3 0 2 の反復処理を行う点以外は、第 1 の実施形態で説明したのと同様の処理を実行する。

[0083] 図 1 3 は、省パルス PWM 方式における PWM 波形選択方法の説明図である。図 1 3 では、省パルス PWM 制御領域において各動作点に対して選択される PWM 波形の一例を示している。図 1 3 において、動作点を示す各白丸内の数字は、PWM 波形の種類を表している。具体的には、「1」は省パルス PWM 方式ではない通常の PWM 波形を、「2」、「3」、「4」は省パルス PWM 方式での PWM 波形を、「5」は矩形波をそれぞれ表している。これらの PWM 波形は、トレードオフ評価部 3 2 による評価結果に基づいて

、動作点ごとに適切なものを予め設定しておくことが可能である。

[0084] 省パルスPWM方式も過変調と同様に、電圧拡大効果を有しており、矩形波にまで対応可能である。さらに、パルス数を削減した波形を考慮するため、過変調と同様に、インバータスイッチング損失の低減効果がある。本実施形態の車両統合シミュレータ1aを用いた場合、これらの効果を得られるモータの設計が可能である。

[0085] 以上説明した本発明の第2の実施形態によれば、以下の作用効果を奏する。

[0086] (1) 車両統合シミュレータ1aにおいて、モータモデル生成部3aは、第1の実施形態によるモータモデル生成部3と同様に、動作点スイープ部24と、パラメータ設定部23と、モータ入力作成部27と、モータ演算部28と、補正部34とを備える。そのため、第1の実施形態と同様に、車両システム全体を見据えたモータ設計を実現できる。

[0087] (2) モータ入力作成部27は、モータの省パルスPWM制御領域を含めてモータプラントモデル13bへの入力値を作成する。具体的には、モータモデル生成部3aは、モータの省パルスPWM制御領域におけるPWM波形を選択する省パルスPWM波形選択部35をさらに備える。モータ入力作成部27は、動作点スイープ部24から出力された動作点と、省パルスPWM波形選択部35で選択されたPWM波形とに基づいて、モータプラントモデル13bへの入力値を作成する。このようにしたので、省パルスPWM方式による効率向上効果を利用した高効率のモータを設計することが可能となる。

[0088] (3) モータモデル生成部3aは、省パルスPWM制御領域におけるモータの効率向上効果とトルクリプル増加による不利益とのトレードオフ評価を行うトレードオフ評価部32をさらに備える。このようにしたので、省パルスPWM制御領域での効率向上による利点とトルクリプルによるペナルティのバランスを考慮した変調率の設定が可能となる。

[0089] (4) 車両統合シミュレータ1aは、第1の実施形態による車両統合シミュレータ1と同様にプラントモデル実体データベース40を備えており、モ-

タ演算部 28 は、プラントモデル実体データベース 40 を参照してモータプラントモデル 13b を取得する。そのため、第 1 の実施形態と同様に、モータの設計変更が行われた場合に、車両統合シミュレータ 1a の全体を当該設計変更に対応させることができる。

[0090] (第 3 の実施形態)

次に本発明の第 3 の実施形態について説明する。本実施形態では、第 1 の実施形態によるモータプラントモデル 13b への入力値の作成方法と、第 2 の実施形態によるモータプラントモデル 13b への入力値の作成方法とを組み合わせた例を説明する。

[0091] なお、本実施形態に係る車両統合シミュレータのハードウェア構成も、前述の第 2 の実施形態と同じく、第 1 の実施形態で説明した図 1 のハードウェア構成と同様である。そのため、以下では本実施形態のハードウェア構成の説明を省略する。

[0092] 図 14 は、本発明の第 3 の実施形態に係る車両統合シミュレータのソフトウェア構成を示す図である。図 14 に示すように、本実施形態の車両統合シミュレータ 1b は、ソフトウェア構成上の機能として、車両全体モデル 2、モータモデル生成部 3b およびプラントモデル実体データベース 40 を備えている。なお、車両全体モデル 2 およびプラントモデル実体データベース 40 は、図 2 に示した第 1 の実施形態とそれぞれ同一のものである。

[0093] モータモデル生成部 3b は、図 2 に示した第 1 の実施形態における過変調率スイープ部 25 と、図 12 に示した第 2 の実施形態における省パルス PWM 波形選択部 35 との両方を有するものである。モータモデル生成部 3b において、モータ電流設定部 26 は、動作点スイープ部 24 から出力された動作点と、過変調率スイープ部 25 から出力された過変調領域における変調率と、省パルス PWM 波形選択部 35 から出力された省パルス PWM 制御領域における PWM 波形とに基づいて、d 軸電流 i_d および q 軸電流 i_q を計算する。ただし、過変調率スイープ部 25 からの変調率と省パルス PWM 波形選択部 35 からの PWM 波形のうち一方のみを用いてもよい。それ以外の各部の

動作は、モータモデル生成部 3 とそれぞれ同様である。

[0094] 以上説明した本発明の第 3 の実施形態によれば、第 1 および第 2 の実施形態でそれぞれ説明したのと同様の作用効果を奏する。

[0095] (第 4 の実施形態)

次に本発明の第 4 の実施形態について説明する。本実施形態では、モータシミュレータに適用した場合の例を説明する。

[0096] 図 15 は、本発明の第 4 の実施形態に係るモータシミュレータのハードウェア構成を示す図である。図 15 に示すモータシミュレータ 10 は、制御部 501 がモータモデル生成部 3 としてのみ機能し、車両全体モデル 2 としては機能しない点以外は、図 1 に示した第 1 の実施形態における車両統合シミュレータ 1 と同様の構成を有している。このモータモデル生成部 3 は、図 2 に示したソフトウェア構成により実現されるものである。なお、モータモデル生成部 3 に替えて、図 12 に示したモータモデル生成部 3a や、図 14 に示したモータモデル生成部 3b としてもよい。

[0097] 以上説明した本発明の第 4 の実施形態でも、第 1 および第 2 の実施形態でそれぞれ説明したのと同様の作用効果を奏する。

[0098] 上記第 1 ～第 4 の実施形態で説明したように、本発明では、モータの全動作領域に亘って、過変調または省パルス PWM 制御によるモータ特性を考慮することが可能になる。このことにより、インバータの過変調または省パルス PWM 制御によるモータへの影響を考慮しながら、システム全体として最適なモータのパラメータを設定できる。

[0099] さらに、本発明では、トレードオフ評価部 32 が行うトレードオフ評価により、過変調や省パルス PWM 制御での利点と欠点の双方を考慮することが可能となる。このことにより、車両用途に最適なモータのパラメータを設定できる。

[0100] さらに、本発明では、モータ演算部 28 がプラントモデル実体データベース 40 に記憶されたモータプラントモデル 13 を参照することにより、モータプラントモデルを一元管理することが可能になる。これにより、モータプ

ラントモデルの変更が容易になるという効果がある。

[0101] 以上説明した各実施形態や各種変形例はあくまで一例であり、発明の特徴が損なわれない限り、本発明はこれらの内容に限定されるものではない。また、上記では種々の実施形態や変形例を説明したが、本発明はこれらの内容に限定されるものではない。本発明の技術的思想の範囲内で考えられるその他の態様も本発明の範囲内に含まれる。

符号の説明

[0102] 1, 1 a, 1 b : 車両統合シミュレータ、2 : 車両全体モデル、3, 3 a, 3 b : モータモデル生成部、10 : モータシミュレータ、11 : インバータ制御モデル、12, 12 a, 12 b : インバータプラントモデル、13, 13 a, 13 b : モータプラントモデル、14 : ギアボックスプラントモデル、21 : 出力要求値、22 : 補正值、23 : パラメータ設定部、24 : 動作点スイープ部、25 : 過変調率スイープ部、26 : モータ電流設定部、27 : モータ入力作成部、28 : モータ演算部、29 : トルクリプル演算部、30 : インバータ損失演算部、31 : 総合効率演算部、32 : トレードオフ評価部、33 : 評価結果保管部、34 : 補正部、35 : 省パルスPWM波形選択部、40 : プラントモデル実体データベース、501 : 制御部、502 : 記憶部、503 : 表示部、504 : 操作入力部

請求の範囲

- [請求項1] コンピュータにより実行可能なモータモデルシミュレーションプログラムであって、前記コンピュータを、
- 車両に搭載されるモータに関する出力要求値に基づいて、モータ動作領域内部の動作点を出力する動作点スイープ部と、
- 前記モータの構造に関する構造パラメータを設定するパラメータ設定部と、
- 前記動作点に基づいて、前記モータをモデル化したモータモデルへの入力値を作成するモータ入力作成部と、
- 前記構造パラメータに基づき設定された前記モータの電気的特性に関する電気パラメータに基づいて、前記入力値に対する出力値を前記モータモデルを用いて演算するモータ演算部と、
- 前記出力値が前記出力要求値に近づくように、前記構造パラメータを変更する補正部と、として機能させるモータモデルシミュレーションプログラム。
- [請求項2] 請求項1に記載のモータモデルシミュレーションプログラムにおいて、
- 前記モータ入力作成部は、前記モータの過変調領域および省パルスPWM制御領域の少なくとも一方を含めて前記入力値を作成するモータモデルシミュレーションプログラム。
- [請求項3] 請求項2に記載のモータモデルシミュレーションプログラムにおいて、
- 前記コンピュータを、前記モータの過変調領域における変調率を出力する過変調率スイープ部と、前記モータの省パルスPWM制御領域におけるPWM波形を選択する省パルスPWM波形選択部と、の少なくとも一方としてさらに機能させ、
- 前記モータ入力作成部は、前記動作点と、前記変調率および前記PWM波形の少なくとも一方とに基づいて、前記入力値を作成するモータ

タモデルシミュレーションプログラム。

[請求項4] 請求項2または請求項3に記載のモータモデルシミュレーションプログラムにおいて、

前記コンピュータを、前記過変調領域または前記省パルスPWM制御領域における前記モータの効率向上効果とトルクリプル増加による不利益とのトレードオフ評価を行うトレードオフ評価部としてさらに機能させるモータモデルシミュレーションプログラム。

[請求項5] 請求項1から請求項3までのいずれか一項に記載のモータモデルシミュレーションプログラムにおいて、

前記コンピュータは、前記モータモデルを記憶したデータベースと接続されており、

前記モータ演算部は、前記データベースを参照して前記モータモデルを取得するモータモデルシミュレーションプログラム。

[請求項6] 車両に搭載されるモータに関する出力要求値に基づいて、モータ動作領域内部の動作点を出力する動作点スイープ部と、

前記モータの構造に関する構造パラメータを設定するパラメータ設定部と、

前記動作点に基づいて、前記モータをモデル化したモータモデルへの入力値を作成するモータ入力作成部と、

前記構造パラメータに基づき設定された前記モータの電気的特性に関する電気パラメータに基づいて、前記入力値に対する出力値を前記モータモデルを用いて演算するモータ演算部と、

前記出力値が前記出力要求値に近づくように、前記構造パラメータを変更する補正部と、を備えるモータシミュレータ。

[請求項7] 車両に搭載されるモータをモデル化したモータモデルを生成するモータモデル生成部と、

前記車両を構成する部品をそれぞれモデル化した複数のブロックを有し、前記ブロックは前記モータモデルを少なくとも含む車両全体モ

デルと、を備え、

前記モータモデル生成部は、

前記モータに関する出力要求値に基づいて、モータ動作領域内部の動作点を出力する動作点スイープ部と、

前記モータの構造に関する構造パラメータを設定するパラメータ設定部と、

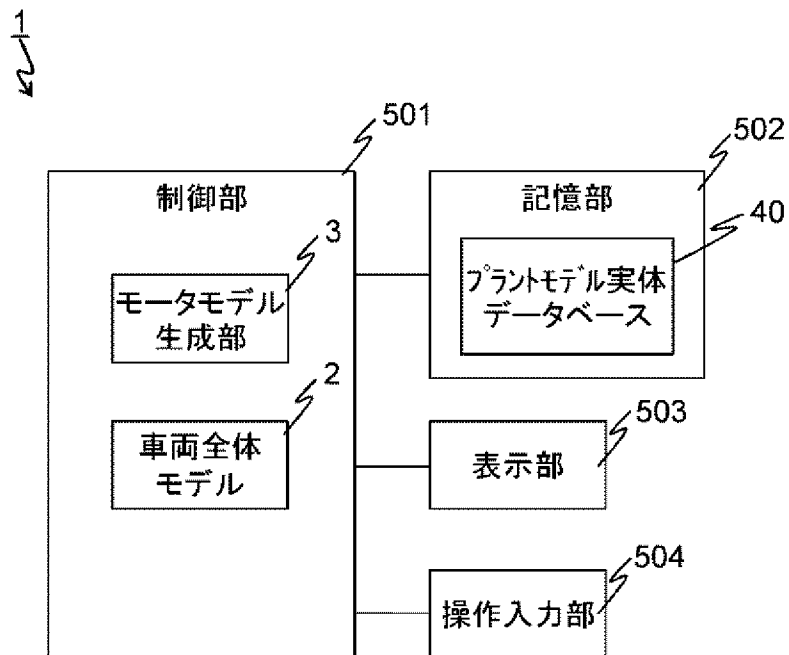
前記動作点に基づいて、前記モータモデルへの入力値を作成するモータ入力作成部と、

前記構造パラメータに基づき設定された前記モータの電気的特性に関する電気パラメータに基づいて、前記入力値に対する出力値を前記モータモデルを用いて演算するモータ演算部と、

前記出力値が前記出力要求値に近づくように、前記構造パラメータを変更する補正部と、を備える車両統合シミュレータ。

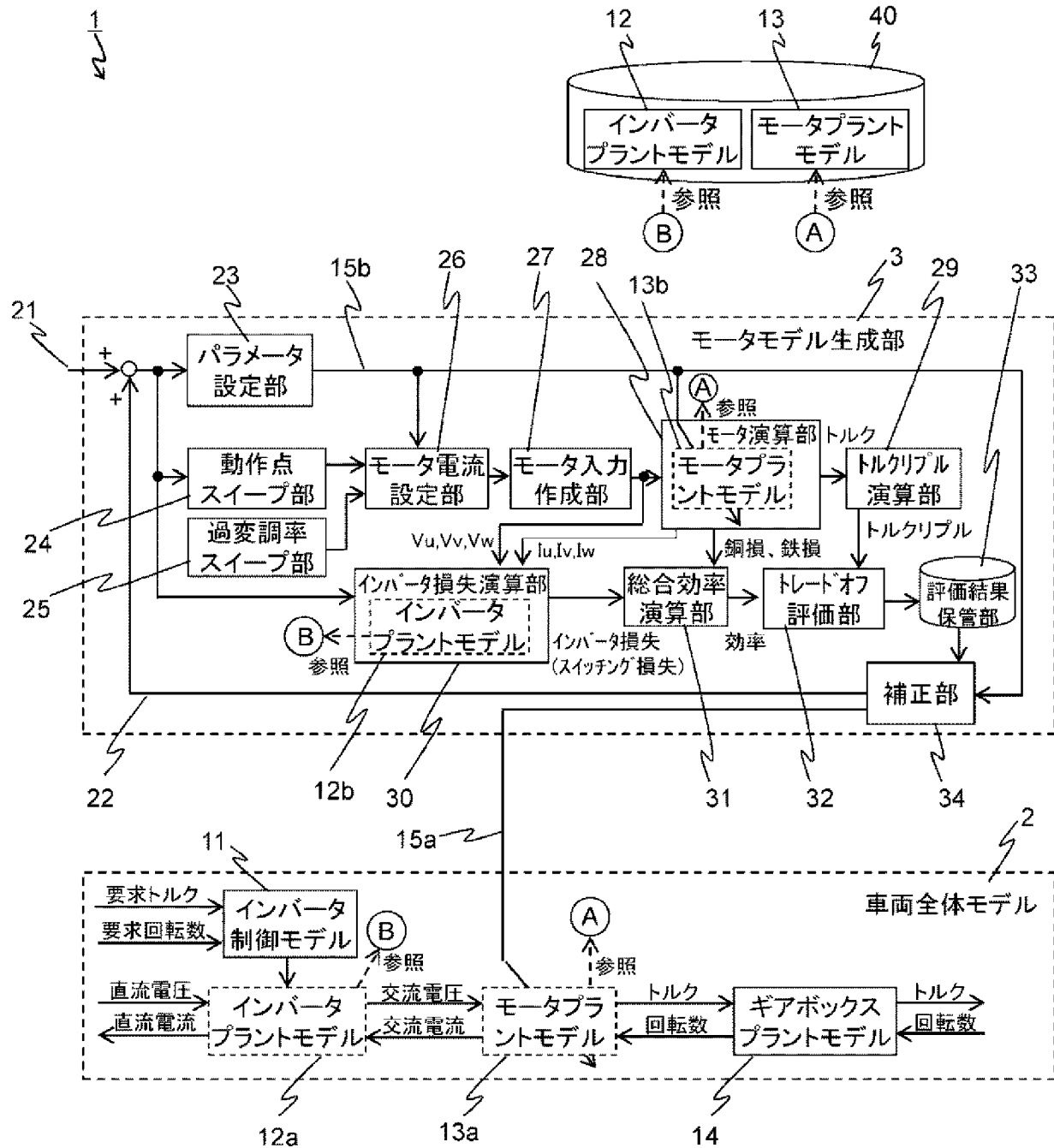
[図1]

図1



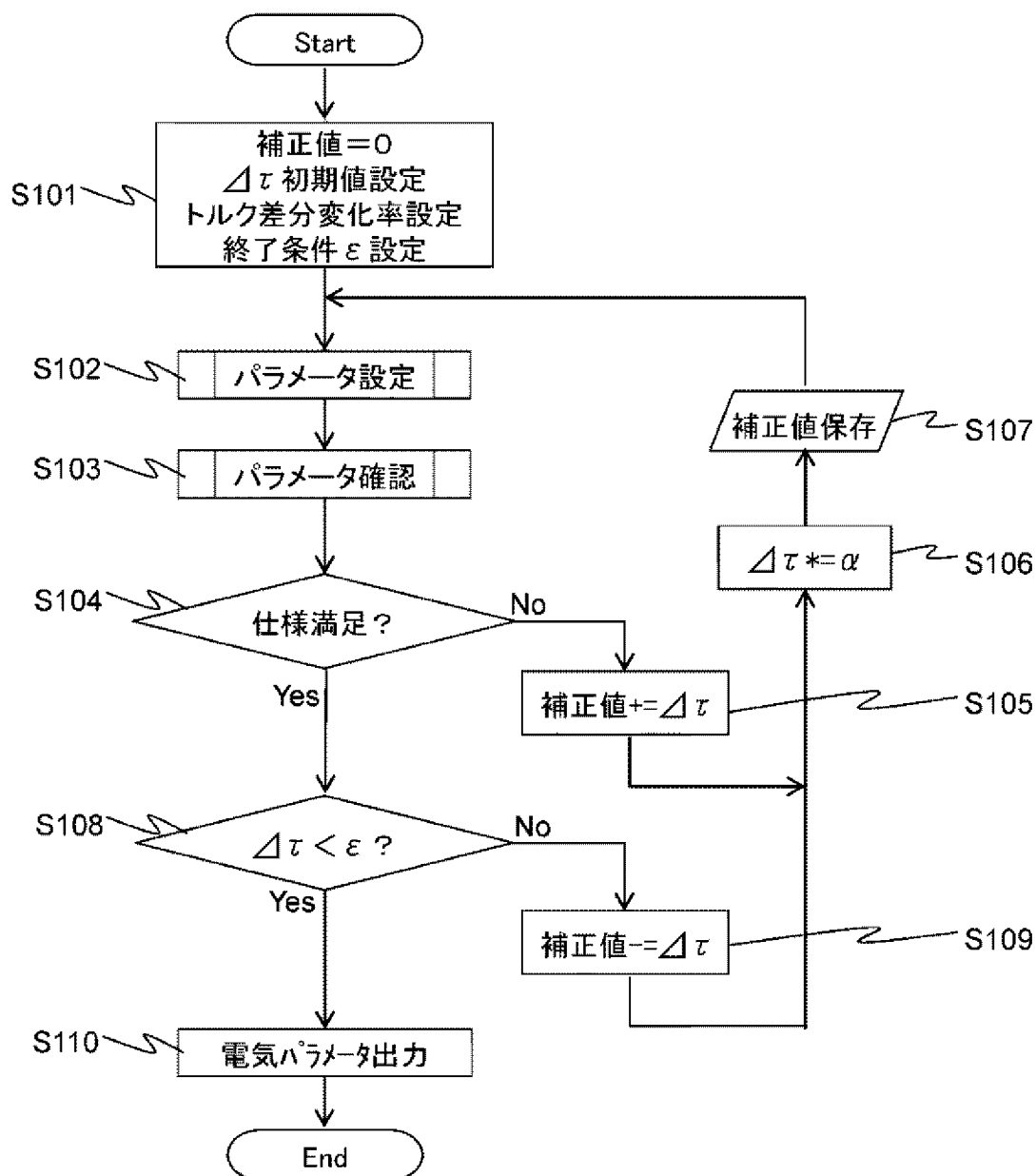
[図2]

図2



[図3]

図3



[図4]

図4

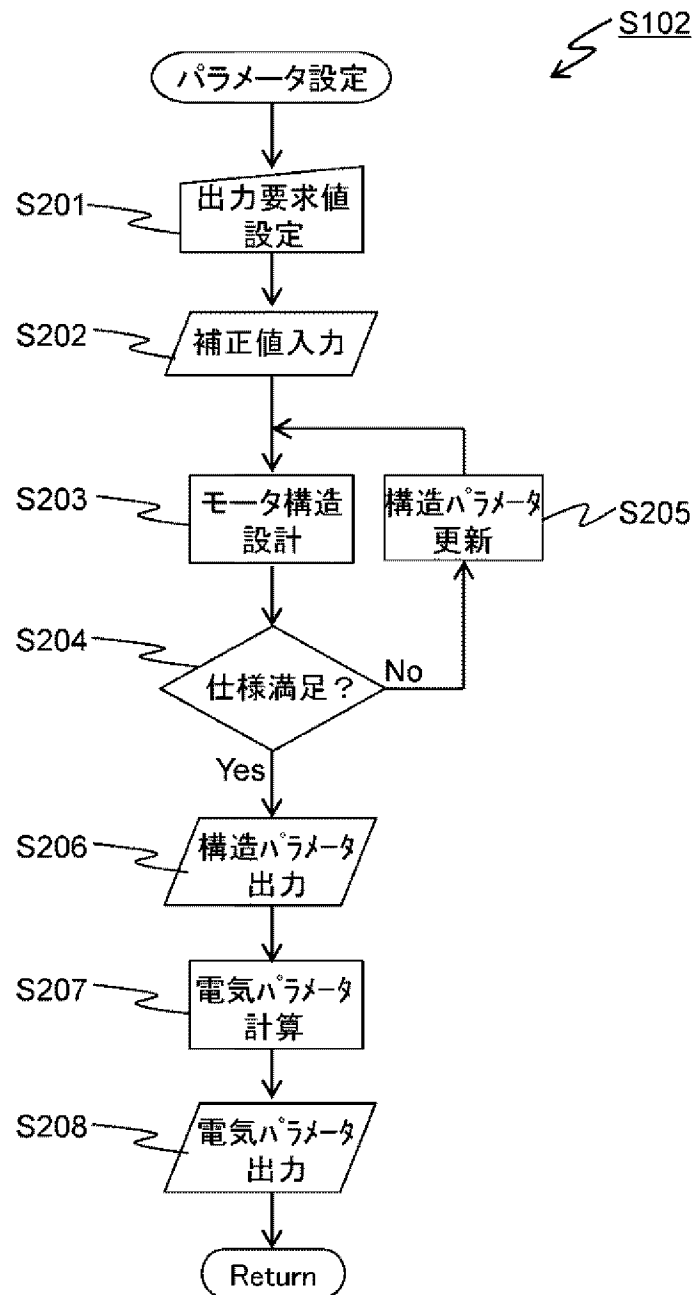
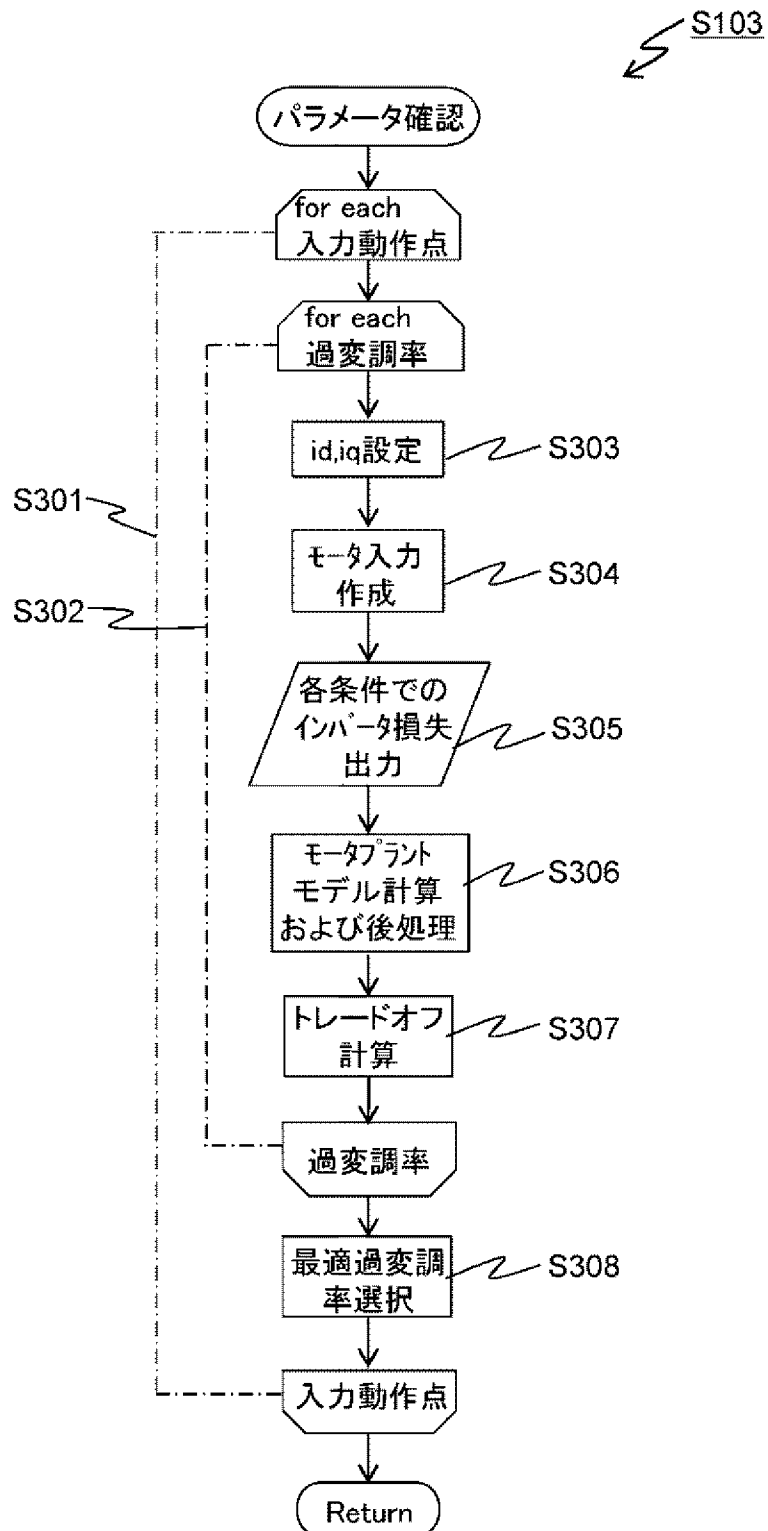
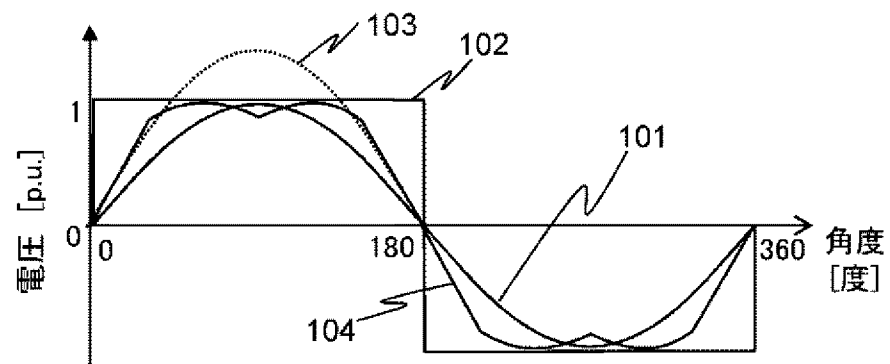


图 5



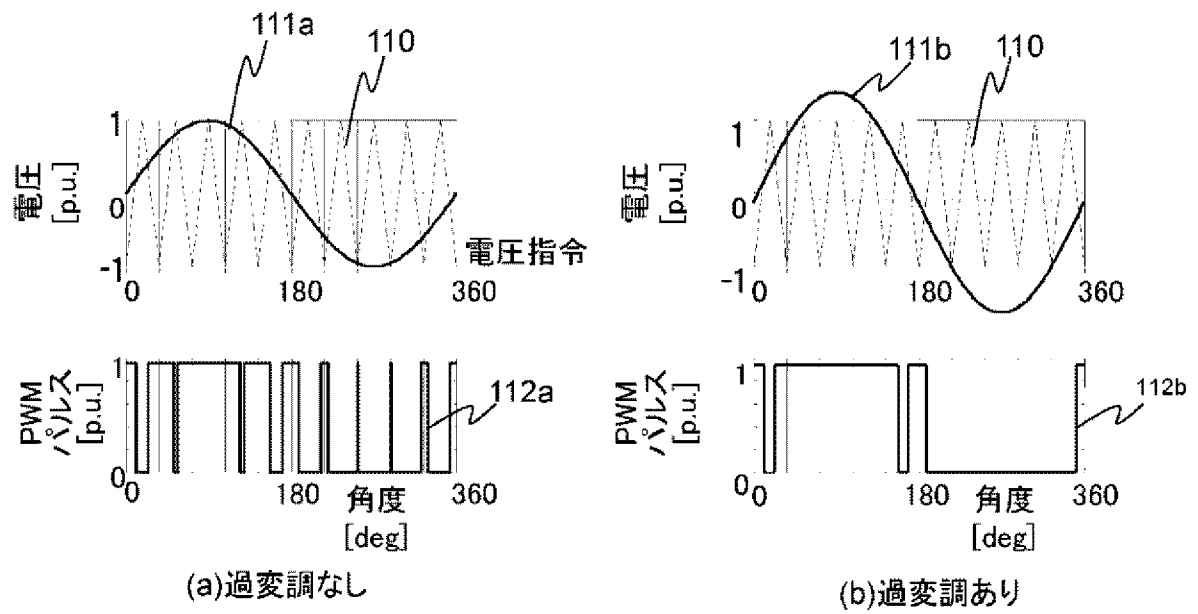
[図6]

図6



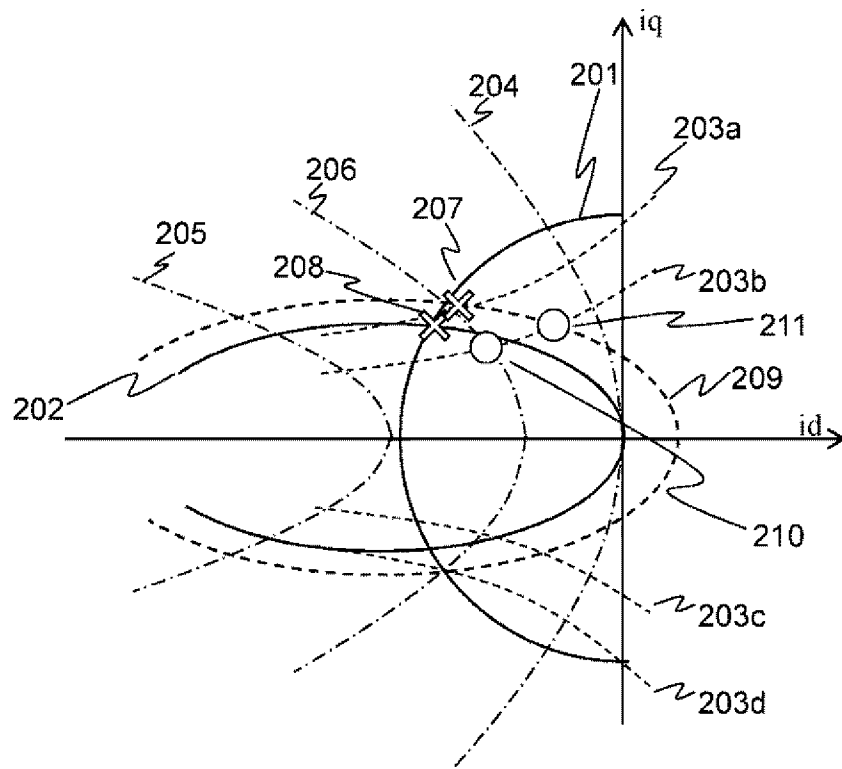
[図7]

図7

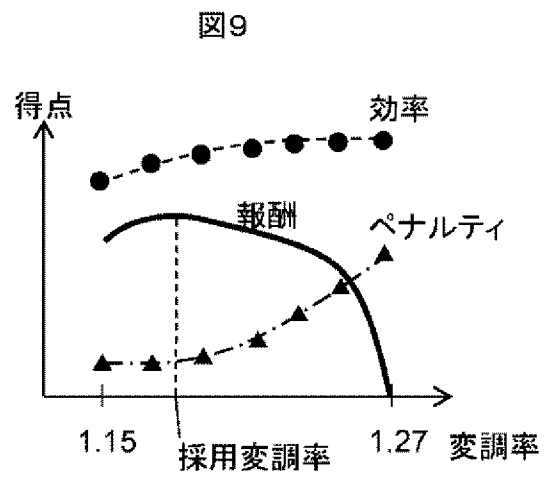


[図8]

図8

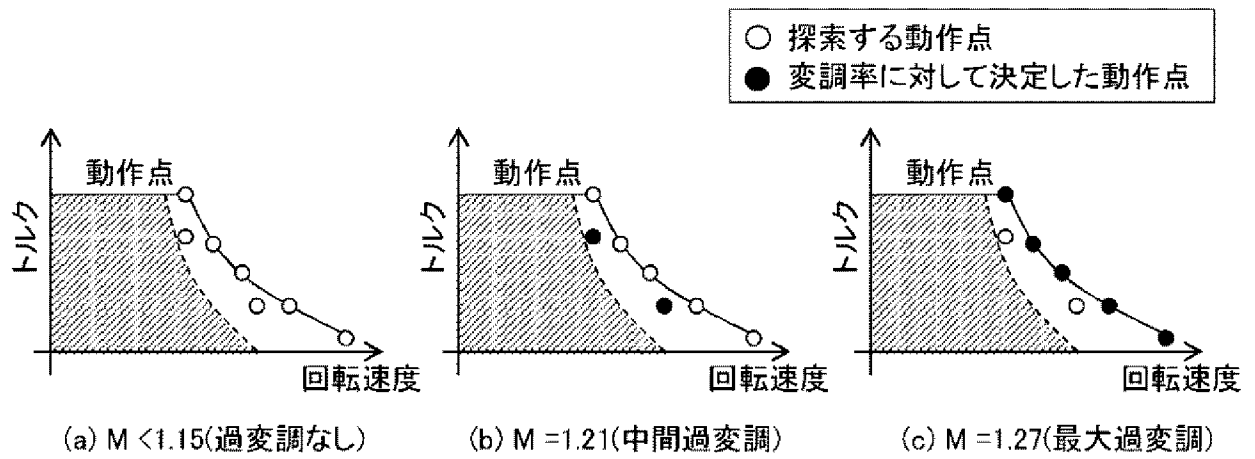


[図9]



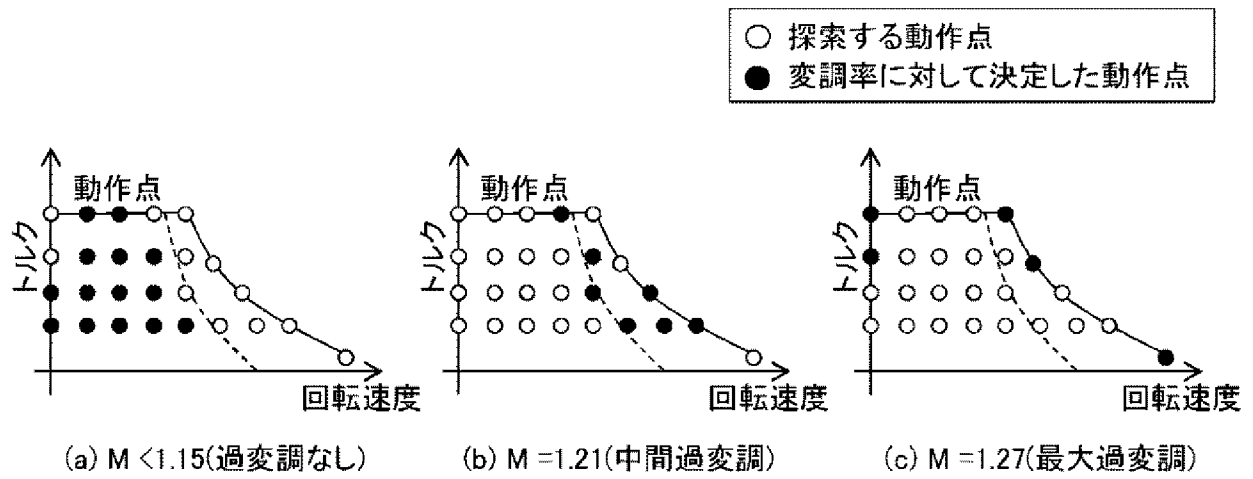
[図10]

図10



[図11]

図11



[図12]

図12

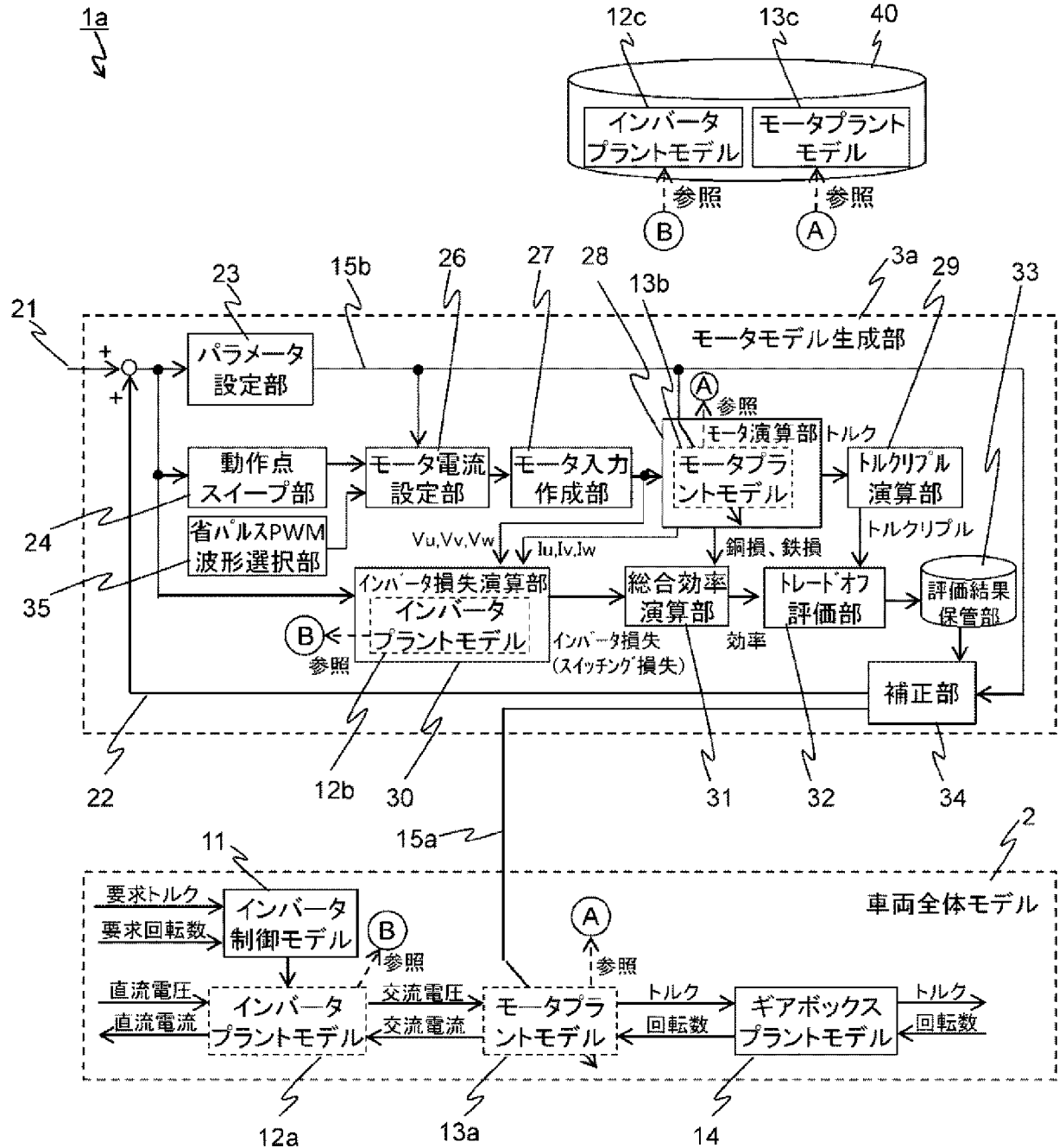


图 13

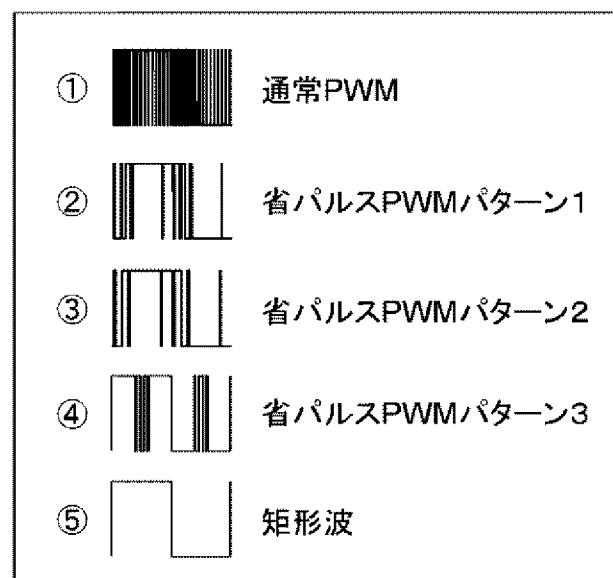
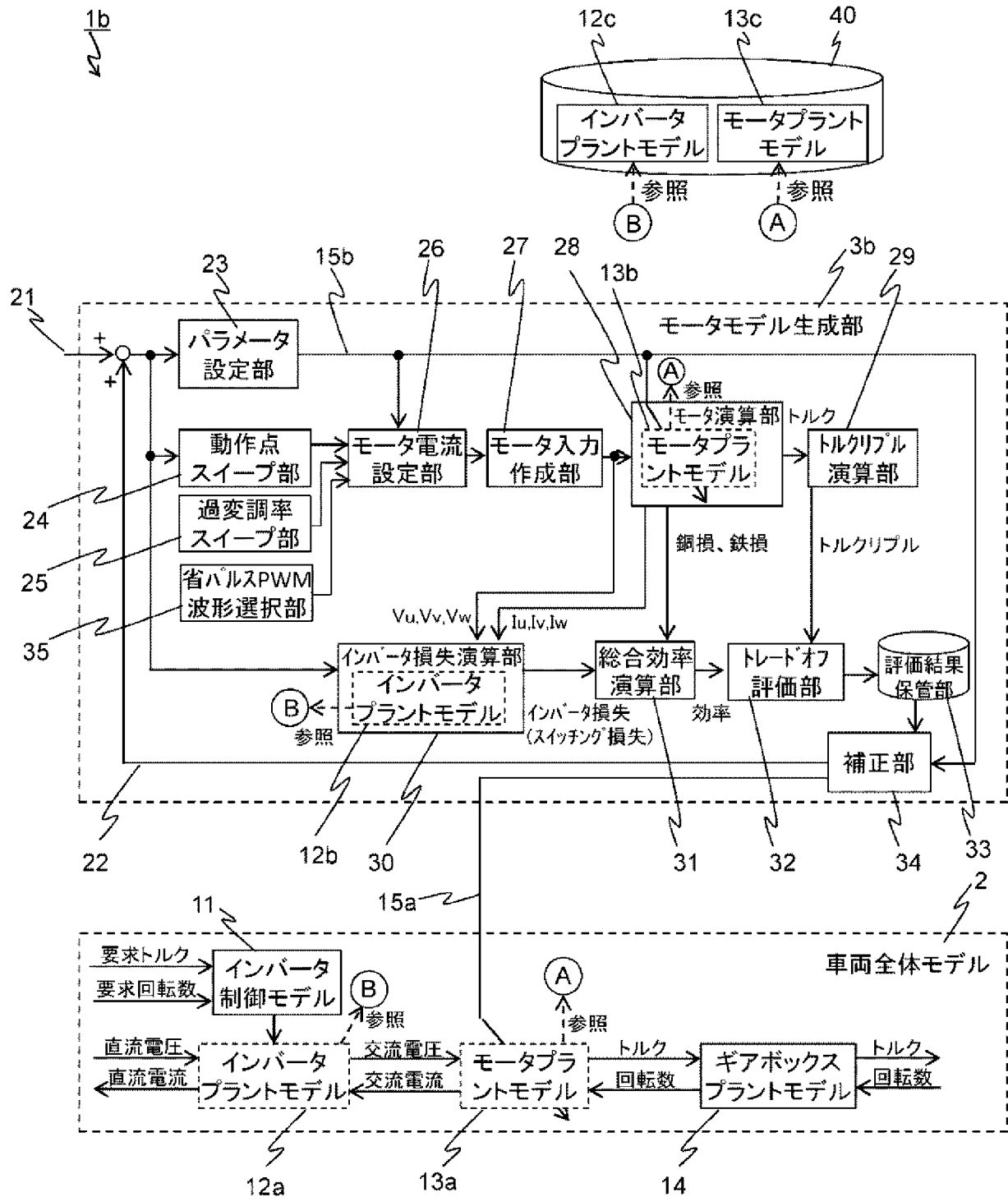
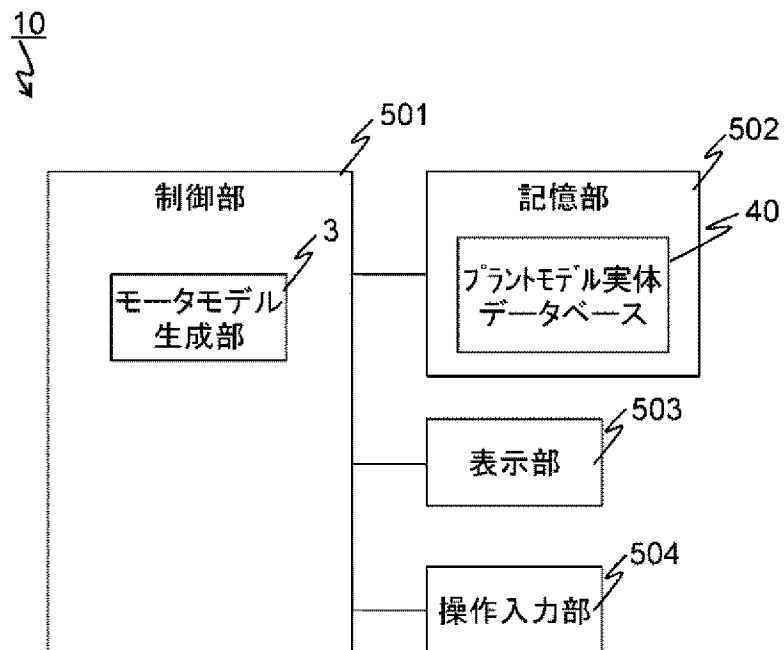


图 14



[図15]

図15



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/014677

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. H02P29/00 (2016.01) i, B60L9/18 (2006.01) i, G06F17/50 (2006.01) i, G06Q50/04 (2012.01) i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl. H02P29/00, B60L9/18, G06F17/50, G06Q50/04

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	1971-2018
Registered utility model specifications of Japan	1996-2018
Published registered utility model applications of Japan	1994-2018

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 5379327 B1 (DSP TECHNOLOGY KK) 25 December 2013, entire text, all drawings & JP 2015-23585 A	1-7
A	JP 2010-187464 A (YASKAWA ELECTRIC CORPORATION) 26 August 2010, entire text, all drawings (Family: none)	1-7
A	JP 2006-340480 A (YASKAWA ELECTRIC CORPORATION) 14 December 2006, entire text, all drawings (Family: none)	1-7

☐ 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

"I" 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
11 July 2018 (11.07.2018)

Date of mailing of the international search report
24 July 2018 (24.07.2018)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H02P29/00(2016.01)i, B60L9/18(2006.01)i, G06F17/50(2006.01)i, G06Q50/04(2012.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H02P29/00, B60L9/18, G06F17/50, G06Q50/04

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	1971-2018年
日本国実用新案登録公報	1996-2018年
日本国登録実用新案公報	1994-2018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 5379327 B1（ディエスピーテクノロジ株式会社）2013. 12. 25, 全文、全図 & JP 2015-23585 A	1-7
A	JP 2010-187464 A（株式会社安川電機）2010. 08. 26, 全文、全図（ファミリーなし）	1-7
A	JP 2006-340480 A（株式会社安川電機）2006. 12. 14, 全文、全図（ファミリーなし）	1-7

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

11. 07. 2018

国際調査報告の発送日

24. 07. 2018

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

尾家 英樹

3 V

9 3 3 5

電話番号 03-3581-1101 内線 3357