

(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
2022年10月6日(06.10.2022)



(10) 国際公開番号

WO 2022/208908 A1

(51) 国際特許分類:
H02P 21/22 (2016.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2021/022216

(22) 国際出願日: 2021年6月10日(10.06.2021)

(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 2021-061273 2021年3月31日(31.03.2021) JP

(71) 出願人: 日本電産株式会社 (NIDEC CORPORATION) [JP/JP]; 〒6018205 京都府京都市南区久世殿城町 3 3 8 番地 Kyoto (JP).

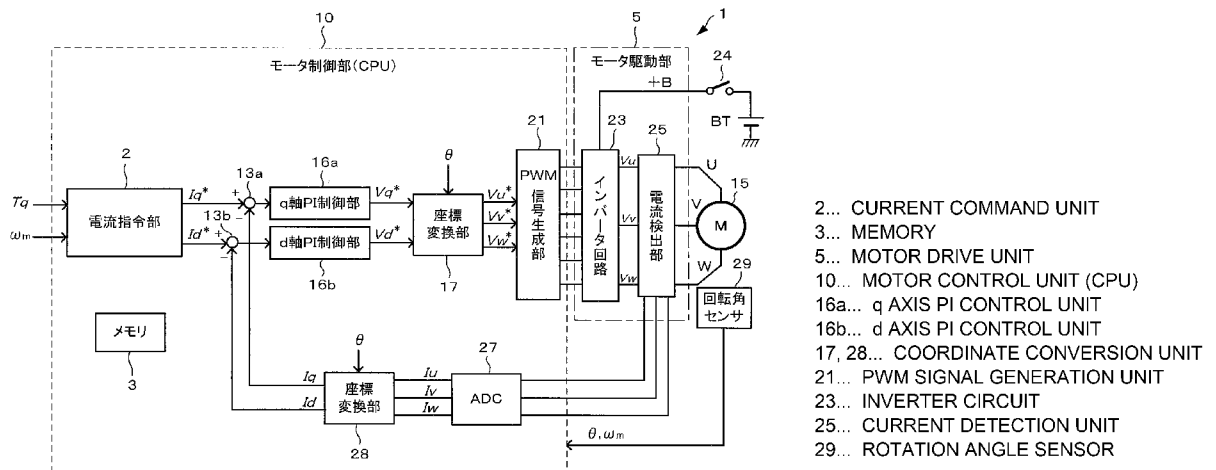
(72) 発明者: 高野 祐一 (TAKANO, Yuichi); 〒6018205 京都府京都市南区久世殿城町 3 3 8 番地 日本電産株式会社内 Kyoto (JP). 福村 友博(FUKUMURA, Tomohiro); 〒6018205 京都府京都市南区久世殿城町 3 3 8 番地 日本電産株式会社内 Kyoto (JP).

(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, IT, 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,

(54) Title: MOTOR CONTROL DEVICE

(54) 発明の名称: モータ制御装置

[図1]



(57) Abstract: A motor control device for driving a motor by using current vector control in a dq-axis Cartesian coordinate system, said motor control device comprising: a means that finds combinations of intersections that are effective as a current command from among the intersections of two curves selected from among a power minimization curve (MP), a current minimization curve (MA), a voltage minimization curve (MV), a current limit circle (LA), a voltage limit curve (LV), a constant torque curve (CT), a running-power limit curve (LP+), and a regenerative power limit curve (LP-) in the dq-axis Cartesian coordinate system; a means that arranges the combinations of intersections in the row and column directions, respectively, as the current state and the transitioned state, and creates a state transition table in which conditions for transition from the current state to the transitioned state have been set; and a means that selects a target current value for the motor on the basis of the positional relationships of intersections corresponding to the transitioned state on the curved lines when transitioned from optional intersections corresponding to the current state in accordance

[続葉有]

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))
-

with the transition conditions.

(57) 要約: d q 軸直交座標系において電流ベクトル制御によってモータを駆動するモータ制御装置であって、 d q 軸直交座標平面における電力最小化曲線 (MP)、電流最小曲線 (MA)、電圧最小曲線 (MV)、電流制限円 (LA)、電圧制限曲線 (LV)、定トルク曲線 (CT)、力行電力制限曲線 (LP+)、および回生電力制限曲線 (LP-) より選択した2つの曲線の交点のうち電流指令として有効な交点の組合せを求める手段と、これらの交点の組合せを現在状態と遷移先状態として行方向と列方向にそれぞれ配列し、上記現在状態から遷移先状態への遷移条件を設定した状態遷移表を作成する手段と、上記現在状態に対応する任意の交点から上記遷移条件に従って遷移したときの上記遷移先状態に対応する交点の上記曲線上における位置関係に基づいてモータに対する電流目標値を選択する手段とを備える。

明 細 書

発明の名称： モータ制御装置

技術分野

[0001] 本発明は、電動モータを駆動制御するモータ制御装置に関する。

背景技術

[0002] 電気自動車、ハイブリッド車両等の駆動源になっている埋め込み磁石型モータ（IPM）等のトラクションモータは、マグネットトルクとリラクタンストルクを併用するモータであり、最大効率を得るためには、速度等の動作条件と、電源電圧等の制約に応じてトルク配分を調整する必要がある。

[0003] 通常、モータ制御では、電圧電流限界までモータを動作させるという観点から、電圧・電流制限を満たすことと、その範囲内で効率を最大化することを条件として電流目標値を生成している。

[0004] 特許文献1は、ベクトル制御の回転座標上における電圧ベクトルと電流ベクトルとの内積に基づくd軸、q軸の電流特性である電力制限円と、角速度に基づいたd軸、q軸の電流特性である電圧制限円の双方の円内に、回転座標上でd軸指令電流とq軸指令電流を表す点を収めることで、d軸電流がd軸指令電流から乖離せず、q軸電流がq軸指令電流から乖離しない状態でブラシレスモータを駆動する技術を開示している。

[0005] モータ制御において電力制限を考慮しない場合、バッテリー充放電許容電力を超過した力行、回生によりバッテリーにダメージを与える懸念がある。例えば、特許文献2は、車両（燃料電池車）の駆動モータの負荷要求出力が急減した場合におけるバッテリーの応答遅れに起因して発生した余剰電力をモータで消費させて、余剰電力によるバッテリーへの充電電流が過剰となるのを回避する技術を開示している。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開2020-54086号公報

特許文献2：特許第6395268号公報

非特許文献

[0007] 非特許文献1：「リラクタンストルク応用モータ」（電気学会／オーム社（2016／1））

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] 従来のモータ制御では、その制御に用いる電圧方程式で鉄損を考慮していないため、実際の最大効率点に対して誤差が生じるという問題がある。また、従来は、電圧・電流・電力制限を複合させた電流指令による制御を行っていない。

[0009] 上記のように特許文献2では、燃料電池車のモータ回生技術を開示しているが、瞬間的に負荷が急減して電力が過剰になったとき、故意にモータで電力を消費することでバッテリーを保護している。このような制御は最小効率制御（非効率制御）であって、最大効率制御ではない。また、特許文献2では、鉄損 W_f を、 $W_f = (V_d^2 + V_q^2) / R_c$ （ R_c は等価鉄損抵抗）と定義しているが、等価鉄損抵抗の具体的な導出方法については言及していない。

[0010] 一方、制御方法を実際の製品（モータ）に適用するには電圧・電流制限のすべてのケースに対して安定動作を可能にする必要があるが、例えば非特許文献1は、電圧・電流制限が発生し得るケースの一部を示しているに過ぎない。

[0011] さらに非特許文献1は、最大効率制御を図示しているも数式による説明が一切ないため、最大効率制御を実施できない点で全ケースを網羅していない。また、非特許文献1は、最適電流テーブル方式を提案しているが、電流指令値のためのテーブル生成は高コストとなるという問題がある。

[0012] 本発明は、上述した課題に鑑みてなされたものであり、その目的は、電圧・電流・電力制限を複合させた電流指令方法を提供し、最適なモータ電流目標値の選択を可能にすることである。

課題を解決するための手段

[0013] 上記の目的を達成し、上述した課題を解決する一手段として以下の構成を備える。すなわち、本願の例示的な第1の発明は、 d q 軸直交座標系において電流ベクトル制御によってモータを駆動するモータ制御装置であって、 d q 軸直交座標平面における電力最小化曲線（MP）、電流最小曲線（MA）、電圧最小曲線（MV）、電流制限円（LA）、電圧制限曲線（LV）、定トルク曲線（CT）、力行電力制限曲線（LP+）、および回生電力制限曲線（LP-）より選択した2つの曲線の交点のうち電流指令として有効な交点の組合せを求める手段と、前記交点の組合せを現在状態と遷移先状態として行方向と列方向にそれぞれ配列し、前記現在状態から前記遷移先状態への遷移条件を設定した状態遷移表を作成する手段と、前記現在状態に対応する任意の交点から前記遷移条件に従って遷移したときの前記遷移先状態に対応する交点の前記曲線上における位置関係に基づいて前記モータに対する電流目標値を選択する手段とを備えることを特徴とする。

[0014] 本願の例示的な第2の発明は、 d q 軸直交座標系において電流ベクトル制御によってモータを駆動するモータ制御方法であって、 d q 軸直交座標平面における電力最小化曲線（MP）、電流最小曲線（MA）、電圧最小曲線（MV）、電流制限円（LA）、電圧制限曲線（LV）、定トルク曲線（CT）、力行電力制限曲線（LP+）、および回生電力制限曲線（LP-）より選択した2つの曲線の交点のうち電流指令として有効な交点の組合せを求める工程と、前記交点の組合せを現在状態と遷移先状態として行方向と列方向にそれぞれ配列し、前記現在状態から前記遷移先状態への遷移条件を設定した状態遷移表を作成する工程と、前記現在状態に対応する任意の交点から前記遷移条件に従って遷移したときの前記遷移先状態に対応する交点の前記曲線上における位置関係に基づいて前記モータに対する電流目標値を選択する工程とを備えることを特徴とする。

発明の効果

[0015] 本発明のモータ制御装置によれば、遷移条件が設定された状態遷移表を使

用して、モータに対する電流目標値（電流出力値）として有効な交点のみに着目して電流ベクトルの指令値を計算することで、電流目標値の計算量を軽減して処理速度の向上とコスト削減が可能になる。

図面の簡単な説明

[0016] [図1]図1は、本発明の実施形態に係るモータ制御装置の全体構成を示すブロック図である。

[図2]図2は、8曲線から選択した2曲線相互の交点のうち有効な組合せを表記する図である。

[図3]図3は、 $d-q$ 軸直交座標平面上における複数曲線の位置関係を示す図である。

[図4]図4は、力行時の電圧・電流・電力の制限状況をまとめた図である。

[図5]図5は、回生時の電圧・電流・電力の制限状況をまとめた図である。

[図6]図6は、現在状態から遷移先状態への遷移条件が設定された状態遷移表である。

[図7]図7は、本実施形態に係るモータ制御装置における電流目標値の算出処理を示すフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0017] 以下、本発明に係る実施形態について添付図面を参照して詳細に説明する。

[0018] <モータ制御装置の構成>

図1は、本発明の実施形態に係るモータ制御装置の全体構成を示すブロック図である。図1に示すモータ制御装置1は、モータ制御部10、制御対象である電動モータ15に所定の駆動電流を供給するモータ駆動部5等を備える。モータ制御部10は、モータ制御装置1の全体の制御を司る、例えばマイクロプロセッサからなり、電動モータ15に流れる電流と目標電流とが一致するように電流値をフィードバックするフィードバック制御（F/B制御）等を行う中央制御部（CPU）である。

[0019] 電流指令部2は、後述する状態遷移表を使用して指示トルク（トルク指令

値) T_q 、電動モータ 15 の回転速度 ω 等から、 d 軸成分および q 軸成分を持つ 2 相の指令電流値 (目標電流値) である d 軸の電流指令値 I_d^* および q 軸の電流指令値 I_q^* を生成する。

[0020] メモリ 3 には、モータ制御部 10 が実行するモータ制御プログラムに加え、後述する状態遷移の実施に必要な状態遷移表、プログラム等が記憶される。メモリ 3 は、例えば読み出し専用メモリ (ROM) である。メモリ 3 はモータ制御部 10 に内蔵された構成であっても、あるいは、外付けされた構成としてもよい。

[0021] 減算器 13 a は、 q 軸の電流指令値 I_q^* と、座標変換部 28 より出力された q 軸電流 I_q との差分を演算する。また、減算器 13 b は、 d 軸の電流指令値 I_d^* と、座標変換部 28 より出力された d 軸電流 I_d との差分を演算する。

[0022] q 軸 PI 制御部 16 a は、 I_q^* と I_q の差分をゼロに収束させるように PI (比例+積分) 制御を行い、 q 軸電圧の指令値である q 軸電圧指令値 V_q^* を算出する。また、 d 軸 PI 制御部 16 b は、 I_d^* と I_d の差分をゼロに収束させるように PI (比例+積分) 制御を行うことで、 d 軸電圧の指令値である d 軸電圧指令値 V_d^* を算出する。

[0023] 座標変換部 17 は、 q 軸、 d 軸の電圧指令値 V_q^* 、 V_d^* と電動モータ 15 の回転角度 θ とからモータ印加電圧を演算する。すなわち、2 相/3 相変換機能を有する座標変換部 17 は、回転角度 θ に基づいて、 q 軸電圧指令値 V_q^* と d 軸電圧指令値 V_d^* を 3 相の各相毎の電圧指令値である電圧指令値 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* に変換する。

[0024] 3 相変換後の電圧指令値 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* は、PWM 信号生成部 21 に入力される。PWM 信号生成部 21 は、これらの電圧指令値に基づいて PWM (パルス幅変調) 制御信号のデューティを増減することにより、電動モータ 15 の駆動信号を生成する。

[0025] すなわち、PWM 信号生成部 21 は、電圧指令値に従って、インバータ回路 23 を構成する複数の半導体スイッチング素子 (FET) の ON/OFF

制御信号（PWM信号）を生成する。これらの半導体スイッチング素子は、電動モータ15の各相（u相、v相、w相）に対応している。

[0026] スwitchング素子（FET）はパワー素子とも呼ばれ、例えば、MOSFET (Metal-Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor)、IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) 等のスイッチング素子を用いる。

[0027] なお、PWM信号生成部21は、モータ駆動信号を生成しFET駆動回路等として機能するモータ制御用集積回路（プリドライバIC）に内蔵される構成としてもよい。

[0028] モータ駆動部5のインバータ回路23は、電源リレー24を介してバッテリーBTから供給された電力より、電動モータ15を駆動する交流を生成するモータ駆動回路である。電動モータ15は、例えば、表面磁石型モータ（SPM）、埋め込み磁石型モータ（IPM）等の車載トラクションモータである。電源リレー24は、バッテリーBTからの電力を遮断可能に構成され、半導体リレーで構成することもできる。

[0029] インバータ回路23より電動モータ15に供給されるモータ駆動電流は、各相に対応して配置した電流センサからなる電流検出部25で検出される。電流検出部25は、例えばモータ駆動電流検出用のシャント抵抗に流れる直流電流を、オペアンプ等からなる増幅回路を用いて検出する。

[0030] 電流検出部25からの出力信号（電流検出信号）は、A/D変換部（ADC）27に入力される。ここでは、ADC27のA/D変換機能によりアナログ電流値をデジタル値に変換し、その変換により得られた3相電流 I_u 、 I_v 、 I_w は、座標変換部28に入力される。

[0031] 3相/2相変換機能を有する座標変換部28は、回転角センサ29で検出された回転角度 θ と3相電流 I_u 、 I_v 、 I_w より、q軸電流 I_q とd軸電流 I_d を出力する。すなわち、座標変換部28はモータの実電流（q軸実電流、d軸実電流）をもとにd軸電流とq軸電流を演算する。

[0032] <電流目標値の選択>

本実施形態に係るモータ制御装置のモータ制御において電流目標値を選択

するため、第一の条件として電圧・電流・電力制限を満たし、第二の条件を指令トルク、第三の条件を電力最小化とする。ここでは、実際の用途を考慮して力行と回生を明確に区別するため、後述する電力制限曲線（LP）については、LP+曲線（力行）、LP-曲線（回生）に分けて電力制限する。

[0033] そこで、x軸をI_q成分、y軸をI_d成分とし、y軸正方向を弱め界磁方向と定義した電流d-q軸平面（d-q軸直交座標平面）上に電力最小化曲線（MP）、電流最小曲線（MA）、電圧最小曲線（MV）、電流制限円（LA）、電圧制限曲線（LV）、定トルク曲線（CT）、力行電力制限曲線（LP+）、および回生電力制限曲線（LP-）の8曲線を定義する。

[0034] これら8曲線に囲まれた領域が上記第一の条件を満たす。さらに第二の条件と第三の条件を満たすため、上記の領域内で定トルク曲線および電力制限曲線と重なるか、あるいは最も近くなる点を電流目標値として選択する。

[0035] 定トルク曲線（CT (Constant Torque) 曲線）は、一定トルクTを満たす直交座標（x, y）の軌跡であり、式（1）で表すことができる。定トルク曲線は双曲線であり、式（1）において、 ξ_m は永久磁石係数であって、永久磁石を含むモータでは1、含まないモータでは0とする。 $\Delta\eta$ はモータ定数振幅であり、無次元モータ定数 η の最大値 η_{max} と最小値 η_{min} の差である。

[0036] [数1]

$$T_e = x(\xi_m + \Delta\eta y) \quad \cdots (1)$$

[0037] 電流ノルム i_1 を一定にする（x, y）の軌跡は $i_1^2 = x^2 + y^2$ となり、電流制限関数を $LA(x, y) = x^2 + y^2$ とする。電流ノルム上限（電流基準に対する電流上限値）を $|i_{max}|$ に設定すると、電流制限円は原点を中心とする半径 $|i_{max}|$ の円である。そこで、式（2）で示される曲線を電流制限円（LA (Limited Ampere) 曲線）と呼ぶ。

[0038]

[数2]

$$x^2 + y^2 = i_{max}^2 \quad \dots (2)$$

[0039] 本実施形態では、電圧制限関数（LV (Limited Voltage) 関数）と電圧ノルム最小関数（MV (Minimum Voltage) 関数）においても鉄損を考慮する。電圧ノルム上限（電圧基準に対する電圧上限値）を $|v_{max}|$ とすると、電圧制限曲線（LV (Limited Voltage) 曲線）LV (x, y) は式 (3) で表すことができる。

[0040] [数3]

$$LV(x, y) = v_{max}^2 \quad \dots (3)$$

[0041] 電圧ノルム最小曲線（電圧最小曲線、MV (Minimum Voltage) 曲線）MV (x, y) は、式 (4) で表すことができる。

[0042] [数4]

$$\begin{aligned} MV(x, y) = & \Delta\eta x \left[\left(1 + \eta_{max}^2 K^2(\omega) \right) \left\{ \left(1 + \eta_{max}^2 K^2(\omega) \right) x - \eta_{min} \omega y + \xi_m \omega \right\} \right. \\ & + \eta_{max} \omega \left\{ \left(1 + \eta_{min}^2 K^2(\omega) \right) y + \eta_{max} \omega x - 2\xi_m \eta_{min} K^2(\omega) \right\} \left. \right] \\ & - (\xi_m + \Delta\eta y) \left[-\eta_{min} \omega \left\{ \left(1 + \eta_{max}^2 K^2(\omega) \right) x - \eta_{min} \omega y + \xi_m \omega \right\} \right. \\ & + \left. \left(1 + \eta_{min}^2 K^2(\omega) \right) \left\{ \left(1 + \eta_{min}^2 K^2(\omega) \right) y + \eta_{max} \omega x - 2\xi_m \eta_{min} K^2(\omega) \right\} \right] \\ & \dots (4) \end{aligned}$$

[0043] 一定トルクに対する電流ノルム最小化条件を導出することで、式 (5) に示す電流ノルム最小曲線（電流最小曲線、MA (Minimum Ampere) 曲線）を定義する。

[0044] [数5]

$$(\xi_m + \Delta\eta y)y - \Delta\eta x^2 = 0 \quad \dots (5)$$

[0045] 電力最小化曲線（MP (Minimum Power) 曲線ともいう）は、例えば、解析あるいは実測データをもとにヒステリシス損係数と渦電流損係数を導出し、それらを含む数式を用いて、以下のように定義する。電力最小化曲線は効率最大化曲線でもある。

[0046] [数6]

$$(\xi_m + \Delta\eta y)y - \Delta\eta x^2 + K^2(\omega)\{-\eta_{max}^2 \Delta\eta x^2 + \eta_{min}(\xi_m + \Delta\eta y)(\eta_{min}y - \xi_m)\} = 0 \quad \cdots (6)$$

[0047] 上記の式（４），（６）において、 $K(\omega)$ は鉄損計算用の係数であり、ヒステリシス損係数を k_h 、渦電流損係数を k_e とした場合、以下のように定義できる。

[0048] [数7]

$$K(\omega) = \sqrt{\omega(k_h + k_e \omega)} \quad \cdots (7)$$

[0049] 電力制限曲線（LP (Limited Power) 曲線）は、モータシステムにおけるエネルギー保存則に基づいて電力釣り合いの式を導出し、そこから導かれる鉄損を含んだ電圧方程式で定義する。

[0050] ここでは、目標電磁トルク T_e 、モータ回転角周波数 ω_M 、電力で正規化された銅損 W_{cu} 、駆動時鉄損 W_{ir_e} より導出される、式（８）で示される交流電力 P_{AC} によって、式（９）の左辺で表される LP (Limited Power) 関数 $LP(x, y)$ を定義する。

[0051] [数8]

$$P_{AC} = T_e \omega_M + W_{cu} + W_{ir_e} \quad \cdots (8)$$

[0052] [数9]

$$\begin{aligned} LP(x, y) = & \{(x - \eta_{min}\omega y + \xi_m\omega) + \eta_{max}^2 K^2(\omega)x\}x \\ & + [(y + \eta_{max}\omega x) + \{\eta_{min}K^2(\omega)(\eta_{min}y - 2\xi_m)\}]y = P_{AC} \\ & \cdots (9) \end{aligned}$$

[0053] そして、式（９）を変形した一般の二次曲線として、式（１０）で表されるＬＰ曲線を得る。

[0054] [数10]

$$\begin{aligned} & (1 + \eta_{\max}^2 K^2(\omega))x^2 + \xi_m \omega x + (1 + \eta_{\min}^2 K^2(\omega))y^2 + \Delta\eta \omega xy - 2\xi_m \eta_{\min} K^2(\omega)y \\ & - P_{AC} = 0 \\ & \cdots (10) \end{aligned}$$

[0055] 電力制限値には、力行制限電力 $P_{\max} \geq 0$ と、回生制限電力 $P_{\min} \leq 0$ とで定義される２種類の制限値があり、上記の P_{AC} は、 $P_{\min} \leq P_{AC} \leq P_{\max}$ の範囲に制限される。ＬＰ（ x ， y ）＝ $P_{\max}$ 、ＬＰ（ x ， y ）＝ $P_{\min}$ はいずれもＬＰ曲線であるが、力行と回生とで区別する場合には、ＬＰ（ x ， y ）＝ $P_{\max}$ をＬＰ＋曲線、ＬＰ（ x ， y ）＝ $P_{\min}$ をＬＰ－曲線と記載する。

[0056] ＬＰ曲線は、式（１１）で示す離心率 e によって形状が変化する。式（１１）において、 $a_{xx} = 1 + \eta_{\max}^2 K^2(\omega)$ 、 $a_{yy} = 1 + \eta_{\min}^2 K^2(\omega)$ 、 $a_{xy} = \Delta\eta\omega$ である。

[0057] [数11]

$$\begin{aligned} e &= \frac{|a_{xy}|}{2\sqrt{a_{yy}a_{xx}}} = \frac{\Delta\eta|\omega|}{2\sqrt{(1 + \eta_{\max}^2 K^2(\omega))(1 + \eta_{\min}^2 K^2(\omega))}} \\ &\cdots (11) \end{aligned}$$

[0058] ＬＰ曲線は、上記の離心率 e が $e = 0$ では真円、 $e = 1$ で放物線、 $e > 1$ では双曲線、 $0 < e < 1$ では楕円となる。一方、上記の電流最小曲線（ＭＡ）、電圧最小曲線（ＭＶ）、電力最小化曲線（ＭＰ）は、 y 軸を主軸とする上向きの方曲線である。

[0059] 次に、本実施形態に係るモータ制御装置における電流指令値の選択方法（電流目標値を絞り込む方法）について説明する。電流目標値は、上述した８曲線より選択した２曲線の交点であり、図２に示すように、８曲線から選択した２曲線相互の交点をアルファベット４文字（それらの曲線の略称を繋い

だ称呼)で表記する。

[0060] 図3は、上述した8曲線(MV曲線、MP曲線、MA曲線、LA曲線、LV曲線、CT曲線、LP+曲線、LP-曲線)のdq軸直交座標平面上における位置関係を示す。図2の横軸がiq軸(x軸)、縦軸がid軸(y軸)であり、各曲線の大小関係(同じx座標に対するy座標の値)は、MV曲線>MP曲線>MA曲線の関係が成り立つ。

[0061] 上記のようにMA, MV, MP間で交点は存在せず、MALV, MVLA, MPLV, MPLA, MACT, MVCTは有効な電流出力にならないことから、LP曲線を除く電流出力として有効な組合せはMPCT, LVCT, LACT, MVLV, MALA, LVLAの6通りに限られる。また、LP曲線が関係する6本のうち、MPLP+, LPCT-, LVLP+, LALLP+, LVLP-, LALLP-の6本が有効な電流出力となる。

[0062] 図3において、MV曲線とMA曲線の2個の放物線で挟まれた範囲が電流出力として有効な動作点である。この範囲は、その開口部がLA曲線とLV曲線に加えてLP+曲線とLP-曲線で制限される。

[0063] 図3の領域Aは電流出力可能範囲であり、電力制限条件である、上述した $P_{min} \leq P_{AC} \leq P_{max}$ の範囲と、LV曲線内かつLA曲線内 ($LV(x, y) \leq v_{max}^2$ かつ $LA(x, y) \leq i_{max}^2$) の範囲と、MA曲線以上かつMV曲線以下 ($MA(x, y) \geq 0$ かつ $MV(x, y) \leq 0$) の範囲のすべてを満たす。

[0064] なお、LP-曲線上に限り、上記の「 $MA(x, y) \geq 0$ かつ $MV(x, y) \leq 0$ 」を満たさない点(図3の太線部分)も電流出力可能範囲に入る。回生時はLP-曲線上を移動するとMPLP-から、さらに小さい(絶対値の大きい)トルクが出力可能である(図3では、トルク増加により第2象限のMALP-からLVLP-に進む)。このとき、MA曲線は電流、MV曲線は電圧の最小条件であり、電力とは無関係のため、LA曲線またはLV曲線と交わるまで電流出力可能範囲に入る。

[0065] 力行では、電力制限のみを考慮するとMPLP+が出力可能な最大トルク

であり、 $L P +$ 曲線上を移動しないため、 $L P C T +$ は有効な電流出力にならない。

[0066] 目標電磁トルク T_e の出力が可能なのは、図3に示す電圧・電流・電力制限による電流出力可能範囲（制約条件ともいう）内に T_e に基づく $C T$ 曲線を含む場合である。消費電力を最小化するため $M P$ 曲線との交点、または最も近くなる点を電流目標値とする。

[0067] 一方、 T_e が大きく、上記の制約条件を満たす範囲内に $C T$ 曲線を含まない場合は、電圧・電流制限範囲内でトルクを最大化する点を電流目標値として選択する。

[0068] 本実施形態に係るモータ制御装置のモータ制御における電流目標値の選択範囲について、 $C T$ 曲線を除いた6曲線の相互関係に基づいて説明する。 $L P +$ 曲線で制限される力行時、および $L P -$ 曲線で制限される回生時それぞれについて説明する。

[0069] 図4は、力行時の電圧・電流・電力の制限状況をまとめた図である。交点を持たないケース（後述する $N O V A$ ）は省略する。図4の各ケースでは、グレーで示す領域が電流出力可能領域であり、その範囲の最大トルク条件が枠内に表記されている。

[0070] 図4において横軸は、電力飽和を無視し、 $M P$ 曲線に沿ってトルクを増加させるときの場合分けを示す。（a）電圧飽和では、電圧飽和に達した（図4の☆印）後に $L V$ 曲線に移り、最大トルクに達する（★印）。

[0071] （b）電圧→電流飽和では、上記（a）で $L V$ 曲線に移った後に、電流飽和して最大トルクに達する（★印）。（c）電流→電圧飽和では、電流飽和に達した（☆印）後に $L V$ 曲線に移り、電圧飽和して最大トルクに達する（★印）。また、（d）電流飽和では、電流飽和に達した（☆印）後に $L A$ 曲線に移り最大トルクに達する（★印）。

[0072] 図4の縦軸は、上記の☆印、★印の時点でそれぞれ電力飽和しているかで分類している。「☆電力飽和」、「★電力未飽和」のケースはないので3通りである。

- [0073] (A) 「☆電力飽和」、「★電力飽和」では、 $MPLP+$ (▲印) が $LPLP+$ 曲線上で最大トルクとなるので、横軸に関わらず最大トルク条件は $MPLP+$ となる。(B) ☆電力未飽和、「★電力飽和」では、電圧あるいは電流が制限されて電力制限となる。電圧が先に飽和すると $LVL P+$ (▲印) が最大トルク条件となり、電流が先に飽和すると $LAL P+$ (▲印) が最大トルク条件になる。
- [0074] (D) 「☆電力未飽和」、「★電力未飽和」では、電圧・電流制限のみを考慮して $MVL V$, $LVL A$, $MAL A$ の何れかになる。
- [0075] 図5は、回生時の電圧・電流・電力の制限状況をまとめた図である。図5の各ケースにおいても、グレーで示す領域が電流出力可能領域であり、その範囲の最大トルク条件が枠内に表記されている。
- [0076] 図5の横軸は、図4の力行時と同じである。図5では、縦軸において上記☆印、★印の時点でそれぞれ電力飽和しているかで分類している。ここでは、「☆電力飽和」、「★電力未飽和」のケースも存在するため、4通りある。
- [0077] 上記のように $LP-$ 曲線は楕円、放物線、双曲線の場合があり、楕円の場合は楕円の内側が電力飽和、放物線・双曲線の場合は原点を含まない方が電力飽和である。回生時のトルク絶対値を回生トルクと表記する。
- [0078] 原点から近い方の $MPLP-$ は、 $LP-$ 曲線上で回生トルク最小、 $LP-$ 曲線が楕円になる場合は原点から遠い方の $MPLP-$ が存在し、回生トルク最大である。図5では、すべてのケースに原点から近い方の $MPLP-$ (△印) 表記を追加した。
- [0079] (A) 「☆電力飽和」、「★電力飽和」では、電力がまず飽和する。電圧飽和は MV 方向に、電流飽和は MA 方向に $LP-$ 曲線上を進み、▲印が最大トルク条件である。電圧→電流飽和と電流→電圧飽和は、 $LVL P-$ または $LAL P-$ が最大トルク条件になり得る。
- [0080] (B) 「☆電力未飽和」、「★電力飽和」では、 $LVL P-$ または $LAL P-$ が最大トルク条件となる。電圧あるいは電流が飽和し、次に電力飽和す

るが、その点は最大トルク条件ではない。最大トルク条件（▲印）は、よりMP曲線から遠い方に定まる。

[0081] (C) 「☆電力飽和」、「★電力未飽和」では、最大トルク条件は★印になる。電力飽和後に電圧または電流で飽和したときに電力飽和が解消される。

[0082] (D) 「☆電力未飽和」、「★電力未飽和」では、力行の場合と同様、電圧・電流制限のみを考慮する。ただし、後述するように、☆印と★印の間点が電力飽和するケースも考えられる。

[0083] 図6は、力行と回生の双方について、電流目標値として有効な交点の組合せを行方向と列方向それぞれに現在状態と遷移先状態として配列し、現在状態から遷移先状態への遷移条件（C1～C60）を設定した状態遷移表である。電流目標値は、合計で13の状態を持つ。

[0084] 遷移条件は、任意の交点から別の交点へ移動するための判断条件であり、その判断条件は現在の交点に依存しているため、状態遷移マシンとなる。×印は遷移がないことを示す。出力可能範囲が存在しないケースをNOVA (No cross Voltage and Ampere) と定義する。

[0085] 図6に示す状態遷移には規則性があり、(1) 各状態で関与する2曲線のうち状態遷移の前後で入れ替わるのは1本のみ、(2) 遷移条件が現在状態の電流目標値と遷移先で入れ替わる曲線との関係になっている。

[0086] 例えば、MPCT→LVCTの遷移では、(1) CT曲線はそのままMP曲線からLV曲線に入れ替わり、(2) MPCTの電流目標値を遷移先で入れ替わるLV関数に代入して確認し、電圧飽和していればLVCTに遷移する。

[0087] なお、LVCT⇔LACTはMPCT経由で遷移、LVLP+⇔LALP+はMPLP+またはLVLA経由、LVLP-⇔LALP-はLVLA経由で遷移するため、図6の状態遷移表では、直接遷移なし、としている。また、LVLA→LVCTとLVLA→LACTは、遷移条件がCT曲線で被るため、MP曲線との比較を追加することで分離している。LVLA→LV

CTの状態遷移は、トルク条件がトリガー、MP条件がガード条件となるため、 $|T^*| < |T|$ $[MP \geq 0]$ と表記する。

[0088] MPCT, MALA, MVLV, MPLP+は常に交点が存在するが、LACT, LVCT, LVLA, LPCT-, LVLP+, LALP+, LVLP-, LALP-は交点が存在しない場合がある。交点を持たないケースはすべて状態遷移により、交点の演算をすることを回避できる。

[0089] LVCT, LACT, LPCT-, LVLA, LVLP+, LVLP-は、他状態への状態遷移を判定してから、交点の計算を開始する必要がある。例えば、LVCTが交点を持たない条件はMVLV遷移条件のため、LVCTの交点を求める前にMVLV遷移条件を満たすかを確認する。その際、LVCTの交点情報を使えないため、MVLVのトルクと指令トルクを比較する。

[0090] 次に、本実施形態に係るモータ制御装置における電流目標値の出力動作について説明する。図7は、本実施形態に係るモータ制御装置における電流目標値の算出処理を示すフローチャートである。

[0091] 図7のステップS11においてモータ制御部10は、上述した8個の二次曲線をdq軸直交座標平面上に定義する。具体的には、電力最小化曲線(MP)、電流最小曲線(MA)、電圧最小曲線(MV)、電流制限円(LA)、電圧制限曲線(LV)、定トルク曲線(CT)、力行電力制限曲線(LP+)、および回生電力制限曲線(LP-)をxy平面上に描画する。

[0092] 続くステップS13において、ステップS11で描画した8曲線より選択した2曲線の交点を定義する。ここでの交点の組合せは、上述したように電流目標として有効な12通りと、電流目標として有効な交点を持たない組合せとの計13通りとなる。

[0093] ステップS15において、上記のステップS13で得た電流目標として有効な交点の組合せを、行方向と列方向それぞれに現在状態と遷移先状態として配列し、それらに遷移条件を付加した、図6に示す状態遷移表を作成する。

[0094] ステップS 1 7においてモータ制御部1 0は、初期状態（例えば、M P C Tから開始する）を設定し、ステップS 1 9で、後述する遷移条件を満たすか否かを判断する。遷移条件を満たす場合、ステップS 2 1において、上記のステップS 1 5で作成した状態遷移表に従い、電流飽和、電圧飽和、電力飽和、トルク飽和等を遷移条件として、所定の交点から別の交点へ移動する状態遷移を実施する。これにより移転先（遷移先）を絞り込み、電圧・電流・電力制限範囲内で最大トルクとなる電流目標値を選択する。

[0095] このように、初期値（ x , y ）が遷移条件を満たす限り、他の状態遷移を実施する処理を繰り返す（ステップS 1 9, S 2 1）。遷移条件を満たさない場合（ステップS 1 9でNO）には、ステップS 2 3においてモータ制御部1 0は、現在状態の交点の電流目標値を選択する。

[0096] ステップS 2 5において、状態遷移処理が終了したかどうかを判断し、終了していない場合、処理をステップS 1 9に戻して、他の遷移条件に基づく状態遷移処理を実施する。

[0097] 次に、図6に示す状態遷移表を検証する。ここでは、力行と回生それぞれについての状態遷移表を検証する。

[0098] [力行についての状態遷移表の検証]

図4を参照して分類した最大トルク条件別に、力行の制御シナリオを検証する。ここでは、トルクの増加方向と減少方向の双方向で考え、最大トルク条件が変化するケースも検証する。以降では速度正での説明であるが、速度負でも同様に実施可能である。また、特に言及しない場合、トルクは絶対値として説明する。

[0099] 図4より、最大トルク条件はM A L A, M V L V, M P L P+, L V L A, L A L P+, L V L P+の6通り存在する。

[0100] <最大トルク条件がM A L Aの場合>

図4の（1 2）は、最大トルク条件M A L Aになるケースの各曲線の関係を示している。図4の（1 2）は、★印と☆印の両方が電力非飽和かつ電流飽和のケースである。M A L A（★印）が電力飽和しない、つまり電力制限

を考慮しない状態遷移と同じである。

- [0101] トルク指令が0から増加する場合と、トルク指令が無限大から減少する場合における状態の変化とその遷移条件を示す。すなわち、トルク指令が増加する場合には、図6の状態遷移表において、電力最小化曲線と定トルク曲線との交点座標(MPCT)を現在状態とし、図6のC2 ($|i| \geq i_{max}$: 電流飽和)を次状態への遷移条件として、電流制限円と定トルク曲線との交点座標(LACT)を遷移先状態とする遷移を行う。
- [0102] 続いて、交点座標(LACT)を現在状態とし、図6のC13 ($MA \leq 0$: トルク飽和)を遷移条件として、電流最小曲線と電流制限円との交点座標(MALA)を遷移先状態であって終着点とする遷移によって、その交点座標(MALA)を最大トルク条件とする。
- [0103] トルク指令が無限大から減少する場合には、交点座標(MALA)を現在状態とし、図6のC25 ($|T^*| < |T|$: トルク飽和の解消)を遷移条件として交点座標(LACT)を遷移先状態とする遷移を行う。続いて、交点座標(LACT)を現在状態とし、図6のC11 ($MP > 0$: 電流飽和の解消)を遷移条件として、交点座標(MPCT)を遷移先状態であって終着点とする遷移を行う。
- [0104] <最大トルク条件がMVLVの場合>
- 図4の(9)は、★印と☆印の両方が電力不飽和、かつ電圧飽和のケースを示す。この場合、速度に応じて3種類の遷移があるが、 $\omega \leq 1$ では、必ず図4の(9)のMPCT $\Leftrightarrow$ LVCT $\Leftrightarrow$ MVLVとなる。 $\omega > 1$ では、LVCT $\Leftrightarrow$ MPCT $\Leftrightarrow$ LVCT $\Leftrightarrow$ MVLV、あるいはLVCT $\Leftrightarrow$ MVLVになる可能性があるが、ここでは、 $\omega > 1$ の場合の説明を省略する。
- [0105] トルク指令が増加する場合、電力最小化曲線と定トルク曲線との交点座標(MPCT)を現在状態とし、図6のC1 ($|v| \geq v_{max}$: 電圧飽和)を遷移条件として電圧制限曲線と定トルク曲線との交点座標(LVCT)を遷移先状態とする遷移を行う。
- [0106] 続いて、交点座標(LVCT)を現在状態とし、図6のC7 ($MV \geq 0$:

トルク飽和)を遷移条件として電圧最小曲線と電圧制限曲線との交点座標 ($MVLV$)を遷移先状態であって終着点とする遷移により、交点座標 ($MVLV$)を最大トルク条件とする。

[0107] トルク指令が減少する場合には、交点座標 ($MVLV$)を現在状態とし、図6のC29 ($|T^*| < |T|$: トルク飽和の解消)を遷移条件として、交点座標 ($LVC T$)を遷移先状態とする遷移を行う。続いて、交点座標 ($LVC T$)を現在状態とし、図6のC5 ($MP < 0$: 電圧飽和の解消)を遷移条件として、交点座標 ($MPC T$)を遷移先状態であって終着点とする遷移を行う。

[0108] <最大トルク条件が $MPLP+$ の場合>

図4の(1)～(4)は、★印と☆印の両方が電力飽和で、最大トルク条件が $MPLP+$ となる場合の各曲線の関係を示す。

[0109] トルク指令が増加する場合、電力最小化曲線と定トルク曲線との交点座標 ($MPC T$)を現在状態とし、図6のC4 ($p \geq p_{max}$: 電力飽和)を遷移条件として、電力最小化曲線と力行電力制限曲線との交点座標 ($MPLP+$)が遷移先状態であって終着点となり、その交点座標 ($MPLP+$)が最大トルク条件となる遷移を行う。

[0110] トルク指令が減少する場合には、交点座標 ($MPLP+$)を現在状態とし、図6のC22 ($|T^*| < T_{pmax}$: 電力飽和の解消)を遷移条件として、交点座標 ($MPC T$)を遷移先状態であって終着点とする遷移を行う。 T_{pmax} は、 $MPLP+$ (力行)のトルク値である。

[0111] <最大トルク条件が $LVL A$ の場合>

図4の(10)、(11)は、最大トルク条件が $LVL A$ で、★印と☆印の両方が電力不飽和のケースである。図4の(10)は、電流→電圧の順で飽和するケースであり、図4の(11)は、電圧→電流の順で飽和するケースに対応する。

[0112] 電流→電圧の順で飽和するケースにおいて、トルク指令が増加する場合、電力最小化曲線と定トルク曲線との交点座標 ($MPC T$)を現在状態とし、

図6のC2 ($|i| \geq i_{max}$: 電流飽和) を遷移条件として、電流制限円と定トルク曲線との交点座標 (LACT) を遷移先状態とする遷移を行う。

[0113] 続いて、交点座標 (LACT) を現在状態とし、図6のC14 ($|v| \geq v_{max}$: トルク飽和) を遷移条件として、電圧制限曲線と電流制限円の交点座標 (LVLA) を遷移先状態であって終着点とする遷移を行い、その交点座標 (LVLA) を最大トルク条件とする。

[0114] トルク指令が減少する場合には、交点座標 (LVLA) を現在状態とし、図6のC34 ($|T^*| < |T|$ [MP < 0] : トルク飽和が解消し、交点座標 (LVLA) が電流最小曲線 (MA) 側にある) を遷移条件として、交点座標 (LACT) を遷移先状態とする遷移を行う。

[0115] 続いて、交点座標 (LACT) を現在状態とし、図6のC11 (MP > 0 : 電流飽和の解消) を遷移条件として、交点座標 (MPC T) を遷移先状態であって終着点とする遷移を行う。

[0116] 電圧→電流の順で飽和するケースでは、トルク指令が増加する場合、電力最小化曲線と定トルク曲線との交点座標 (MPC T) を現在状態とし、図6のC1 ($|v| \geq v_{max}$: 電圧飽和) を遷移条件として、電圧制限曲線と定トルク曲線との交点座標 (LVCT) を遷移先状態とする遷移を行う。

[0117] 続いて、交点座標 (LVCT) を現在状態とし、図6のC8 ($|i| \geq i_{max}$: トルク飽和) を遷移条件として、電圧制限曲線と電流制限円との交点座標 (LVLA) を遷移先状態であって終着点とする遷移を行うことで、その交点座標 (LVLA) を最大トルク条件とする。

[0118] トルク指令が減少する場合には、交点座標 (LVLA) を現在状態とし、図6のC33 ($|T^*| < |T|$ [MP $\geq$ 0] : トルク飽和が解消し、交点座標 (LVLA) が電流最小曲線 (MA) 側にある) 所定のトルク飽和が解消し、交点座標 (LVLA) が電圧最小曲線 (MV) 側にある) を遷移条件として、交点座標 (LVCT) を遷移先状態とする遷移を行う。

[0119] その後、交点座標 (LVCT) を現在状態とし、図6のC5 (MP < 0 : 電圧飽和の解消) を遷移条件として、交点座標 (MPC T) を遷移先状態で

あって終着点とする遷移を行う。

[0120] <最大トルク条件がLALP+の場合>

図4の(7), (8)は、最大トルク条件がLALP+のシナリオであって、★印のみが電力飽和、かつ電流が先に飽和する2つの場合である。

[0121] トルク指令が増加する場合、電力最小化曲線と定トルク曲線との交点座標(MPCT)を現在状態とし、図6のC2 ($|i| \geq i_{max}$: 電流飽和)を遷移条件として、電流制限円と定トルク曲線との交点座標(LACT)を遷移先状態とする遷移を行う。

[0122] 続いて、交点座標(LACT)を現在状態とし、図6のC15 ($p \geq p_{max}$: 電力飽和)を遷移条件として、電流制限円と力行電力制限曲線との交点座標(LALP+)を遷移先状態であって終着点とする遷移を行うことで、その交点座標(LALP+)を最大トルク条件とする。

[0123] トルク指令が減少する場合には、交点座標(LALP+)を現在状態とし、図6のC51 ($|T^*| < |T|$: トルク飽和の解消)を遷移条件として、交点座標(LACT)を遷移先状態とする遷移を行う。続いて、交点座標(LACT)を現在状態とし、図6のC11 ($MP > 0$: 電流飽和の解消)を遷移条件として、交点座標(MPCT)を遷移先状態であって終着点とする遷移を行う。

[0124] <最大トルク条件がLVLP+の場合>

図4の(5), (6)は、最大トルク条件がLVLP+のシナリオであって、★印のみが電力飽和、かつ電圧が先に飽和する2つの場合である。

[0125] トルク指令が増加する場合、電力最小化曲線と定トルク曲線との交点座標(MPCT)を現在状態とし、図6のC1 ($|v| \geq v_{max}$: 電圧飽和)を遷移条件として電圧制限曲線と定トルク曲線との交点座標(LVCT)を遷移先状態とする遷移を行う。

[0126] 続いて、交点座標(LVCT)を現在状態とし、図6のC9 ($p \geq p_{max}$: 電力飽和)を遷移条件として、電圧制限曲線と力行電力制限曲線との交点座標(LVLP+)を遷移先状態であって終着点とする遷移を行って、その交

点座標 (L V L P +) を最大トルク条件とする。

[0127] トルク指令が減少する場合には、交点座標 (L V L P +) を現在状態とし、図6のC42 ($|T^*| < |T|$: トルク飽和の解消) を遷移条件として、交点座標 (L V C T) を遷移先状態とする遷移を行う。そして、交点座標 (L V C T) を現在状態とし、図6のC5 ($MP < 0$: 電圧飽和の解消) を遷移条件として、交点座標 (M P C T) を遷移先状態であって終着点とする遷移を行う。

[0128] 次に、力行時において速度等の変化で最大トルク条件が変化するときの遷移を説明する。

[0129] 最大トルク条件が変化するときの遷移には、以下の遷移が含まれる。例えば、交点座標 (M A L A) を現在状態とし、図6のC26 ($|v| \geq v_{max}$: 電圧飽和) を遷移条件として、交点座標 (L V L A) を遷移先状態とする遷移と、交点座標 (L V L A) を現在状態とし、図6のC35 ($MA \leq 0$: 電圧飽和の解消) を遷移条件として、交点座標 (M A L A) を遷移先状態とする遷移。

[0130] 交点座標 (M A L A) を現在状態とし、図6のC27 ($p \geq p_{max}$: 電力飽和) を遷移条件として、交点座標 (L A L P +) を遷移先状態とする遷移と、交点座標 (L A L P +) を現在状態とし、図6のC53 ($MA \leq 0$: 電力飽和の解消) を遷移条件として、交点座標 (M A L A) を遷移先状態とする遷移。

[0131] 交点座標 (M V L V) を現在状態とし、図6のC30 ($|i| \geq i_{max}$: 電流飽和) を遷移条件として、交点座標 (L V L A) を遷移先状態とする遷移と、交点座標 (L V L A) を現在状態とし、図6のC36 ($MP \geq 0$: 電流飽和の解消) を遷移条件として、交点座標 (M V L V) を遷移先状態とする遷移。

[0132] 交点座標 (M V L V) を現在状態とし、図6のC31 ($p \geq p_{max}$: 電力飽和) を遷移条件として、交点座標 (L V L P +) を遷移先状態とする遷移と、交点座標 (L V L P +) を現在状態とし、図6のC44 ($MV \geq 0$: 電力

飽和の解消)を遷移条件として、交点座標(MVLV)を遷移先状態とする遷移。

[0133] 交点座標(LALP+)を現在状態とし、図6のC52($MP > 0$: 電圧飽和の解消)を遷移条件として、交点座標(MPLP+)を遷移先状態とする遷移と、交点座標(MPLP+)を現在状態とし、図6のC24($|i| \geq i_{max}$: 電流飽和)を遷移条件として、交点座標(LALP+)を遷移先状態とする遷移。

[0134] 交点座標(LALP+)を現在状態とし、図6のC54($|v| \geq v_{max}$: 電圧飽和)を遷移条件として、交点座標(LVLA)を遷移先状態とする遷移と、交点座標(LVLA)を現在状態とし、図6のC39($p \geq p_{max}$ [$MP < 0$] : 電力飽和と、交点座標(LVLA)が電流最小曲線(MA)側にある)ことを遷移条件として、交点座標(LALP+)を遷移先状態とする遷移。

[0135] 交点座標(LVLP+)を現在状態とし、図6のC43($MP < 0$: 電圧飽和の解消)を遷移条件として、交点座標(MPLP+)を遷移先状態とする遷移と、交点座標(MPLP+)を現在状態とし、図6のC23($|v| \geq v_{max}$: 電圧飽和)を遷移条件として、交点座標(LVLP+)を遷移先状態とする遷移。

[0136] 交点座標(LVLP+)を現在状態とし、図6のC45($|i| \geq i_{max}$: 電流飽和)を遷移条件として、交点座標(LVLA)を遷移先状態とする遷移と、交点座標(LVLA)を現在状態とし、図6のC37($p \geq p_{max}$ [$MP \geq 0$] : 電力飽和と、交点座標(LVLA)が電圧最小曲線(MV)側にある)を遷移条件として、交点座標(LVLP+)を遷移先状態とする遷移。

[0137] なお、図6の状態遷移表におけるNOVA遷移速度 ω_{NOVA} は、LA曲線、LV曲線、LP曲線が3重交点を持つ速度(近似的には、LA曲線のy切片がLV曲線上に存在する速度)に設定する。LVLA, LVLP+, LALP+からNOVAに遷移し、NOVAからはLVLAのみに遷移する。

[0138] [回生についての状態遷移表の検証]

図5を参照して分類した最大トルク条件別に、回生の制御シナリオを検証する。回生状態ではMPLP-が最大トルク条件にならないため、上述した力行状態よりもシナリオが増加する。

[0139] <最大トルク条件がMALAの場合>

図5の(12), (16)は、最大トルク条件MALAになるケースの各曲線の関係を示している。図5の(16)は、電力制限の影響を受けないため、上述した力行時における最大トルク条件がMALAの場合と同じである。

[0140] 図5の(12)は、電力が電流より先に飽和して途中で電力飽和が解消されるケースである。このケースにおいて、トルク指令が増加する場合、電力最小化曲線と定トルク曲線との交点座標(MPCT)を現在状態とし、図6のC3 ($p \leq p_{min}$: 電力飽和)を遷移条件として、回生電力制限曲線と定トルク曲線との交点座標(LPCT-)を遷移先状態とする遷移を行う。

[0141] 続いて、交点座標(LPCT-)を現在状態とし、図6のC19 ($|i| \geq i_{max}$ [MA>0かつMP<0]: 電力飽和の解消)を遷移条件として、電流制限円と定トルク曲線との交点座標(LACT)を遷移先状態とする遷移を行う。

[0142] さらに、交点座標(LACT)を現在状態とし、図6のC13 (MA≤0: トルク飽和)を遷移条件として、電流最小曲線と電流制限円との交点座標(MALA)を遷移先状態であって終着点とする遷移により、その交点座標(MALA)を最大トルク条件とする。

[0143] トルク指令が減少する場合には、交点座標(MALA)を現在状態とし、図6のC25 ($|T^*| < |T|$: トルク飽和の解消)を遷移条件として、交点座標(LACT)を遷移先状態とする遷移を行う。続いて、交点座標(LACT)を現在状態とし、図6のC12 ($p \leq p_{min}$: 電力飽和)を遷移条件として、交点座標(LPCT-)を遷移先状態とする遷移を行う。

[0144] さらに、交点座標(LPCT-)を現在状態とし、図6のC17 ($|T_{pmi}$

$n_{-l} | < | T^* | < | T_{pmin_h} |$: 電力飽和の解消) を遷移条件として、交点座標 (M P C T) を遷移先状態であって終着点とする遷移を行う。 T_{pmin_l} は、M A L A (回生 : 原点から近い) トルク値、 T_{pmin_h} は、M A L A (回生 : 原点から遠い) トルク値である。

[0145] 図5には示していないが、最大トルク条件がM A L Aのケースであって、L A C Tの途中で電力が飽和するケースが存在する。そのケースでは、トルク指令が増加する場合、電力最小化曲線と定トルク曲線との交点座標 (M P C T) を現在状態とし、図6のC 2 ($| i | \geq i_{max}$: 電流飽和) を遷移条件として、電流制限円と定トルク曲線との交点座標 (L A C T) を遷移先状態とする遷移を行う。

[0146] 続いて、交点座標 (L A C T) を現在状態とし、図6のC 1 2 ($p \leq p_{min}$: 電力飽和) を遷移条件として、回生電力制限曲線と定トルク曲線との交点座標 (L P C T-) を遷移先状態とする遷移を行う。また、交点座標 (L P C T-) を現在状態とし、図6のC 1 9 ($| i | \geq i_{max}$ [MA>0かつMP<0] : 電力飽和の解消) を遷移条件として、交点座標 (L A C T) を遷移先状態とする遷移を行う。

[0147] さらに、交点座標 (L A C T) を現在状態とし、図6のC 1 3 ($MA \leq 0$: トルク飽和) を遷移条件として、電流最小曲線と電流制限円との交点座標 (M A L A) を、遷移先状態であって終着点とする遷移によって、交点座標 (M A L A) を最大トルク条件とする。

[0148] トルク指令が減少する場合には、交点座標 (M A L A) を現在状態とし、図6のC 2 5 ($| T^* | < | T |$: トルク飽和の解消) を遷移条件として、交点座標 (L A C T) を遷移先状態とする遷移を行う。続いて、交点座標 (L A C T) を現在状態とし、図6のC 1 2 ($p \leq p_{min}$: 電力飽和) を遷移条件として、交点座標 (L P C T-) を遷移先状態とする遷移を行う。

[0149] さらに、交点座標 (L P C T-) を現在状態とし、図6のC 1 9 ($| i | \geq i_{max}$: 電力飽和の解消) を遷移条件として、交点座標 (L A C T) を遷移先状態とする遷移を行い、それに続いて、交点座標 (L A C T) を現在状態

とし、図6のC11 ($MP > 0$: 電力飽和の解消) を遷移条件として、交点座標 (MPC T) を遷移先状態であって終着点とする遷移を行う。

[0150] <最大トルク条件がMVL Vの場合>

図5の(13)のケースは電力制限の影響を受けないため、上述した力行時における最大トルク条件がMVL Vの場合と同じである。

[0151] 図5の(9)に示すケースは、電力が電圧より先に飽和して途中で電力飽和が解消されるケースである。このケースにおいて、トルク指令が増加する場合、電力最小化曲線と定トルク曲線との交点座標 (MPC T) を現在状態とし、図6のC3 ($p \leq p_{min}$: 電力飽和) を遷移条件として、回生電力制限曲線と定トルク曲線との交点座標 (LPC T-) を遷移先状態とする遷移を行う。

[0152] 続いて、交点座標 (LPC T-) を現在状態とし、図6のC18 ($|v| \geq v_{max}$ [$MV < 0$ かつ $MP > 0$] : 電力飽和の解消) を遷移条件として、電圧制限曲線と定トルク曲線との交点座標 (LVC T) を遷移先状態とする遷移を行う。

[0153] さらに、交点座標 (LVC T) を現在状態とし、図6のC7 ($MV \geq 0$: トルク飽和) を遷移条件として、電圧最小曲線と電圧制限曲線との交点座標 (MVL V) を、遷移先状態であって終着点とする遷移を行うことで、その交点座標 (MVL V) を最大トルク条件とする。

[0154] トルク指令が減少する場合には、交点座標 (MVL V) を現在状態とし、図6のC29 ($|T^*| < |T|$: トルク飽和の解消) を遷移条件として、交点座標 (LVC T) を遷移先状態とする遷移を行う。続いて、交点座標 (LVC T) を現在状態とし、図6のC6 ($p \leq p_{min}$: 電圧飽和) を遷移条件として交点座標 (LPC T-) を遷移先状態とする遷移の後、交点座標 (LPC T-) を現在状態とし、図6のC17 ($|T_{pmin_l}| < |T^*| < |T_{pmin_h}|$: 電圧飽和の解消) を遷移条件として、交点座標 (MPC T) を遷移先状態であって終着点とする遷移を行う。

[0155] 図5では図示を省略しているが、最大トルク条件がMVL Vのケースであ

って、 $LVC T$ の途中で電力が飽和するケースが存在する。そのケースでは、トルク指令が増加する場合、電力最小化曲線と定トルク曲線との交点座標 ($M P C T$) を現在状態とし、図6のC1 ($|v| \geq v_{max}$: 電圧飽和) を遷移条件として、電圧制限曲線と定トルク曲線との交点座標 ($LVC T$) を遷移先状態とする遷移を行う。

[0156] 続いて、交点座標 ($LVC T$) を現在状態とし、図6のC6 ($p \leq p_{min}$: 電力飽和) を遷移条件として、回生電力制限曲線と定トルク曲線との交点座標 ($L P C T -$) を遷移先状態とする遷移を行う。そして、交点座標 ($L P C T -$) を現在状態とし、図6のC18 ($|v| \geq v_{max}$ [$MV < 0$ かつ $M P > 0$] : 電力飽和の解消) を遷移条件として、交点座標 ($LVC T$) を遷移先状態とする遷移を行う。

[0157] さらに、交点座標 ($LVC T$) を現在状態とし、図6のC7 ($MV \geq 0$: トルク飽和) を遷移条件として、電圧最小曲線と電圧制限曲線との交点座標 ($MVL V$) を遷移先状態であって終着点とする遷移を行うことで、その交点座標 ($MVL V$) を最大トルク条件とする。

[0158] トルク指令が減少する場合は、交点座標 ($MVL V$) を現在状態とし、図6のC29 ($|T^*| < |T|$: トルク飽和の解消) を遷移条件として交点座標 ($LVC T$) を遷移先状態とする遷移を行う。

[0159] さらに、交点座標 ($LVC T$) を現在状態とし、図6のC6 ($p \leq p_{min}$: 電力飽和) を遷移条件として、交点座標 ($L P C T -$) を遷移先状態とする遷移を行った後、交点座標 ($L P C T -$) を現在状態とし、図6のC18 ($|v| \geq v_{max}$: 電力飽和の解消) を遷移条件として、交点座標 ($LVC T$) を遷移先状態とする遷移を行う。

[0160] その後、交点座標 ($LVC T$) を現在状態とし、図6のC5 ($M P < 0$: 電圧飽和の解消) を遷移条件として、交点座標 ($M P C T$) を遷移先状態であって終着点とする遷移を行う。

[0161] <最大トルク条件が $LVL A$ の場合>

図5の(11), (15)は、電流が先に飽和するケースであり、電力飽

和が無い場合（図5の（15））は、上述した力行時における最大トルク条件がL V L Aの場合と同じである。

[0162] 図5の（11）に示すケースにおいて、トルク指令が増加する場合、電力最小化曲線と定トルク曲線との交点座標（M P C T）を現在状態とし、図6のC 3（ $p \leq p_{min}$ ：電力飽和）を遷移条件として、回生電力制限曲線と定トルク曲線との交点座標（L P C T-）を遷移先状態とする遷移を行う。

[0163] 次に、交点座標（L P C T-）を現在状態とし、図6のC 19（ $|i| \geq i_{max}$ [MA>0かつMP<0]：電力飽和の解消）を遷移条件として、電流制限円と定トルク曲線との交点座標（L A C T）を遷移先状態とする遷移を行う。

[0164] 続いて、交点座標（L A C T）を現在状態とし、図6のC 14（ $|v| \geq v_{max}$ ：トルク飽和）を遷移条件として、交点座標（L V L A）を遷移先状態であって終着点とする遷移を行い、その交点座標（L V L A）を最大トルク条件とする。

[0165] トルク指令が減少する場合には、交点座標（L V L A）を現在状態とし、図6のC 34（ $|T^*| < |T|$ [MP<0]：トルク飽和が解消し、交点座標（L V L A）が電流最小曲線（MA）側にある）を遷移条件として、交点座標（L A C T）を遷移先状態とする遷移を行う。

[0166] 続いて、交点座標（L A C T）を現在状態とし、図6のC 12（ $p \leq p_{min}$ ：電力飽和）を遷移条件として、交点座標（L P C T-）を遷移先状態とする遷移を行い、さらに、交点座標（L P C T-）を現在状態とし、図6のC 17（ $|T_{pmin_l}| < |T^*| < |T_{pmin_h}|$ ：電流飽和の解消）を遷移条件として、交点座標（M P C T）を遷移先状態であって終着点とする遷移を行う。

[0167] 図示を省略するが、L A C Tの途中で電力飽和する場合には、以下のように遷移する。すなわち、トルク指令が増加する場合、電力最小化曲線と定トルク曲線との交点座標（M P C T）を現在状態とし、図6のC 2（ $|i| \geq i_{max}$ ：電流飽和）を遷移条件として、電流制限円と定トルク曲線との交点座

標 (L A C T) を遷移先状態とする遷移を行う。

[0168] 続いて、交点座標 (L A C T) を現在状態とし、図 6 の C 1 2 ($p \leq p_{min}$: 電力飽和) を遷移条件として、回生電力制限曲線と定トルク曲線との交点座標 (L P C T-) を遷移先状態とする遷移を行う。

[0169] さらに、交点座標 (L P C T-) を現在状態とし、図 6 の C 1 9 ($|i| \geq i_{max}$ [MA > 0 かつ MP < 0] : 電力飽和の解消) を遷移条件として、電流制限円と定トルク曲線との交点座標 (L A C T) を遷移先状態とする遷移を行う。

[0170] その後、交点座標 (L A C T) を現在状態とし、図 6 の C 1 4 ($v \geq v_{max}$: トルク飽和) を遷移条件として、交点座標 (L V L A) を遷移先状態であって終着点とする遷移を行った、交点座標 (L V L A) を最大トルク条件とする。

[0171] トルク指令が減少する場合は、交点座標 (L V L A) を現在状態とし、図 6 の C 3 4 ($|T^*| < |T|$ [MP < 0] : トルク飽和が解消し、交点座標 (L V L A) が電流最小曲線 (MA) 側にある) を遷移条件として、交点座標 (L A C T) を遷移先状態とする遷移を行う。

[0172] 次に、交点座標 (L A C T) を現在状態とし、図 6 の C 1 2 ($p \leq p_{min}$: 電力飽和) を遷移条件として、交点座標 (L P C T-) を遷移先状態とする遷移を行い、続いて、交点座標 (L P C T-) を現在状態とし、図 6 の C 1 9 ($|i| \geq i_{max}$: 電力飽和の解消) を遷移条件として、交点座標 (L A C T) を遷移先状態とする遷移を行う。

[0173] さらに、交点座標 (L A C T) を現在状態とし、図 6 の C 1 1 (MP > 0 : 電流飽和の解消) を遷移条件として、交点座標 (M P C T) を遷移先状態であって終着点とする遷移を行う。

[0174] 図 5 の (1 0), (1 4) は、電圧が先に飽和するケースであり、電力飽和が無い場合 (図 5 の (1 4)) は、上述した力行時における最大トルク条件が L V L A の場合と同じである。

[0175] 図 5 の (1 0) に示すケースにおいて、トルク指令が増加する場合、電力

最小化曲線と定トルク曲線との交点座標（M P C T）を現在状態とし、図6のC 3（ $p \leq p_{min}$ ：電力飽和）を遷移条件として、回生電力制限曲線と定トルク曲線との交点座標（L P C T-）を遷移先状態とする遷移を行う。

[0176] 続いて、交点座標（L P C T-）を現在状態とし、図6のC 1 8（ $|v| \geq v_{max}$ [M V < 0 かつ M P > 0]：電力飽和の解消）を遷移条件として、電圧制限曲線と定トルク曲線との交点座標（L V C T）を遷移先状態とする遷移を行う。

[0177] その後、交点座標（L V C T）を現在状態とし、図6のC 8（ $|i| \geq i_{max}$ ：トルク飽和）を遷移条件として、電圧制限曲線と電流制限円の交点座標（L V L A）を遷移先状態であって終着点とする遷移を行い、その交点座標（L V L A）を最大トルク条件とする。

[0178] トルク指令が減少する場合は、交点座標（L V L A）を現在状態とし、図6のC 3 3（ $|T^*| < |T|$ [M P ≥ 0]：トルク飽和が解消し、交点座標（L V L A）が電圧最小曲線（M V）側にある）を遷移条件として、交点座標（L V C T）を遷移先状態とする遷移を行う。

[0179] 次に、交点座標（L V C T）を現在状態とし、図6のC 6（ $p \leq p_{min}$ ：電力飽和）を遷移条件として交点座標（L P C T-）を遷移先状態とする遷移を行い、続いて、交点座標（L P C T-）を現在状態とし、図6のC 1 7（ $|T_{pmin_l}| < |T^*| < |T_{pmin_h}|$ ：電圧飽和の解消）を遷移条件として、交点座標（M P C T）を遷移先状態であって終着点とする遷移を行う。

[0180] 図示を省略するが、L V C Tの途中で電力飽和する場合には、以下のように遷移する。すなわち、トルク指令が増加する場合、電力最小化曲線と定トルク曲線との交点座標（M P C T）を現在状態とし、図6のC 1（ $|v| \geq v_{max}$ ：電圧飽和）を遷移条件として、電圧制限曲線と定トルク曲線との交点座標（L V C T）を遷移先状態とする遷移を行う。

[0181] 続いて、交点座標（L V C T）を現在状態とし、図6のC 6（ $p \leq p_{min}$ ：電力飽和）を遷移条件として、回生電力制限曲線と定トルク曲線との交点座

標（L P C Tー）を遷移先状態とする遷移を行う。そして、交点座標（L P C Tー）を現在状態とし、図6のC 1 8（ $|v| \geq v_{max}$ [MP<0かつMP>0]：電力飽和の解消）を遷移条件として、交点座標（L V C T）を遷移先状態とする遷移を行う。

[0182] さらに、交点座標（L V C T）を現在状態とし、図6のC 8（ $|i| \geq i_{max}$ ：トルク飽和）を遷移条件として、電圧制限曲線と電流制限円の交点座標（L V L A）を、遷移先状態であって終着点とする遷移を行い、その交点座標（L V L A）を最大トルク条件とする。

[0183] トルク指令が減少する場合には、交点座標（L V L A）を現在状態とし、図6のC 3 3（ $|T^*| < |T|$ [MP>0]：トルク飽和が解消し、交点座標（L V L A）が電圧最小曲線（MV）側にある）を遷移条件として、交点座標（L V C T）を遷移先状態とする遷移を行う。

[0184] 続いて、交点座標（L V C T）を現在状態とし、図6のC 6（ $p \leq p_{min}$ ：電力飽和）を遷移条件として、交点座標（L P C Tー）を遷移先状態とする遷移を行い、さらに、交点座標（L P C Tー）を現在状態とし、図6のC 1 8（ $|v| \geq v_{max}$ ：電力飽和の解消）を遷移条件として、交点座標（L V C T）を遷移先状態とする遷移を行う。

[0185] そして、交点座標（L V C T）を現在状態とし、図6のC 5（MP<0：電圧飽和の解消）を遷移条件として、交点座標（M P C T）を遷移先状態であって終着点とする遷移を行う。

[0186] <最大トルク条件がL A L Pーの場合>

最大トルク条件L A L Pーのケースは、図5の（4）、（6）、（8）の3通りに分類できる。最初に、M A L A（★印）のみ電力飽和している、図5の（8）のケースを説明する。このケースでは、MP曲線から最も遠い点がよりトルクが大きいことから、MP曲線に近い方のL A L Pーは最大トルク条件にならず、MP曲線から遠い方のL A L Pーが最大トルク条件（▲印）となる。

[0187] トルク指令が増加する場合、電力最小化曲線と定トルク曲線との交点座標

(MPC T) を現在状態とし、図6のC 2 ($|i| \geq i_{max}$: 電流飽和) を遷移条件として電流制限円と定トルク曲線との交点座標 (LACT) を遷移先状態とする遷移を行う。続いて、交点座標 (LACT) を現在状態とし、図6のC 1 2 ($p \leq p_{min}$: 電力飽和) を遷移条件として回生電力制限曲線と定トルク曲線との交点座標 (LPCT-) を遷移先状態とする遷移を行う。

[0188] さらに、交点座標 (LPCT-) を現在状態とし、図6のC 2 1 ($|i| \geq i_{max}$ [$MA \leq 0$ または $MP \geq 0$] : トルク飽和) を遷移条件として、電流制限円と回生電力制限曲線との交点座標 (LALP-) を遷移先状態であって終着点とする遷移を行い、その交点座標 (LALP-) を最大トルク条件とする。

[0189] トルク指令が減少する場合には、交点座標 (LALP-) を現在状態とし、図6のC 5 6 ($|T^*| < |T|$: トルク飽和の解消) を遷移条件として交点座標 (LPCT-) を遷移先状態とする遷移を行う。

[0190] 続いて、交点座標 (LPCT-) を現在状態とし、図6のC 1 9 ($|i| \geq i_{max}$: 電力飽和の解消) を遷移条件として交点座標 (LACT) を遷移先状態とする遷移を行った後、交点座標 (LACT) を現在状態とし、図6のC 1 1 ($MP > 0$: 電流飽和の解消) を遷移条件として交点座標 (MPC T) を遷移先状態であって終着点とする遷移を行う。

[0191] 図5の(4)のケースでは、MALA (★印) とMPLA (☆印) の両方が電力飽和しており、MPC T (△印) 電力飽和時にLALP-のトルクが必ず大きくなる方のMA曲線側に進む。

[0192] このケースにおいて、トルク指令が増加する場合、電力最小化曲線と定トルク曲線との交点座標 (MPC T) を現在状態とし、図6のC 3 ($p \leq p_{min}$: 電力飽和) を遷移条件として、回生電力制限曲線と定トルク曲線との交点座標 (LPCT-) を遷移先状態とする遷移を行う。

[0193] 続いて、交点座標 (LPCT-) を現在状態とし、図6のC 2 1 ($|i| \geq i_{max}$ [$MA \leq 0$ または $MP \geq 0$] : トルク飽和) を遷移条件として電流制限円と回生電力制限曲線との交点座標 (LALP-) を遷移先状態であっ

て終着点とする遷移を行い、その交点座標（L A L Pー）を最大トルク条件とする。

[0194] トルク指令が減少する場合は、交点座標（L A L Pー）を現在状態とし、図6のC 5 6（ $|T^*| < |T|$ ：トルク飽和の解消）を遷移条件として交点座標（L P C Tー）を遷移先状態とする遷移を行った後、交点座標（L P C Tー）を現在状態とし、図6のC 1 7（ $|T_{pmin_l}| < |T^*| < |T_{pmin_h}|$ ：電力飽和の解消）を遷移条件として、交点座標（M P C T）を遷移先状態であって終着点とする遷移を行う。

[0195] 図5の（6）は、電圧制限⇒電力制限⇒電流制限の順で制限されるケースである。M P 曲線から最も遠いL A L Pーが最大トルク条件（▲印）となる。このケースでトルク指令が増加する場合、電力最小化曲線と定トルク曲線との交点座標（M P C T）を現在状態とし、図6のC 1（ $|v| \geq v_{max}$ ：電圧飽和）を遷移条件として電圧制限曲線と定トルク曲線との交点座標（L V C T）を遷移先状態とする遷移を行う。

[0196] 続いて、交点座標（L V C T）を現在状態とし、図6のC 6（ $p \leq p_{min}$ ：電力飽和）を遷移条件として回生電力制限曲線と定トルク曲線との交点座標（L P C Tー）を遷移先状態とする遷移を行う。

[0197] さらに、交点座標（L P C Tー）を現在状態とし、図6のC 2 1（ $|i| \geq i_{max}$ [M A ≤ 0 または M P ≥ 0]：トルク飽和）を遷移条件として電流制限円と回生電力制限曲線との交点座標（L A L Pー）を、遷移先状態であって終着点とする遷移を行い、その交点座標（L A L Pー）を最大トルク条件とする。

[0198] トルク指令が減少する場合には、交点座標（L A L Pー）を現在状態とし、図6のC 5 6（ $|T^*| < |T|$ ：トルク飽和の解消）を遷移条件として交点座標（L P C Tー）を遷移先状態とする遷移を行った後、交点座標（L P C Tー）を現在状態とし、図6のC 1 8（ $|v| \geq v_{max}$ ：電力飽和の解消）を遷移条件として交点座標（L V C T）を遷移先状態とする遷移を行う。

[0199] さらに、交点座標（L V C T）を現在状態とし、図6のC 5（M P < 0 ：

電圧飽和の解消)を遷移条件として、交点座標(MPCT)を遷移先状態であって終着点とする遷移を行う。

[0200] <最大トルク条件がLVLPーの場合>

最大トルク条件LVLPーのケースは、図5の(1), (5), (7)の3通りに分類できる。図5の(5)のケースでは、MVLV(★印)のみ電力飽和しており、MP曲線から最も遠い点がよりトルクが大きいことから、MP曲線に近い方のLVLPーは最大トルク条件にならず、MP曲線から遠い方のLVLPーが最大トルク条件(▲印)となる。

[0201] 図5の(5)のケースにおいて、トルク指令が増加する場合、電力最小化曲線と定トルク曲線との交点座標(MPCT)を現在状態とし、図6のC3 ($p \leq p_{min}$: 電力飽和)を遷移条件として回生電力制限曲線と定トルク曲線との交点座標(LPCTー)を遷移先状態とする遷移を行う。

[0202] 続いて、交点座標(LPCTー)を現在状態とし、図6のC20 ($|v| \geq v_{max}$ [$MV \geq 0$ または $MP \leq 0$]: トルク飽和)を遷移条件として、電圧制限曲線と回生電力制限曲線との交点座標(LVLPー)を遷移先状態であって終着点とする遷移を行い、その交点座標(LVLPー)を最大トルク条件とする。

[0203] トルク指令が減少する場合には、交点座標(LVLPー)を現在状態とし、図6のC47 ($|T^*| < |T|$: トルク飽和の解消)を遷移条件として交点座標(LPCTー)を遷移先状態とする遷移を行う。続いて、交点座標(LPCTー)を現在状態とし、図6のC17 ($|T_{pmin_l}| < |T^*| < |T_{pmin_h}|$: 電圧飽和の解消)を遷移条件として、交点座標(MPCT)を遷移先状態であって終着点とする遷移を行う。

[0204] 図5の(1)のケースでは、MPCT(△印)電力飽和時にLVLPーのトルクが必ず大きくなる方のMV曲線側に進む。このケースにおいて、トルク指令が増加する場合、電力最小化曲線と定トルク曲線との交点座標(MPCT)を現在状態とし、図6のC1 ($|v| \geq v_{max}$: 電圧飽和)を遷移条件として、電圧制限曲線と定トルク曲線との交点座標(LVCT)を遷移先状

態とする遷移を行う。

[0205] 続いて、交点座標（L V C T）を現在状態とし、図6のC 6（ $p \leq p_{min}$: 電力飽和）を遷移条件として回生電力制限曲線と定トルク曲線との交点座標（L P C T-）を遷移先状態とする遷移を行う。

[0206] さらに、交点座標（L P C T-）を現在状態とし、図6のC 2 0（ $|v| \geq v_{max}$ [M V ≥ 0 または M P ≤ 0] : トルク飽和）を遷移条件として、電圧制限曲線と回生電力制限曲線との交点座標（L V L P-）を遷移先状態であって終着点とする遷移を行い、その交点座標（L V L P-）を最大トルク条件とする。

[0207] トルク指令が減少する場合は、交点座標（L V L P-）を現在状態とし、図6のC 4 7（ $|T^*| < |T|$: トルク飽和の解消）を遷移条件として交点座標（L P C T-）を遷移先状態とする遷移を行う。続いて、交点座標（L P C T-）を現在状態とし、図6のC 1 8（ $|v| \geq v_{max}$: 電力飽和の解消）を遷移条件として交点座標（L V C T）を遷移先状態とする遷移を行う。

[0208] さらに、交点座標（L V C T）を現在状態とし、図6のC 5（M P < 0 : 電圧飽和の解消）を遷移条件として交点座標（M P C T）を遷移先状態であって終着点とする遷移を行う。

[0209] 図5の（7）は、電圧制限⇒電力制限⇒電流制限の順で制限されるケースである。ここでは、M P 曲線から最も遠い点L V L P-（▲印）が最大トルク条件となる。このケースでトルク指令が増加する場合、電力最小化曲線と定トルク曲線との交点座標（M P C T）を現在状態とし、図6のC 2（ $|i| \geq i_{max}$: 電流飽和）を遷移条件として電流制限円と定トルク曲線との交点座標（L A C T）を遷移先状態とする遷移を行う。

[0210] 続いて、交点座標（L A C T）を現在状態とし、図6のC 1 2（ $p \leq p_{min}$: 電力飽和）を遷移条件として回生電力制限曲線と定トルク曲線との交点座標（L P C T-）を遷移先状態とする遷移を行う。

[0211] さらに、交点座標（L P C T-）を現在状態とし、図6のC 2 0（ $|v|$

$\geq v_{max}$ [$MV \geq 0$ または $MP \leq 0$] : トルク飽和) を遷移条件として、電圧制限曲線と回生電力制限曲線との交点座標 (L V L P -) を遷移先状態であって終着点とする遷移を行い、その交点座標 (L V L P -) を最大トルク条件とする。

[0212] トルク指令が減少する場合は、交点座標 (L V L P -) を現在状態とし、図6のC47 ($|T^*| < |T|$: トルク飽和の解消) を遷移条件として交点座標 (L P C T -) を遷移先状態とする遷移を行う。そして、交点座標 (L P C T -) を現在状態とし、図6のC19 ($|i| \geq i_{max}$: 電力飽和の解消) を遷移条件として交点座標 (L A C T) を遷移先状態とする遷移を行う。

[0213] さらに、交点座標 (L A C T) を現在状態とし、図6のC11 ($MP > 0$: 電流飽和の解消) を遷移条件として交点座標 (M P C T) を遷移先状態であって終着点とする遷移を行う。

[0214] <最大トルク条件が不定の場合>

図5の(2), (3)は、最大トルク条件がL V L P -とL A L P -のいずれになるかが不定のケースである。L A L P -のトルクがより大きければ、以下の遷移となる。

[0215] トルク指令が増加する場合、電力最小化曲線と定トルク曲線との交点座標 (M P C T) を現在状態とし、図6のC3 ($p \leq p_{min}$: 電力飽和) を遷移条件として回生電力制限曲線と定トルク曲線との交点座標 (L P C T -) を遷移先状態とする遷移を行う。

[0216] 続いて、交点座標 (L P C T -) を現在状態とし、図6のC21 ($|i| \geq i_{max}$ [$MA \leq 0$ または $MP \geq 0$] : トルク飽和) を遷移条件として電流制限円と回生電力制限曲線との交点座標 (L A L P -) を遷移先状態であって終着点とする遷移を行い、その交点座標 (L A L P -) が最大トルク条件となる。

[0217] トルク指令が減少する場合には、交点座標 (L A L P -) を現在状態とし、図6のC56 ($|T^*| < |T|$: トルク飽和の解消) を遷移条件として交

点座標（L P C T－）を遷移先状態とする遷移を行い、続いて、交点座標（L P C T－）を現在状態とし、図6のC 1 7（ $|T_{pmin_l}| < |T^*| < |T_{pmin_h}|$ ：電力飽和の解消）を遷移条件として、交点座標（M P C T）を遷移先状態であって終着点とする遷移を行う。

[0218] 一方、L V L P－のトルクがより大きければ、以下の遷移となる。すなわち、トルク指令が増加する場合、電力最小化曲線と定トルク曲線との交点座標（M P C T）を現在状態とし、図6のC 3（ $p \leq p_{min}$ ：電力飽和）を遷移条件として回生電力制限曲線と定トルク曲線との交点座標（L P C T－）を遷移先状態とする遷移を行う。

[0219] 続いて、交点座標（L P C T－）を現在状態とし、図6のC 2 0（ $|v| \geq v_{max}$ [M V ≥ 0 または M P ≤ 0]：トルク飽和）を遷移条件として、電圧制限曲線と回生電力制限曲線との交点座標（L V L P－）を遷移先状態であって終着点とする遷移を行い、その交点座標（L V L P－）が最大トルク条件となる。

[0220] トルク指令が減少する場合には、交点座標（L A L P－）を現在状態とし、図6のC 4 7（ $|T^*| < |T|$ ：トルク飽和の解消）を遷移条件として交点座標（L P C T－）を遷移先状態とする遷移を行う。

[0221] その後、交点座標（L P C T－）を現在状態とし、図6のC 1 7（ $|T_{pmin_l}| < |T^*| < |T_{pmin_h}|$ ：電力飽和の解消）を遷移条件として、交点座標（M P C T）を遷移先状態であって終着点とする遷移を行う。

[0222] なお、上記のように最大トルク条件が不定の場合において、L A L P－のトルクとL V L P－のトルクが同じであれば、より効率が良い方を選択する。

[0223] 次に、回生時において最大トルク条件が変化するときの遷移を説明する。最大トルク条件が変化するときの遷移には、以下の6通りの遷移が含まれる。

[0224] 交点座標（M A L A）を現在状態とし、図6のC 2 6（ $|v| \geq v_{max}$ ：電圧飽和）を遷移条件として交点座標（L V L A）を遷移先状態とする遷移と

、交点座標（ $LVL A$ ）を現在状態とし、図6のC35（ $MA \leq 0$ ：電圧飽和の解消）を遷移条件として交点座標（ $MA L A$ ）を遷移先状態とする遷移。

[0225] 交点座標（ $MA L A$ ）を現在状態とし、図6のC28（ $p \leq p_{min}$ ：電力飽和）を遷移条件として交点座標（ $L A L P -$ ）を遷移先状態とする遷移と、交点座標（ $L A L P -$ ）を現在状態とし、図6のC57（ $MA \leq 0$ ：電力飽和の解消）を遷移条件として交点座標（ $MA L A$ ）を遷移先状態とする遷移。

[0226] 交点座標（ $MV L V$ ）を現在状態とし、図6のC30（ $|i| \geq i_{max}$ ：電流飽和）を遷移条件として交点座標（ $LVL A$ ）を遷移先状態とする遷移と、交点座標（ $LVL A$ ）を現在状態とし、図6のC36（ $MV \geq 0$ ：電流飽和の解消）を遷移条件として交点座標（ $MV L V$ ）を遷移先状態とする遷移。

[0227] 交点座標（ $MV L V$ ）を現在状態とし、図6のC32（ $p \leq p_{min}$ ：電力飽和）を遷移条件として交点座標（ $LVL P -$ ）を遷移先状態とする遷移と、交点座標（ $LVL P -$ ）を現在状態とし、図6のC48（ $MV \geq 0$ ：電流飽和の解消）を遷移条件として交点座標（ $MV L V$ ）を遷移先状態とする遷移。

[0228] 交点座標（ $L A L P -$ ）を現在状態とし、図6のC58（ $|v| \geq v_{max}$ ：電圧飽和）を遷移条件として交点座標（ $LVL A$ ）を遷移先状態とする遷移と、交点座標（ $LVL A$ ）を現在状態とし、図6のC40（ $p \leq p_{min}$ [$MP < 0$]：電力飽和と、交点座標（ $LVL A$ ）が電流最小曲線（ MA ）側にある）を遷移条件として交点座標（ $L A L P -$ ）を遷移先状態とする遷移。

[0229] 交点座標（ $LVL P -$ ）を現在状態とし、図6のC49（ $|i| \geq i_{max}$ ：電流飽和）を遷移条件として交点座標（ $LVL A$ ）を遷移先状態とする遷移と、交点座標（ $LVL A$ ）を現在状態とし、図6のC38（ $p \leq p_{min}$ [$MP < 0$]：電力飽和と、交点座標（ $LVL A$ ）が電圧最小曲線（ MV ）側に

ある)を遷移条件として交点座標(L V L Pー)を遷移先状態とする遷移。

[0230] 以上説明したように、現在状態から遷移先状態への遷移条件が設定された状態遷移表を使用して、d q軸直交座標平面(電流ベクトル平面)に定義した曲線のその平面上での位置関係に基づいて遷移先を決定できる。その際、モータに対する電流目標値(電流出力値)として有効な、2つの曲線の交点に着目して電流ベクトルの指令値を計算することで、電流目標値の計算量を軽減して処理速度の向上とコスト削減が可能になる。

[0231] また、鉄損をエネルギー損失として考慮することで、最大効率制御の精度が向上し、電力制限を考慮したことで、バッテリー充放電許容電力を超過した力行、回生によりバッテリーにダメージを与えることを回避できる。すなわち、銅損のみならず鉄損を含めるとともに電力制限を考慮することで、モータの最大効率制御の精度を向上できる。

[0232] 状態遷移表に、出力可能範囲が存在しない(電流条件と電圧条件の双方を満たさない)状態も組み込むことで、解が存在しない条件下での無駄な計算を回避でき、電流指令のための交点座標の演算の破綻を防止して制御の安定化を図ることができる。

符号の説明

- [0233] 1 モータ制御装置
2 中央制御部(CPU)
3 メモリ
4 電圧指令部
5 モータ駆動部
10 モータ制御部
15 電動モータ
16a q軸PI制御部
16b d軸PI制御部
17, 28 座標変換部

- 2 1 PWM信号生成部
- 2 3 インバータ回路
- 2 4 電源リレー
- 2 5 電流検出部
- 2 7 A／D変換部（A D C）
- 2 9 回転角センサ
- B T 外部バッテリー

請求の範囲

[請求項1] d q 軸直交座標系において電流ベクトル制御によってモータを駆動するモータ制御装置であって、

 d q 軸直交座標平面における電力最小化曲線 (MP)、電流最小曲線 (MA)、電圧最小曲線 (MV)、電流制限円 (LA)、電圧制限曲線 (LV)、定トルク曲線 (CT)、力行電力制限曲線 (LP+)、および回生電力制限曲線 (LP-) より選択した2つの曲線の交点のうち電流指令として有効な交点の組合せを求める手段と、

 前記交点の組合せを現在状態と遷移先状態として行方向と列方向にそれぞれ配列し、前記現在状態から前記遷移先状態への遷移条件を設定した状態遷移表を作成する手段と、

 前記現在状態に対応する任意の交点から前記遷移条件に従って遷移したときの前記遷移先状態に対応する交点の前記曲線上における位置関係に基づいて前記モータに対する電流目標値を選択する手段と、を備えるモータ制御装置。

[請求項2] 前記状態遷移表は、前記現在状態および前記遷移先状態として前記曲線に対して有効な交点を持たない状態を含む請求項1に記載のモータ制御装置。

[請求項3] 前記状態遷移表は力行時の状態遷移として、

 トルク指令が増加する場合、

 前記電力最小化曲線と前記定トルク曲線との交点座標 (MPC T) を前記現在状態とし、所定の電流飽和を前記遷移条件として前記電流制限円と前記定トルク曲線との交点座標 (LACT) を前記遷移先状態とする遷移と、

 前記交点座標 (LACT) を前記現在状態とし、所定のトルク飽和を前記遷移条件として前記電流最小曲線と前記電流制限円との交点座標 (MALA) を前記遷移先状態であって終着点とする遷移とを含み、該交点座標 (MALA) が最大トルク条件となる第1の遷移と、

トルク指令が減少する場合、

前記交点座標 (M A L A) を前記現在状態とし、所定のトルク飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標 (L A C T) を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標 (L A C T) を前記現在状態とし、所定の電流飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標 (M P C T) を前記遷移先状態であって終着点とする遷移とを含む第2の遷移と、を包含する請求項1に記載のモータ制御装置。

[請求項4]

前記状態遷移表は力行時の状態遷移として、

トルク指令が増加する場合、

前記電力最小化曲線と前記定トルク曲線との交点座標 (M P C T) を前記現在状態とし、所定の電圧飽和を前記遷移条件として前記電圧制限曲線と前記定トルク曲線との交点座標 (L V C T) を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標 (L V C T) を前記現在状態とし、所定のトルク飽和を前記遷移条件として前記電圧最小曲線と前記電圧制限曲線との交点座標 (M V L V) を前記遷移先状態であって終着点とする遷移とを含み、該交点座標 (M V L V) が最大トルク条件となる第3の遷移と、

トルク指令が減少する場合、

前記交点座標 (M V L V) を前記現在状態とし、所定のトルク飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標 (L V C T) を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標 (L V C T) を現在状態とし、所定の電圧飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標 (M P C T) を前記遷移先状態であって終着点とする遷移とを含む第4の遷移と、を包含する請求項1に記載のモータ制御装置。

[請求項5]

前記状態遷移表は力行時の状態遷移として、

トルク指令が増加する場合、

前記電力最小化曲線と前記定トルク曲線との交点座標（M P C T）を前記現在状態とし、所定の電力飽和を前記遷移条件として前記電力最小化曲線と前記力行電力制限曲線との交点座標（M P L P +）を前記遷移先状態であって終着点となり、該交点座標（M P L P +）が最大トルク条件となる第5の遷移と、

トルク指令が減少する場合、

前記交点座標（M P L P +）を前記現在状態とし、所定の電力飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標（M P C T）を前記遷移先状態であって終着点とする第6の遷移と、を包含する請求項1に記載のモータ制御装置。

[請求項6]

前記状態遷移表は、力行時の状態遷移として、

トルク指令が増加する場合、

前記電力最小化曲線と前記定トルク曲線との交点座標（M P C T）を前記現在状態とし、所定の電流飽和を前記遷移条件として前記電流制限円と前記定トルク曲線との交点座標（L A C T）を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標（L A C T）を前記現在状態とし、所定のトルク飽和を前記遷移条件として前記電圧制限曲線と前記電流制限円の交点座標（L V L A）を前記遷移先状態であって終着点とする遷移とを含み、該交点座標（L V L A）が最大トルク条件となる第7の遷移と、

トルク指令が減少する場合、

前記交点座標（L V L A）を前記現在状態とし、所定のトルク飽和が解消し、該交点座標（L V L A）が前記電流最小曲線（M A）側にあることを前記遷移条件として前記交点座標（L A C T）を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標（L A C T）を前記現在状態とし、所定の電流飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標（M P C T）を前記遷移先状態であって終着点とする遷移とを含む第8の遷移と、を包含する請求

項 1 に記載のモータ制御装置。

[請求項7]

前記状態遷移表は、力行時の状態遷移として、

トルク指令が増加する場合、

前記電力最小化曲線と前記定トルク曲線との交点座標 (M P C T) を前記現在状態とし、所定の電圧飽和を前記遷移条件として前記電圧制限曲線と前記定トルク曲線との交点座標 (L V C T) を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標 (L V C T) を前記現在状態とし、所定のトルク飽和を前記遷移条件として前記電圧制限曲線と前記電流制限円との交点座標 (L V L A) を前記遷移先状態であって終着点とする遷移とを含み、該交点座標 (L V L A) が最大トルク条件となる第 9 の遷移と、

トルク指令が減少する場合、

前記交点座標 (L V L A) を前記現在状態とし、所定のトルク飽和が解消し、該交点座標 (L V L A) が前記電圧最小曲線 (M V) 側にあることを前記遷移条件として前記交点座標 (L V C T) を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標 (L V C T) を前記現在状態とし、所定の電圧飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標 (M P C T) を前記遷移先状態であって終着点とする遷移とを含む第 10 の遷移と、を包含する請求項 1 に記載のモータ制御装置。

[請求項8]

前記状態遷移表は力行時の状態遷移として、

トルク指令が増加する場合、

前記電力最小化曲線と前記定トルク曲線との交点座標 (M P C T) を前記現在状態とし、所定の電流飽和を前記遷移条件として前記電流制限円と前記定トルク曲線との交点座標 (L A C T) を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標 (L A C T) を前記現在状態とし、所定の電力飽和を前記遷移条件として前記電流制限円と前記力行電力制限曲線との交点

座標 (L A L P +) を前記遷移先状態であって終着点とする遷移とを含み、該交点座標 (L A L P +) が最大トルク条件となる第 1 1 の遷移と、

トルク指令が減少する場合、

前記交点座標 (L A L P +) を前記現在状態とし、所定のトルク飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標 (L A C T) を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標 (L A C T) を前記現在状態とし、所定の電流飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標 (M P C T) を前記遷移先状態であって終着点とする遷移とを含む第 1 2 の遷移と、を包含する請求項 1 に記載のモータ制御装置。

[請求項9]

前記状態遷移表は力行時の状態遷移として、

トルク指令が増加する場合、

前記電力最小化曲線と前記定トルク曲線との交点座標 (M P C T) を前記現在状態とし、所定の電圧飽和を前記遷移条件として前記電圧制限曲線と前記定トルク曲線との交点座標 (L V C T) を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標 (L V C T) を前記現在状態とし、所定の電力飽和を前記遷移条件として前記電圧制限曲線と前記力行電力制限曲線との交点座標 (L V L P +) を前記遷移先状態であって終着点とする遷移とを含み、該交点座標 (L V L P +) が最大トルク条件となる第 1 3 の遷移と、

トルク指令が減少する場合、

前記交点座標 (L V L P +) を前記現在状態とし、所定のトルク飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標 (L V C T) を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標 (L V C T) を前記現在状態とし、所定の電圧飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標 (M P C T) を前記遷移先状

態であって終着点とする遷移とを含む第14の遷移と、を包含する請求項1に記載のモータ制御装置。

[請求項10]

前記状態遷移表は、前記最大トルク条件が変化するとき、

前記交点座標(MALA)を前記現在状態とし、所定の電圧飽和を前記遷移条件として前記交点座標(LVLA)を前記遷移先状態とする遷移と、前記交点座標(LVLA)を前記現在状態とし、所定の電圧飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標(MALA)を前記遷移先状態とする遷移とを含む第15の遷移と、

前記交点座標(MALA)を前記現在状態とし、所定の電力飽和を前記遷移条件として前記交点座標(LALP+)を前記遷移先状態とする遷移と、前記交点座標(LALP+)を前記現在状態とし、所定の電力飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標(MALA)を前記遷移先状態とする遷移とを含む第16の遷移と、

前記交点座標(MVLV)を前記現在状態とし、所定の電流飽和を前記遷移条件として前記交点座標(LVLA)を前記遷移先状態とする遷移と、前記交点座標(LVLA)を前記現在状態とし、所定の電流飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標(MVLV)を前記遷移先状態とする遷移とを含む第17の遷移と、

前記交点座標(MVLV)を前記現在状態とし、所定の電力飽和を前記遷移条件として前記交点座標(LVLP+)を前記遷移先状態とする遷移と、前記交点座標(LVLP+)を前記現在状態とし、所定の電力飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標(MVLV)を前記遷移先状態とする遷移とを含む第18の遷移と、

前記交点座標(LALP+)を前記現在状態とし、所定の電圧飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標(MPLP+)を前記遷移先状態とする遷移と、前記交点座標(MPLP+)を前記現在状態とし、所定の電流飽和を前記遷移条件として前記交点座標(LALP+)を前記遷移先状態とする遷移とを含む第19の遷移と、

前記交点座標 (L A L P +) を前記現在状態とし、所定の電圧飽和を前記遷移条件として前記交点座標 (L V L A) を前記遷移先状態とする遷移と、前記交点座標 (L V L A) を前記現在状態とし、所定の電力飽和と該交点座標 (L V L A) が前記電流最小曲線 (M A) 側にあることを前記遷移条件として前記交点座標 (L A L P +) を前記遷移先状態とする遷移とを含む第 20 の遷移と、

前記交点座標 (L V L P +) を前記現在状態とし、所定の電圧飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標 (M P L P +) を前記遷移先状態とする遷移と、前記交点座標 (M P L P +) を前記現在状態とし、所定の電圧飽和を前記遷移条件として前記交点座標 (L V L P +) を前記遷移先状態とする遷移とを含む第 21 の遷移と、

前記交点座標 (L V L P +) を前記現在状態とし、所定の電流飽和を前記遷移条件として前記交点座標 (L V L A) を前記遷移先状態とする遷移と、前記交点座標 (L V L A) を前記現在状態とし、所定の電力飽和と該交点座標 (L V L A) が前記電圧最小曲線 (M V) 側にあることを前記遷移条件として前記交点座標 (L V L P +) を前記遷移先状態とする遷移とを含む第 22 の遷移と、を包含する請求項 3 ～ 9 のいずれか 1 項に記載のモータ制御装置。

[請求項11]

前記状態遷移表は回生時の状態遷移として、
トルク指令が増加する場合、

前記電力最小化曲線と前記定トルク曲線との交点座標 (M P C T) を前記現在状態とし、所定の電力飽和を前記遷移条件として前記回生電力制限曲線と前記定トルク曲線との交点座標 (L P C T -) を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標 (L P C T -) を前記現在状態とし、所定の電力飽和の解消を前記遷移条件として前記電流制限円と前記定トルク曲線との交点座標 (L A C T) を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標 (L A C T) を前記現在状態とし、所定のトルク飽和

を前記遷移条件として前記電流最小曲線と前記電流制限円との交点座標（M A L A）を前記遷移先状態であって終着点とする遷移とを含み、該交点座標（M A L A）が最大トルク条件となる第 2 3 の遷移と、トルク指令が減少する場合、

前記交点座標（M A L A）を前記現在状態とし、所定のトルク飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標（L A C T）を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標（L A C T）を前記現在状態とし、所定の電力飽和を前記遷移条件として前記交点座標（L P C T -）を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標（L P C T -）を前記現在状態とし、所定の電力飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標（M P C T）を前記遷移先状態であって終着点とする遷移とを含む第 2 4 の遷移と、を包含する請求項 1 に記載のモータ制御装置。

[請求項12]

前記状態遷移表は回生時の状態遷移として、トルク指令が増加する場合、

前記電力最小化曲線と前記定トルク曲線との交点座標（M P C T）を前記現在状態とし、所定の電流飽和を前記遷移条件として前記電流制限円と前記定トルク曲線との交点座標（L A C T）を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標（L A C T）を前記現在状態とし、所定の電力飽和を前記遷移条件として前記回生電力制限曲線と前記定トルク曲線との交点座標（L P C T -）を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標（L P C T -）を前記現在状態とし、所定の電力飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標（L A C T）を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標（L A C T）を前記現在状態とし、所定のトルク飽和を前記遷移条件として前記電流最小曲線と前記電流制限円との交点座

標 (M A L A) を前記遷移先状態であって終着点とする遷移とを含み、該交点座標 (M A L A) が最大トルク条件となる第 25 の遷移と、トルク指令が減少する場合、

前記交点座標 (M A L A) を前記現在状態とし、所定のトルク飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標 (L A C T) を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標 (L A C T) を前記現在状態とし、所定の電力飽和を前記遷移条件として前記交点座標 (L P C T-) を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標 (L P C T-) を前記現在状態とし、所定の電力飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標 (L A C T) を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標 (L A C T) を前記現在状態とし、所定の電流飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標 (M P C T) を前記遷移先状態であって終着点とする遷移とを含む第 26 の遷移と、を包含する請求項 1 に記載のモータ制御装置。

[請求項13]

前記状態遷移表は回生時の状態遷移として、

トルク指令が増加する場合、

前記電力最小化曲線と前記定トルク曲線との交点座標 (M P C T) を前記現在状態とし、所定の電力飽和を前記遷移条件として前記回生電力制限曲線と前記定トルク曲線との交点座標 (L P C T-) を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標 (L P C T-) を前記現在状態とし、所定の電力飽和の解消を前記遷移条件として前記電圧制限曲線と前記定トルク曲線との交点座標 (L V C T) を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標 (L V C T) を前記現在状態とし、所定のトルク飽和を前記遷移条件として前記電圧最小曲線と前記電圧制限曲線との交点座標 (M V L V) を前記遷移先状態であって終着点とする遷移とを含

み、該交点座標（M V L V）が最大トルク条件となる第 2 7 の遷移と、

トルク指令が減少する場合、

前記交点座標（M V L V）を前記現在状態とし、所定のトルク飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標（L V C T）を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標（L V C T）を前記現在状態とし、所定の電圧飽和を前記遷移条件として前記交点座標（L P C T -）を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標（L P C T -）を前記現在状態とし、所定の電圧飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標（M P C T）を前記遷移先状態であって終着点とする遷移とを含む第 2 8 の遷移と、を包含する請求項 1 に記載のモータ制御装置。

[請求項14]

前記状態遷移表は回生時の状態遷移として、

トルク指令が増加する場合、

前記電力最小化曲線と前記定トルク曲線との交点座標（M P C T）を前記現在状態とし、所定の電圧飽和を前記遷移条件として前記電圧制限曲線と前記定トルク曲線との交点座標（L V C T）を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標（L V C T）を前記現在状態とし、所定の電力飽和を前記遷移条件として前記回生電力制限曲線と前記定トルク曲線との交点座標（L P C T -）を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標（L P C T -）を前記現在状態とし、所定の電力飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標（L V C T）を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標（L V C T）を前記現在状態とし、所定のトルク飽和を前記遷移条件として前記電圧最小曲線と前記電圧制限曲線との交点座標（M V L V）を前記遷移先状態であって終着点とする遷移とを含む

み、該交点座標（M V L V）が最大トルク条件となる第 29 の遷移と、

トルク指令が減少する場合、

前記交点座標（M V L V）を前記現在状態とし、所定のトルク飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標（L V C T）を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標（L V C T）を前記現在状態とし、所定の電力飽和を前記遷移条件として前記交点座標（L P C T -）を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標（L P C T -）を前記現在状態とし、所定の電力飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標（L V C T）を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標（L V C T）を前記現在状態とし、所定の電圧飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標（M P C T）を前記遷移先状態であって終着点とする遷移とを含む第 30 の遷移と、を包含する請求項 1 に記載のモータ制御装置。

[請求項15]

前記状態遷移表は回生時の状態遷移として、

トルク指令が増加する場合、

前記電力最小化曲線と前記定トルク曲線との交点座標（M P C T）を前記現在状態とし、所定の電力飽和を前記遷移条件として前記回生電力制限曲線と前記定トルク曲線との交点座標（L P C T -）を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標（L P C T -）を前記現在状態とし、所定の電力飽和の解消を前記遷移条件として前記電流制限円と前記定トルク曲線との交点座標（L A C T）を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標（L A C T）を前記現在状態とし、所定のトルク飽和を前記遷移条件として前記交点座標（L V L A）を前記遷移先状態であって終着点とする遷移とを含み、該交点座標（L V L A）が最大ト

ルク条件となる第31の遷移と、

トルク指令が減少する場合、

前記交点座標 (L V L A) を前記現在状態とし、所定のトルク飽和が解消し、該交点座標 (L V L A) が前記電流最小曲線 (M A) 側にあることを前記遷移条件として前記交点座標 (L A C T) を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標 (L A C T) を前記現在状態とし、所定の電力飽和を前記遷移条件として前記交点座標 (L P C T -) を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標 (L P C T -) を前記現在状態とし、所定の電流飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標 (M P C T) を前記遷移先状態であって終着点とする遷移とを含む第32の遷移と、を包含する請求項1に記載のモータ制御装置。

[請求項16]

前記状態遷移表は回生時の状態遷移として、

トルク指令が増加する場合、

前記電力最小化曲線と前記定トルク曲線との交点座標 (M P C T) を前記現在状態とし、所定の電流飽和を前記遷移条件として前記電流制限円と前記定トルク曲線との交点座標 (L A C T) を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標 (L A C T) を前記現在状態とし、所定の電力飽和を前記遷移条件として前記回生電力制限曲線と前記定トルク曲線との交点座標 (L P C T -) を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標 (L P C T -) を前記現在状態とし、所定の電力飽和の解消を前記遷移条件として前記電流制限円と前記定トルク曲線との交点座標 (L A C T) を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標 (L A C T) を前記現在状態とし、所定のトルク飽和を前記遷移条件として前記交点座標 (L V L A) を前記遷移先状態であって終着点とする遷移とを含み、該交点座標 (L V L A) が最大ト

ルク条件となる第33の遷移と、

トルク指令が減少する場合、

前記交点座標（L V L A）を前記現在状態とし、所定のトルク飽和が解消し、該交点座標（L V L A）が前記電流最小曲線（M A）側にあることを前記遷移条件として前記交点座標（L A C T）を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標（L A C T）を前記現在状態とし、所定の電力飽和を前記遷移条件として前記交点座標（L P C T -）を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標（L P C T -）を前記現在状態とし、所定の電力飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標（L A C T）を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標（L A C T）を前記現在状態とし、所定の電流飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標（M P C T）を前記遷移先状態であって終着点とする遷移とを含む第34の遷移と、を包含する請求項1に記載のモータ制御装置。

[請求項17]

前記状態遷移表は回生時の状態遷移として、

トルク指令が増加する場合、

前記電力最小化曲線と前記定トルク曲線との交点座標（M P C T）を前記現在状態とし、所定の電力飽和を前記遷移条件として前記回生電力制限曲線と前記定トルク曲線との交点座標（L P C T -）を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標（L P C T -）を前記現在状態とし、所定の電力飽和の解消を前記遷移条件として前記電圧制限曲線と前記定トルク曲線との交点座標（L V C T）を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標（L V C T）を前記現在状態とし、所定のトルク飽和を前記遷移条件として前記電圧制限曲線と前記電流制限円の交点座標（L V L A）を前記遷移先状態であって終着点とする遷移とを含み、

該交点座標（ $LVL A$ ）が最大トルク条件となる第35の遷移と、
トルク指令が減少する場合、

前記交点座標（ $LVL A$ ）を前記現在状態とし、所定のトルク飽和が解消し、該交点座標（ $LVL A$ ）が前記電圧最小曲線（ MV ）側にあることを前記遷移条件として前記交点座標（ $LVC T$ ）を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標（ $LVC T$ ）を前記現在状態とし、所定の電力飽和を前記遷移条件として前記交点座標（ $LPC T-$ ）を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標（ $LPC T-$ ）を前記現在状態とし、所定の電圧飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標（ $MPC T$ ）を前記遷移先状態であって終着点とする遷移とを含む第36の遷移と、を包含する請求項1に記載のモータ制御装置。

[請求項18]

前記状態遷移表は回生時の状態遷移として、
トルク指令が増加する場合、

前記電力最小化曲線と前記定トルク曲線との交点座標（ $MPC T$ ）を前記現在状態とし、所定の電圧飽和を前記遷移条件として前記電圧制限曲線と前記定トルク曲線との交点座標（ $LVC T$ ）を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標（ $LVC T$ ）を前記現在状態とし、所定の電力飽和を前記遷移条件として前記回生電力制限曲線と前記定トルク曲線との交点座標（ $LPC T-$ ）を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標（ $LPC T-$ ）を前記現在状態とし、所定の電力飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標（ $LVC T$ ）を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標（ $LVC T$ ）を前記現在状態とし、所定のトルク飽和を前記遷移条件として前記電圧制限曲線と前記電流制限円の交点座標（ $LVL A$ ）を前記遷移先状態であって終着点とする遷移とを含み、

該交点座標（L V L A）が最大トルク条件となる第37の遷移と、
トルク指令が減少する場合、

前記交点座標（L V L A）を前記現在状態とし、所定のトルク飽和が解消し、該交点座標（L V L A）が前記電圧最小曲線（M V）側にあることを前記遷移条件として前記交点座標（L V C T）を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標（L V C T）を前記現在状態とし、所定の電力飽和を前記遷移条件として前記交点座標（L P C T-）を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標（L P C T-）を前記現在状態とし、所定の電力飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標（L V C T）を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標（L V C T）を前記現在状態とし、所定の電圧飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標（M P C T）を前記遷移先状態であって終着点とする遷移とを含む第38の遷移と、を包含する請求項1に記載のモータ制御装置。

[請求項19]

前記状態遷移表は回生時の状態遷移として、

トルク指令が増加する場合、

前記電力最小化曲線と前記定トルク曲線との交点座標（M P C T）を前記現在状態とし、所定の電流飽和を前記遷移条件として前記電流制限円と前記定トルク曲線との交点座標（L A C T）を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標（L A C T）を前記現在状態とし、所定の電力飽和を前記遷移条件として前記回生電力制限曲線と前記定トルク曲線との交点座標（L P C T-）を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標（L P C T-）を前記現在状態とし、所定のトルク飽和を前記遷移条件として前記電流制限円と前記回生電力制限曲線との交点座標（L A L P-）を前記遷移先状態であって終着点とする遷移

とを含み、該交点座標（L A L P -）が最大トルク条件となる第 3 9 の遷移と、

トルク指令が減少する場合、

前記交点座標（L A L P -）を前記現在状態とし、所定のトルク飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標（L P C T -）を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標（L P C T -）を前記現在状態とし、所定の電力飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標（L A C T）を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標（L A C T）を前記現在状態とし、所定の電流飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標（M P C T）を前記遷移先状態であって終着点とする遷移とを含む第 4 0 の遷移と、を包含する請求項 1 に記載のモータ制御装置。

[請求項20]

前記状態遷移表は回生時の状態遷移として、

トルク指令が増加する場合、

前記電力最小化曲線と前記定トルク曲線との交点座標（M P C T）を前記現在状態とし、所定の電力飽和を前記遷移条件として前記回生電力制限曲線と前記定トルク曲線との交点座標（L P C T -）を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標（L P C T -）を前記現在状態とし、所定のトルク飽和を前記遷移条件として前記電流制限円と前記回生電力制限曲線との交点座標（L A L P -）を前記遷移先状態であって終着点とする遷移とを含み、該交点座標（L A L P -）が最大トルク条件となる第 4 1 の遷移と、

トルク指令が減少する場合、

前記交点座標（L A L P -）を前記現在状態とし、所定のトルク飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標（L P C T -）を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標（L P C Tー）を前記現在状態とし、所定の電力飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標（M P C T）を前記遷移先状態であって終着点とする遷移とを含む第42の遷移と、を包含する請求項1に記載のモータ制御装置。

[請求項21]

前記状態遷移表は回生時の状態遷移として、
トルク指令が増加する場合、

前記電力最小化曲線と前記定トルク曲線との交点座標（M P C T）を前記現在状態とし、所定の電圧飽和を前記遷移条件として前記電圧制限曲線と前記定トルク曲線との交点座標（L V C T）を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標（L V C T）を前記現在状態とし、所定の電力飽和を前記遷移条件として前記回生電力制限曲線と前記定トルク曲線との交点座標（L P C Tー）を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標（L P C Tー）を前記現在状態とし、所定のトルク飽和を前記遷移条件として前記電流制限円と前記回生電力制限曲線との交点座標（L A L Pー）を前記遷移先状態であって終着点とする遷移とを含み、該交点座標（L A L Pー）が最大トルク条件となる第43の遷移と、

トルク指令が減少する場合、

前記交点座標（L A L Pー）を前記現在状態とし、所定のトルク飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標（L P C Tー）を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標（L P C Tー）を前記現在状態とし、所定の電力飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標（L V C T）を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標（L V C T）を前記現在状態とし、所定の電圧飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標（M P C T）を前記遷移先状態であって終着点とする遷移とを含む第44の遷移と、を包含する請

求項 1 に記載のモータ制御装置。

[請求項22]

前記状態遷移表は回生時の状態遷移として、

トルク指令が増加する場合、

前記電力最小化曲線と前記定トルク曲線との交点座標 (M P C T) を前記現在状態とし、所定の電力飽和を前記遷移条件として前記回生電力制限曲線と前記定トルク曲線との交点座標 (L P C T-) を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標 (L P C T-) を前記現在状態とし、所定のトルク飽和を前記遷移条件として前記電圧制限曲線と前記回生電力制限曲線との交点座標 (L V L P-) を前記遷移先状態であって終着点とする遷移とを含み、該交点座標 (L V L P-) が最大トルク条件となる第 4 5 の遷移と、

トルク指令が減少する場合、

前記交点座標 (L V L P-) を前記現在状態とし、所定のトルク飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標 (L P C T-) を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標 (L P C T-) を前記現在状態とし、所定の電圧飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標 (M P C T) を前記遷移先状態であって終着点とする遷移とを含む第 4 6 の遷移と、を包含する請求項 1 に記載のモータ制御装置。

[請求項23]

前記状態遷移表は回生時の状態遷移として、

トルク指令が増加する場合、

前記電力最小化曲線と前記定トルク曲線との交点座標 (M P C T) を前記現在状態とし、所定の電圧飽和を前記遷移条件として前記電圧制限曲線と前記定トルク曲線との交点座標 (L V C T) を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標 (L V C T) を前記現在状態とし、所定の電力飽和を前記遷移条件として前記回生電力制限曲線と前記定トルク曲線との交

点座標（L P C Tー）を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標（L P C Tー）を前記現在状態とし、所定のトルク飽和を前記遷移条件として前記電圧制限曲線と前記回生電力制限曲線との交点座標（L V L Pー）を前記遷移先状態であって終着点とする遷移とを含み、該交点座標（L V L Pー）が最大トルク条件となる第47の遷移と、

トルク指令が減少する場合、

前記交点座標（L V L Pー）を前記現在状態とし、所定のトルク飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標（L P C Tー）を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標（L P C Tー）を前記現在状態とし、所定の電力飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標（L V C T）を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標（L V C T）を前記現在状態とし、所定の電圧飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標（M P C T）を前記遷移先状態であって終着点とする遷移とを含む第48の遷移と、を包含する請求項1に記載のモータ制御装置。

[請求項24]

前記状態遷移表は回生時の状態遷移として、

トルク指令が増加する場合、

前記電力最小化曲線と前記定トルク曲線との交点座標（M P C T）を前記現在状態とし、所定の電流飽和を前記遷移条件として前記電流制限円と前記定トルク曲線との交点座標（L A C T）を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標（L A C T）を前記現在状態とし、所定の電力飽和を前記遷移条件として前記回生電力制限曲線と前記定トルク曲線との交点座標（L P C Tー）を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標（L P C Tー）を前記現在状態とし、所定のトルク飽和を前記遷移条件として前記電圧制限曲線と前記回生電力制限曲線と

の交点座標（L V L P -）を前記遷移先状態であって終着点とする遷移とを含み、該交点座標（L V L P -）が最大トルク条件となる第49の遷移と、

トルク指令が減少する場合、

前記交点座標（L V L P -）を前記現在状態とし、所定のトルク飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標（L P C T -）を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標（L P C T -）を前記現在状態とし、所定の電力飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標（L A C T）を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標（L A C T）を前記現在状態とし、所定の電流飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標（M P C T）を前記遷移先状態であって終着点とする遷移とを含む第50の遷移と、を包含する請求項1に記載のモータ制御装置。

[請求項25]

前記状態遷移表は回生時の状態遷移として、

トルク指令が増加する場合、

前記電力最小化曲線と前記定トルク曲線との交点座標（M P C T）を前記現在状態とし、所定の電力飽和を前記遷移条件として前記回生電力制限曲線と前記定トルク曲線との交点座標（L P C T -）を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標（L P C T -）を前記現在状態とし、所定のトルク飽和を前記遷移条件として前記電流制限円と前記回生電力制限曲線との交点座標（L A L P -）を前記遷移先状態であって終着点とする遷移とを含み、該交点座標（L A L P -）が最大トルク条件となる第51の遷移と、

トルク指令が減少する場合、

前記交点座標（L A L P -）を前記現在状態とし、所定のトルク飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標（L P C T -）を前記遷

移先状態とする遷移と、

前記交点座標（L P C Tー）を前記現在状態とし、所定の電力飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標（M P C T）を前記遷移先状態であって終着点とする遷移とを含む第52の遷移と、を包含する請求項1に記載のモータ制御装置。

[請求項26]

前記状態遷移表は回生時の状態遷移として、

トルク指令が増加する場合、

前記電力最小化曲線と前記定トルク曲線との交点座標（M P C T）を前記現在状態とし、所定の電力飽和を前記遷移条件として前記回生電力制限曲線と前記定トルク曲線との交点座標（L P C Tー）を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標（L P C Tー）を前記現在状態とし、所定のトルク飽和を前記遷移条件として前記電圧制限曲線と前記回生電力制限曲線との交点座標（L V L Pー）を前記遷移先状態であって終着点とする遷移とを含み、該交点座標（L V L Pー）が最大トルク条件となる第53の遷移と、

トルク指令が減少する場合、

前記交点座標（L A L Pー）を前記現在状態とし、所定のトルク飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標（L P C Tー）を前記遷移先状態とする遷移と、

前記交点座標（L P C Tー）を前記現在状態とし、所定の電力飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標（M P C T）を前記遷移先状態であって終着点とする遷移とを含む第54の遷移と、を包含する請求項1に記載のモータ制御装置。

[請求項27]

前記状態遷移表は、前記最大トルク条件が変化するとき、

前記交点座標（M A L A）を前記現在状態とし、所定の電圧飽和を前記遷移条件として前記交点座標（L V L A）を前記遷移先状態とする遷移と、前記交点座標（L V L A）を前記現在状態とし、所定の

電圧飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標（M A L A）を前記遷移先状態とする遷移とを含む第55の遷移と、

前記交点座標（M A L A）を前記現在状態とし、所定の電力飽和を前記遷移条件として前記交点座標（L A L P -）を前記遷移先状態とする遷移と、前記交点座標（L A L P -）を前記現在状態とし、所定の電力飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標（M A L A）を前記遷移先状態とする遷移とを含む第56の遷移と、

前記交点座標（M V L V）を前記現在状態とし、所定の電流飽和を前記遷移条件として前記交点座標（L V L A）を前記遷移先状態とする遷移と、前記交点座標（L V L A）を前記現在状態とし、所定の電流飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標（M V L V）を前記遷移先状態とする遷移とを含む第57の遷移と、

前記交点座標（M V L V）を前記現在状態とし、所定の電力飽和を前記遷移条件として前記交点座標（L V L P -）を前記遷移先状態とする遷移と、前記交点座標（L V L P -）を前記現在状態とし、所定の電流飽和の解消を前記遷移条件として前記交点座標（M V L V）を前記遷移先状態とする遷移とを含む第58の遷移と、

前記交点座標（L A L P -）を前記現在状態とし、所定の電圧飽和を前記遷移条件として前記交点座標（L V L A）を前記遷移先状態とする遷移と、前記交点座標（L V L A）を前記現在状態とし、所定の電力飽和と該交点座標（L V L A）が前記電流最小曲線（M A）側にあることを前記遷移条件として前記交点座標（L A L P -）を前記遷移先状態とする遷移とを含む第59の遷移と、

前記交点座標（L V L P -）を前記現在状態とし、所定の電流飽和を前記遷移条件として前記交点座標（L V L A）を前記遷移先状態とする遷移と、前記交点座標（L V L A）を前記現在状態とし、所定の電力飽和と該交点座標（L V L A）が前記電圧最小曲線（M V）側にあることを前記遷移条件として前記交点座標（L V L P -）を前記遷

移先状態とする遷移とを含む第60の遷移と、を包含する請求項11～26のいずれか1項に記載のモータ制御装置。

[請求項28] 前記電力最小化曲線(MP)、前記電圧制限曲線(LV)および前記電圧最小曲線(MV)は前記モータの鉄損を用いて記述された2次曲線であり、前記力行電力制限曲線(LP+)および前記回生電力制限曲線(LP-)は鉄損を含んだ電圧方程式で定義された放物線、真円、楕円あるいは双曲線のいずれかである請求項1から27のいずれか1項に記載のモータ制御装置。

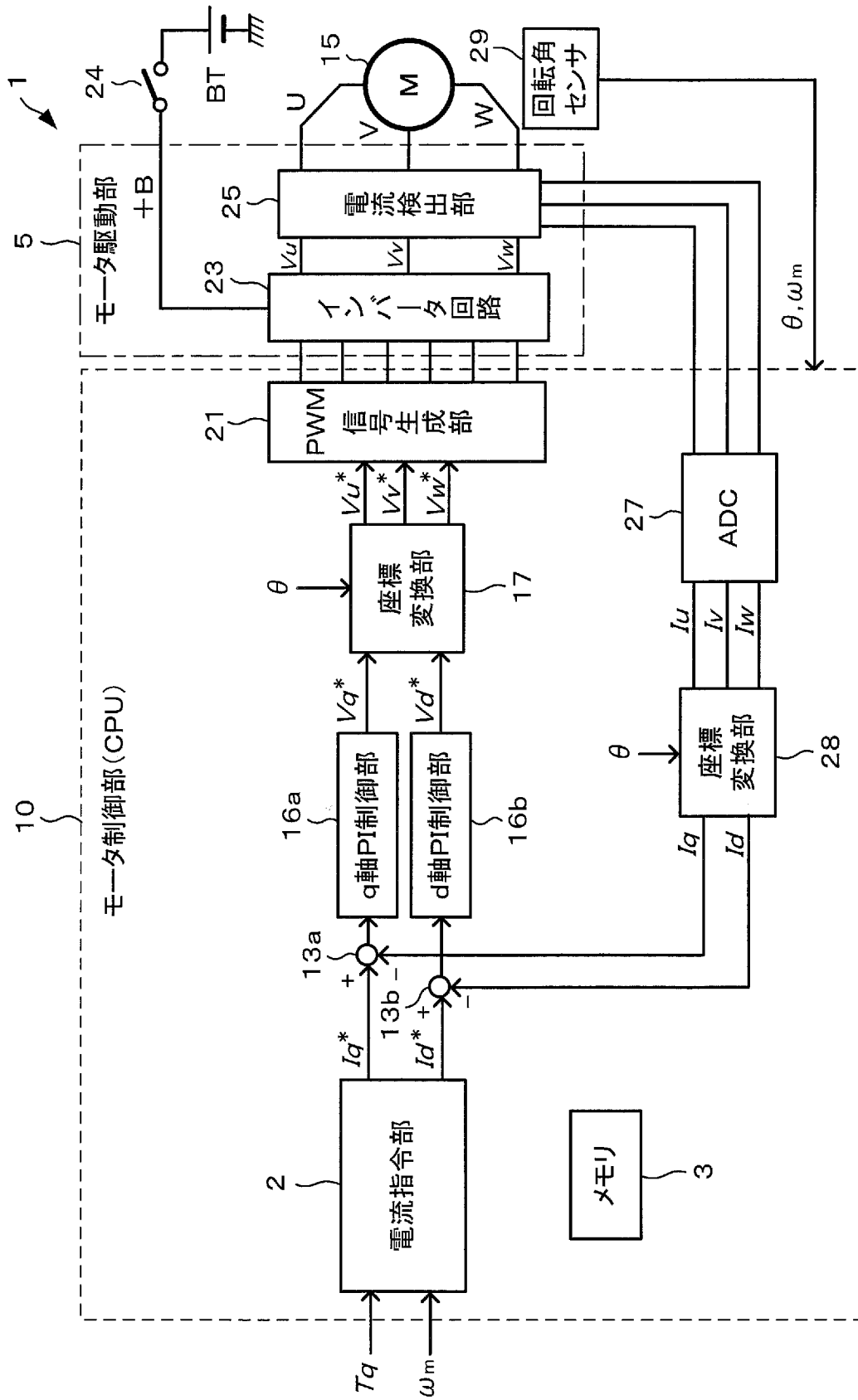
[請求項29] d-q軸直交座標系において電流ベクトル制御によってモータを駆動するモータ制御方法であって、

d-q軸直交座標平面における電力最小化曲線(MP)、電流最小曲線(MA)、電圧最小曲線(MV)、電流制限円(LA)、電圧制限曲線(LV)、定トルク曲線(CT)、力行電力制限曲線(LP+)、および回生電力制限曲線(LP-)より選択した2つの曲線の交点のうち電流指令として有効な交点の組合せを求める工程と、

前記交点の組合せを現在状態と遷移先状態として行方向と列方向にそれぞれ配列し、前記現在状態から前記遷移先状態への遷移条件を設定した状態遷移表を作成する工程と、

前記現在状態に対応する任意の交点から前記遷移条件に従って遷移したときの前記遷移先状態に対応する交点の前記曲線上における位置関係に基づいて前記モータに対する電流目標値を選択する工程と、を備えるモータ制御方法。

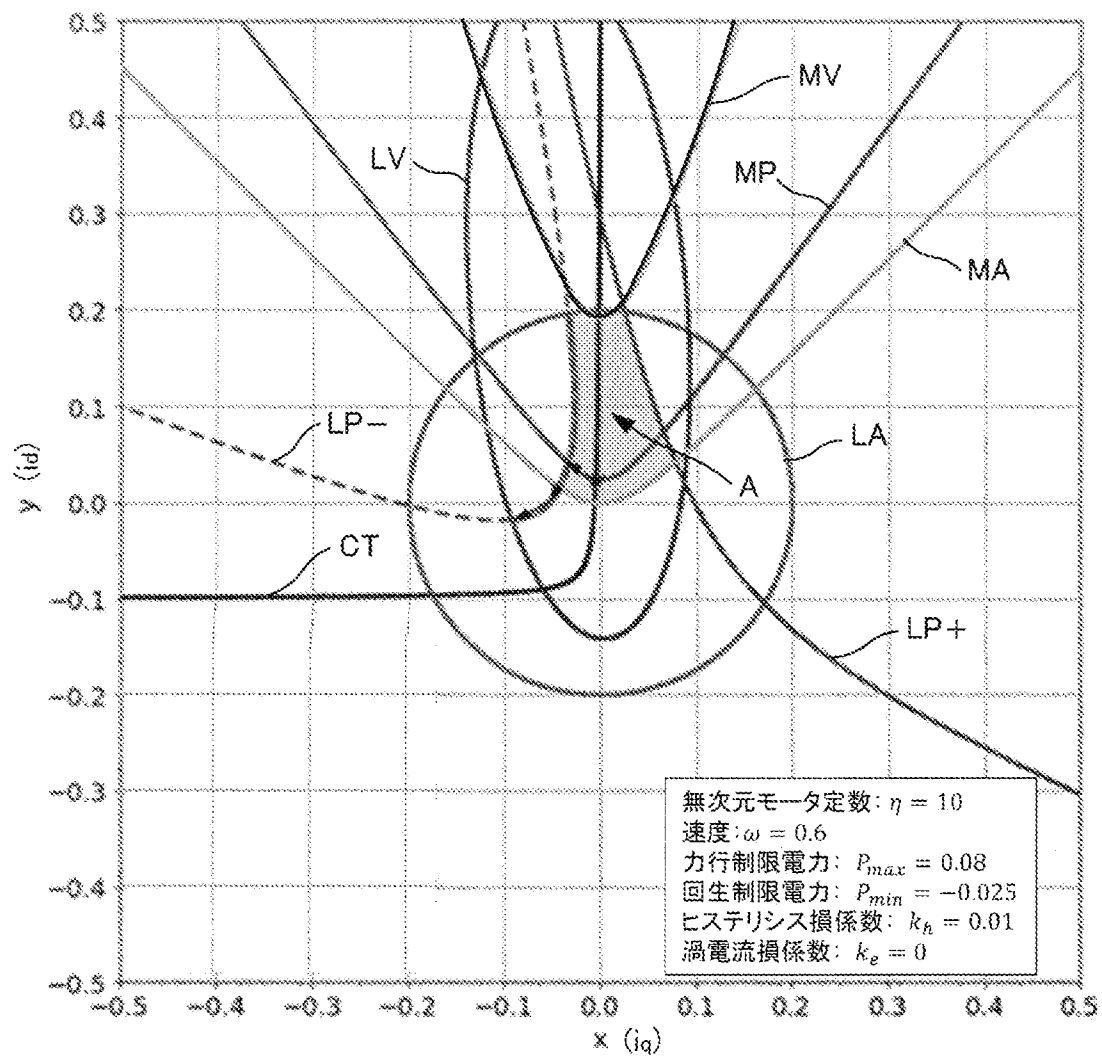
[図1]



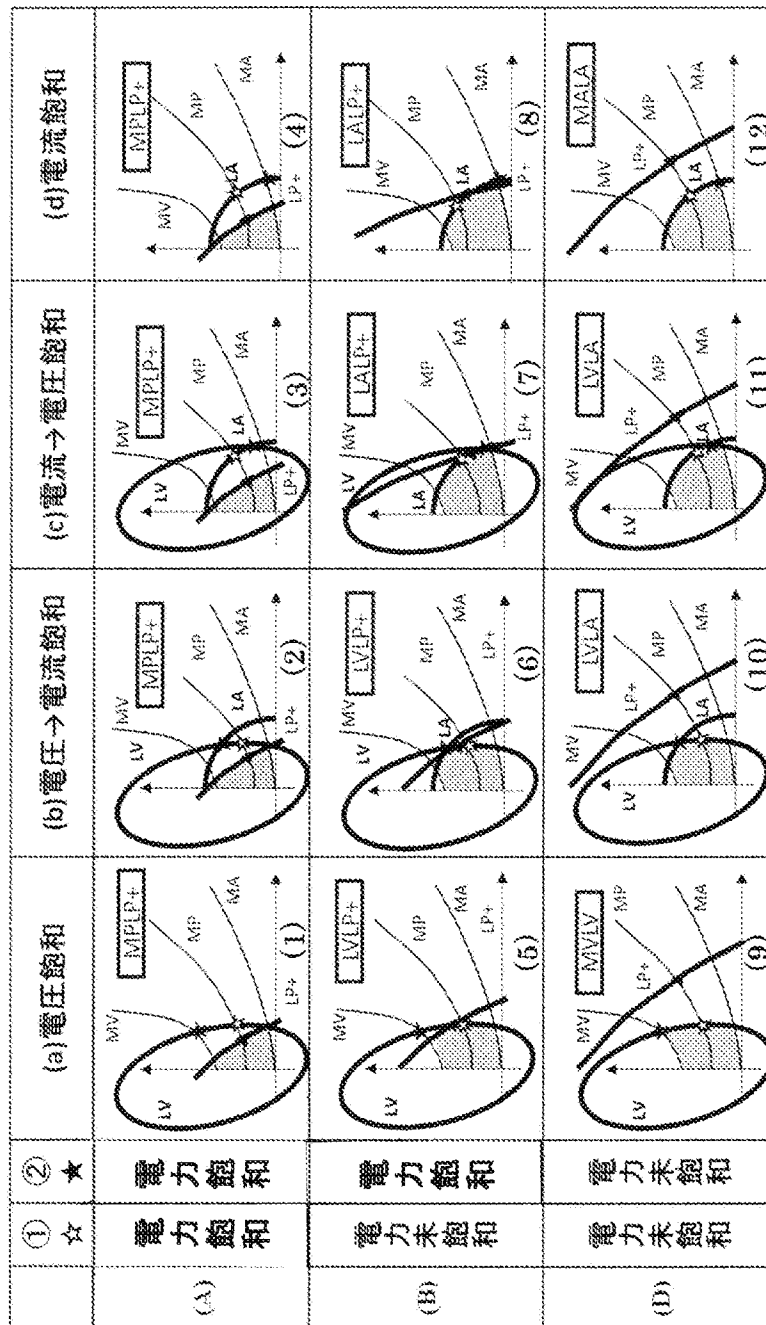
[図2]

	MP	MA	MV	CT	LV	LA	LP+	LP-
MP		×	×	MPCT	—	—	MPLP+	—
MA			×	—	—	MALA	—	—
MV				—	MVLV	—	—	—
CT					LVCT	LACT	—	LPCT-
LV						LVLA	LVLP+	LVLP-
LA							LALP+	LVLP-
LP+								
LP-								

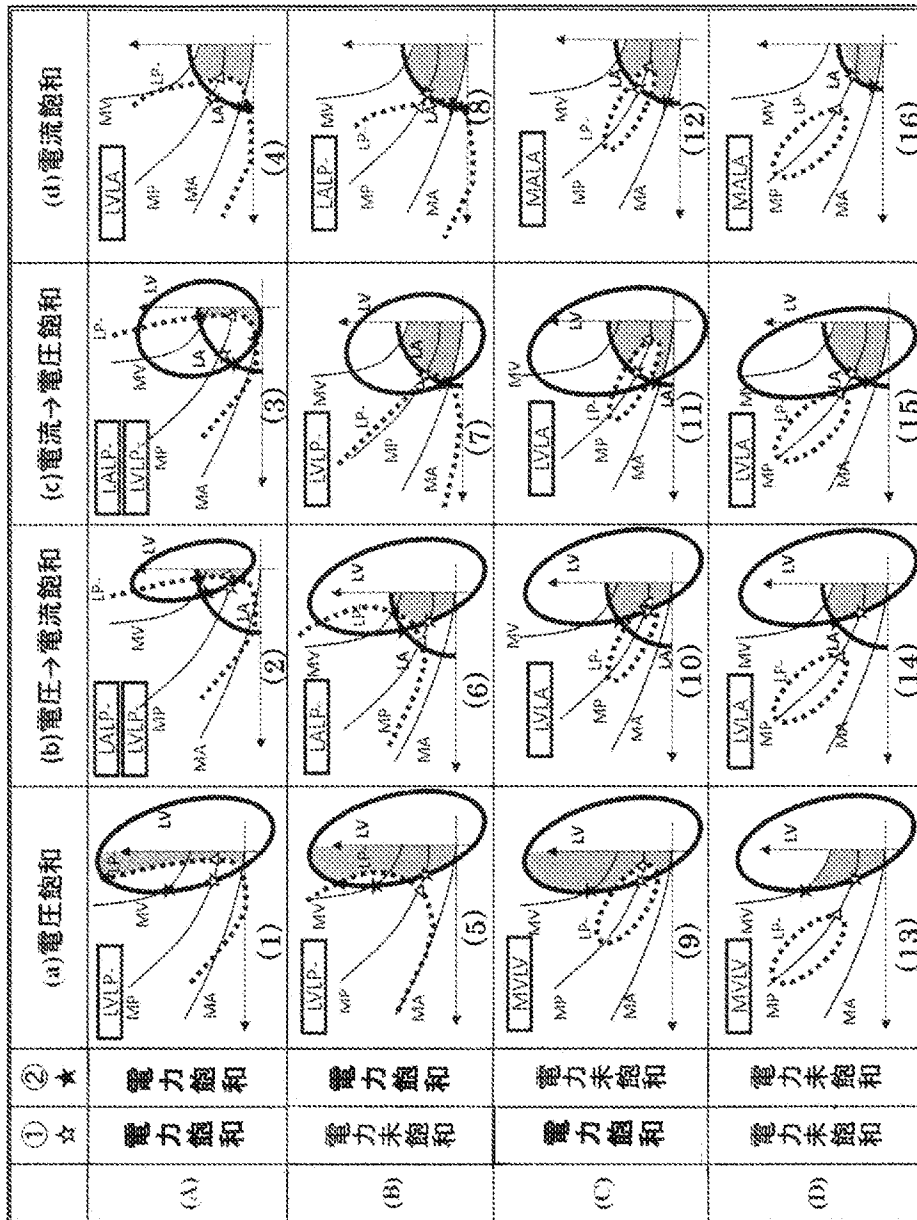
[図3]



[図4]



[図5]

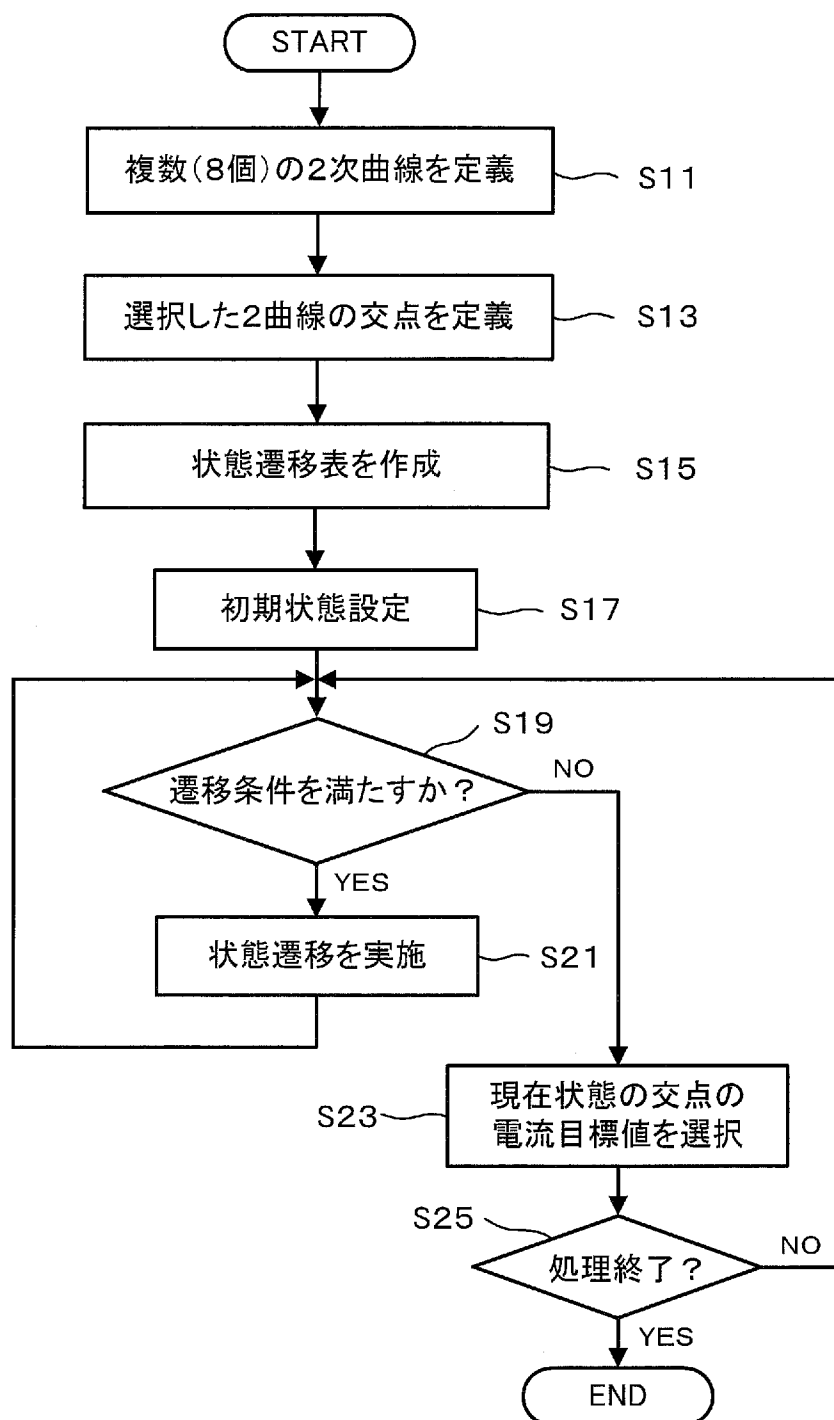


[図6]

遷移先状態													
	MPCT	LVCT	LACT	LPCT-	MPLP	MALA	MVLV	LVLA	LVLP+	LVLP-	LALP+	LALP-	NOVA
MPCT	$ v \geq v_{max}$ [C1]	$ i \geq i_{max}$ [C2]	$p \leq p_{min}$ [C3]	$p \geq p_{max}$ [C4]	$\times$	$\times$	$\times$	$\times$	$\times$	$\times$	$\times$	$\times$	$\times$
LVCT	$MP < 0$ [C3]	$\times$	$p \leq p_{min}$ [C6]	$p \leq p_{min}$ [C6]	$\times$	$\times$	$MV \geq 0$ [C7]	$ i \geq i_{max}$ [C8]	$p \geq p_{max}$ [C9]	$p \leq p_{min}$ [C10]	$\times$	$\times$	$\times$
LACT	$MP > 0$ [C11]	$\times$	$p \leq p_{min}$ [C12]	$p \leq p_{min}$ [C12]	$\times$	$MA \leq 0$ [C13]	$\times$	$ v \geq v_{max}$ [C14]	$\times$	$\times$	$p \geq p_{max}$ [C15]	$p \leq p_{min}$ [C16]	$\times$
LPCT-	$ T_{pmin,l} < T^* < T_{pmin,h} $ [C17]	$ v \geq v_{max}$ [C18]	$ i \geq i_{max}$ [C19]	$\times$	$\times$	$\times$	$\times$	$\times$	$\times$	$ v \geq v_{max}$ [C20]	$\times$	$ i \geq i_{max}$ [C21]	$\times$
MPLP	$ T^* < T_{pmax}$ [C22]	$\times$	$\times$	$\times$	$\times$	$\times$	$\times$	$\times$	$ v \geq v_{max}$ [C23]	$\times$	$ i \geq i_{max}$ [C24]	$\times$	$\times$
MALA	$\times$	$\times$	$ T^* < T $ [C25]	$\times$	$\times$	$\times$	$\times$	$ v \geq v_{max}$ [C26]	$\times$	$\times$	$p \geq p_{max}$ [C27]	$p \leq p_{min}$ [C28]	$\times$
MVLV	$\times$	$ T^* < T $ [C29]	$\times$	$\times$	$\times$	$\times$	$\times$	$ i \geq i_{max}$ [C30]	$p \geq p_{max}$ [C31]	$p \leq p_{min}$ [C32]	$\times$	$\times$	$\times$
LVLA	$\times$	$ T^* < T $ [C33]	$ T^* < T $ [C34]	$\times$	$\times$	$MA \leq 0$ [C35]	$MV \geq 0$ [C36]	$\times$	$p \geq p_{max}$ [C37]	$p \leq p_{min}$ [C38]	$p \geq p_{max}$ [C39]	$p \leq p_{min}$ [C40]	$\omega \geq \omega_{NOVA}$ [C41]
LVLP+	$\times$	$ T^* < T $ [C42]	$\times$	$\times$	$MP < 0$ [C43]	$\times$	$MV \geq 0$ [C44]	$ i \geq i_{max}$ [C45]	$\times$	$\times$	$\times$	$\times$	$\omega \geq \omega_{NOVA}$ [C46]
LVLP-	$\times$	$\times$	$\times$	$ T^* < T $ [C47]	$\times$	$\times$	$MV \geq 0$ [C48]	$ i \geq i_{max}$ [C49]	$\times$	$\times$	$\times$	$\times$	$\omega \geq \omega_{NOVA}$ [C50]
LALP+	$\times$	$\times$	$ T^* < T $ [C51]	$\times$	$MP > 0$ [C52]	$MA \leq 0$ [C53]	$\times$	$ v \geq v_{max}$ [C54]	$\times$	$\times$	$\times$	$\times$	$\omega \geq \omega_{NOVA}$ [C55]
LALP-	$\times$	$\times$	$\times$	$ T^* < T $ [C56]	$\times$	$MA \leq 0$ [C57]	$\times$	$ v \geq v_{max}$ [C58]	$\times$	$\times$	$\times$	$\times$	$\omega \geq \omega_{NOVA}$ [C59]
NOVA	$\times$	$\times$	$\times$	$\times$	$\times$	$\times$	$\times$	$\omega < \omega_{NOVA}$ [C60]	$\times$	$\times$	$\times$	$\times$	$\omega < \omega_{NOVA}$

現在状態

[図7]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/022216

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02P 21/22(2016.01)i

FI: H02P21/22

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)

H02P21/22

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	1971-2021
Registered utility model specifications of Japan	1996-2021
Published registered utility model applications of Japan	1994-2021

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 2016-226190 A (DENSO CORP) 28 December 2016 (2016-12-28) entire text, all drawings	1-29
A	JP 2010-41741 A (AISIN AW CO LTD) 18 February 2010 (2010-02-18) entire text, all drawings	1-29
A	JP 2008-48540 A (AISIN AW CO LTD) 28 February 2008 (2008-02-28) entire text, all drawings	1-29
A	JP 2007-245763 A (NISSAN MOTOR CO LTD) 27 September 2007 (2007-09-27) entire text, all drawings	1-29

☐ 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
27 July 2021 (27.07.2021)

Date of mailing of the international search report
10 August 2021 (10.08.2021)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
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/JP2021/022216

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2016-226190 A	28 Dec. 2016	(Family: none)	
JP 2010-41741 A	18 Feb. 2010	US 2010/0026222 A1 entire text, all drawings CN 101919157 A	
JP 2008-48540 A	28 Feb. 2008	US 2008/0042605 A1 entire text, all drawings CN 101351956 A	
JP 2007-245763 A	27 Sep. 2007	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H02P 21/22(2016.01)i FI: H02P21/22														
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）） H02P21/22 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 - 2021年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2021年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2021年</td> </tr> </table> 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）			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2021年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2021年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2021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 - 2021年													
日本国実用新案登録公報	1996 - 2021年													
日本国登録実用新案公報	1994 - 2021年													
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 2016-226190 A（株式会社デンソー） 28.12.2016（2016 - 12 - 28） 全文, 全図	1-29												
A	JP 2010-41741 A（アイシン・エイ・ダブリュ株式会社） 18.02.2010（2010 - 02 - 18） 全文, 全図	1-29												
A	JP 2008-48540 A（アイシン・エイ・ダブリュ株式会社） 28.02.2008（2008 - 02 - 28） 全文, 全図	1-29												
A	JP 2007-245763 A（日産自動車株式会社） 27.09.2007（2007 - 09 - 27） 全文, 全図	1-29												
☐ 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 27.07.2021		国際調査報告の発送日 10.08.2021												
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） 池田 貴俊 3V 9256 電話番号 03-3581-1101 内線 3357												

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/JP2021/022216

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2016-226190	A	28.12.2016	(ファミリーなし)	
JP	2010-41741	A	18.02.2010	US 2010/0026222 A1 全文, 全図	
				CN 101919157 A	
JP	2008-48540	A	28.02.2008	US 2008/0042605 A1 全文, 全図	
				CN 101351956 A	
JP	2007-245763	A	27.09.2007	(ファミリーなし)	