

(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
2017年6月29日(29.06.2017)



(10) 国際公開番号
WO 2017/111101 A1

- (51) 国際特許分類:
H02P 25/08 (2016.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/088519
- (22) 国際出願日: 2016年12月22日(22.12.2016)
- (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 2015-255378 2015年12月25日(25.12.2015) JP
- (71) 出願人: 株式会社小松製作所(KOMATSU LTD.)
[JP/JP]; 〒1078414 東京都港区赤坂2-3-6
Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 山田 健太郎(YAMADA, Kentaro); 〒
1078414 東京都港区赤坂2-3-6 株式会社
小松製作所内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 特許業務法人酒井国際特許事務所
(SAKAI INTERNATIONAL PATENT OFFICE); 〒
1000013 東京都千代田区霞が関3丁目8番1号
虎の門三井ビルディング 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, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA,
LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN,
MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE,
PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE,
SG, SK, SL, 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).

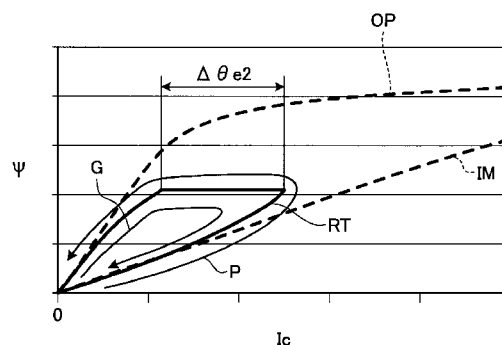
添付公開書類:

- 国際調査報告 (条約第 21 条(3))
- 補正された請求の範囲及び説明書 (条約第 19 条
(1))

(54) Title: CONTROL DEVICE FOR ROTATING ELECTRIC MACHINE, WORKING MACHINE AND METHOD FOR CON-
TROLLING ROTATING ELECTRIC MACHINE

(54) 発明の名称: 回転電機の制御装置、作業機械及び回転電機の制御方法

[図6]



(57) Abstract: This control device for a rotating electric machine controls the rotating electric machine of two phases or more by ap-
plying, to a winding of each phase of the rotating electric machine, a voltage of one period including a first interval in which a first
voltage is applied, a second interval in which a voltage applied to the winding is 0 after the first interval, a third interval in which a
second voltage is applied to the winding in a reverse direction to that of the first voltage after the second interval, and a fourth inter-
val in which a voltage applied to the winding is 0 after the third interval or before the first interval, wherein the second interval is
controlled to have a value between a first value and a second value that is greater than the first value and is obtained by dividing the
one period by the number of phases of the rotating electric machine.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2017/111101 A1

回転電機の制御装置は、2相以上の回転電機を制御するにあたり、前記回転電機が有する各相の巻線に、第1の電圧を印加する第1期間、前記第1期間の後に前記巻線に印加する電圧を0とする第2期間、前記第2期間の後に前記巻線に前記第1の電圧とは反対方向に第2の電圧を印加する第3期間、及び前記第3期間の後又は前記第1期間の前に前記巻線に印加する電圧を0とする第4期間を1周期とする電圧を印加するとともに、前記第2期間を、第1の値から、前記第1の値よりも大きく、かつ前記1周期を前記回転電機の相数で除した第2の値の間の値に制御する。

明 細 書

発明の名称：

回転電機の制御装置、作業機械及び回転電機の制御方法

技術分野

[0001] 本発明は、回転電機の制御装置、作業機械及び回転電機の制御方法に関する。

背景技術

[0002] 三相の回転電機として、スイッチトリラクタンスモータが知られている。例えば、特許文献1には、スイッチトリラクタンスモータを制御する技術が記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2014-233185号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] ところで、スイッチトリラクタンスモータのような回転電機は、固定子と回転子との間に発生する電磁力、特に半径方向の電磁力に起因して、大きな振動及び騒音が発生することがある。また、回転電機が有する固定子及び回転子の鉄損が、回転電機の効率を低下させる。さらにスイッチング回数が多い場合には、スイッチング損失が、回転電機の駆動装置の効率を大きく低下させる。

[0005] 本発明は、直流電源の電圧等の駆動条件にかかわらず、簡易な制御で確実に、回転電機の効率低下及び騒音を抑制することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] 本発明は、2相以上の回転電機を制御するにあたり、前記回転電機が有する各相の巻線に、第1の電圧を印加して鎖交磁束を増加させる第1期間、前

記第 1 期間の後に前記巻線に印加する電圧を 0 として前記鎖交磁束を保持する第 2 期間、前記第 2 期間の後に前記巻線に前記第 1 の電圧とは反対方向に第 2 の電圧を印加して前記鎖交磁束を減少させる第 3 期間、及び前記第 3 期間から次周期の前記第 1 期間まで前記巻線に印加する電圧を 0 として前記鎖交磁束を保持する第 4 期間を 1 周期とする電圧を印加するとともに、前記第 2 期間を、第 1 の値から、前記第 1 の値よりも大きく、かつ前記 1 周期を前記回転電機の相数で除した第 2 の値の間の値に制御する、回転電機の制御装置である。

[0007] 前記第 1 期間と前記第 2 期間との和が前記第 2 の値となることが好ましい。

[0008] 前記第 1 期間と前記第 2 期間との和が前記第 2 の値を超過する場合には、前記第 2 期間を前記第 1 の値に固定することが好ましい。

[0009] 前記第 1 期間の開始時における鎖交磁束が 0 よりも大きく、前記巻線に連続して電流が流れる状態の制御において、前記第 1 期間の開始時における鎖交磁束を増加させる場合に、前記第 3 期間から前記第 4 期間への切り替えを早める、又は前記第 4 期間が 0 の場合には、前記第 3 期間の最後を前記第 4 期間に変更することが好ましい。

[0010] 前記第 1 期間の開始時における鎖交磁束が 0 よりも大きく、前記巻線に連続して電流が流れる状態の制御において、前記第 1 期間の開始時における鎖交磁束を減少させる場合に、前記第 4 期間から次周期の前記第 1 期間への切り替えを遅延させる、又は前記第 4 期間が 0 の場合には、次周期の前記第 1 期間の最初を前記第 4 期間に変更することが好ましい。

[0011] 前記回転電機の回転速度及びトルクの少なくとも一方を変更する場合、前記第 2 期間の中点の単位トルクあたりの変化量及び単位回転速度あたりの変化量に制限を設けることが好ましい。

[0012] 本発明は、2 相以上の回転電機である 2 相以上のスイッチトリラクタンスモータと、前述した回転電機の制御装置と、を含む、作業機械である。

[0013] 本発明は、2 相以上の回転電機を制御するにあたり、前記回転電機が有す

る各相の巻線に、第 1 の電圧を印加して鎖交磁束を増加させる第 1 期間、前記第 1 期間の後に前記巻線に印加する電圧を 0 として前記鎖交磁束を保持する第 2 期間、前記第 2 期間の後に前記巻線に前記第 1 の電圧とは反対方向に第 2 の電圧を印加して前記鎖交磁束を減少させる第 3 期間、及び前記第 3 期間から次周期の前記第 1 期間まで前記巻線に印加する電圧を 0 として前記鎖交磁束を保持する第 4 期間を 1 周期とする電圧を印加し、前記第 2 期間を、第 1 の値から、前記第 1 の値よりも大きく、かつ前記 1 周期を前記回転電機の相数で除した第 2 の値の間の値に制御する、回転電機の制御方法である。

[0014] 前記第 1 期間と前記第 2 期間との和が前記第 2 の値となることが好ましい。

[0015] 前記第 1 期間と前記第 2 期間との和が前記第 2 の値を超過する場合には、前記第 2 期間を前記第 1 の値に固定することが好ましい。

[0016] 前記第 1 期間の開始時における鎖交磁束が 0 よりも大きく、前記巻線に連続して電流が流れる状態の制御において、前記第 1 期間の開始時における鎖交磁束を増加させる場合に、前記第 3 期間から前記第 4 期間への切り替えを早める、又は前記第 4 期間が 0 の場合には、前記第 3 期間の最後を前記第 4 期間に変更することが好ましい。

[0017] 前記第 1 期間の開始時における鎖交磁束が 0 よりも大きく、前記巻線に連続して電流が流れる状態の制御において、前記第 1 期間の開始時における鎖交磁束を減少させる場合に、前記第 4 期間と次周期の前記第 1 期間への切り替えを遅延させる、又は前記第 4 期間が 0 の場合には、次周期の前記第 1 期間の最初を前記第 4 期間に変更することが好ましい。

[0018] 前記回転電機の回転速度及びトルクの少なくとも一方を変更する場合、前記第 2 期間の中点の単位トルクあたりの変化量及び単位回転速度あたりの変化量に制限を設けることが好ましい。

発明の効果

[0019] 本発明は、直流電源の電圧等の駆動条件にかかわらず、簡易な制御で確実に、回転電機の効率低下及び騒音を抑制することができる。

図面の簡単な説明

[0020] [図1]図 1 は、本実施形態に係る 2 相以上の回転電機と、これを制御する回転電機の制御装置とを示す図である。

[図2]図 2 は、本実施形態に係る回転電機を示す正面図である。

[図3]図 3 は、本実施形態に係る駆動装置の一例を示す図である。

[図4]図 4 は、回転電機の固定子と回転子との位置関係を示す図である。

[図5-1]図 5 - 1 は、本実施形態に係る制御装置の制御例を説明するための図である。

[図5-2]図 5 - 2 は、本実施形態に係る制御装置の制御例を説明するための図である。

[図6]図 6 は、本実施形態に係る制御装置の制御例を説明するための図である。

[図7]図 7 は、本実施形態に係る制御装置の指令に基づいて動作する駆動装置の動作を説明するための図である。

[図8]図 8 は、本実施形態に係る制御装置の指令に基づいて動作する駆動装置の動作を説明するための図である。

[図9]図 9 は、本実施形態に係る制御装置の指令に基づいて動作する駆動装置の動作を説明するための図である。

[図10]図 10 は、トルクが発生しやすい回転角度の例とトルクが発生しにくい回転角度の例とを示す図である。

[図11]図 11 は、巻線を通れる電流が矩形波となる制御における A 相、B 相及び C 相の起振力の一例を示す図である。

[図12]図 12 は、制御装置による本実施形態の回転電機の制御方法における A 相、B 相及び C 相の起振力の一例を示す図である。

[図13]図 13 は、本実施形態に係る制御装置が回転電機を制御したときの各相を通れる電流の一例を示す図である。

[図14]図 14 は、第 4 期間が 0 となる連続通電時において、巻線を通れる電流と電気角との関係を示した図である。

[図15]図 1 5 は、第 4 期間が 0 となる連続通電時において、巻線を通れる電流と電気角との関係を示した図である。

[図16]図 1 6 は、第 4 期間が 0 となる連続通電時において、巻線を通れる電流と鎖交磁束との関係を示した図である。

[図17]図 1 7 は、第 4 期間が 0 となる連続通電時において、巻線を通れる電流と鎖交磁束との関係を示した図である。

[図18]図 1 8 は、回転電機の 1 つの相における巻線を通れる電流と電気角との関係を示す図である。

[図19]図 1 9 は、回転電機の A 相、B 相、C 相の巻線を通れる電流と電気角との関係を示す図である。

[図20]図 2 0 は、回転電機の回転速度を一定としてトルクを変化させたときの結果の一例を、還流の中心における鎖交磁束と巻線を通れる電流との関係で表した図である。

[図21]図 2 1 は、本実施形態に係る回転電機の制御方法を実現する回転電機の制御装置を備えた作業機械の一例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0021] 本発明を実施するための形態（実施形態）につき、図面を参照しつつ詳細に説明する。

[0022] <三相の回転電機について>

図 1 は、本実施形態に係る 2 相以上の回転電機 1 と、これを制御する回転電機の制御装置 5 とを示す図である。回転電機とは、電動機の動作と発電機の動作とを行う電磁機械である。回転電機 1 の制御装置（以下、適宜制御装置という）5 は、回転電機 1 のシャフト 1 S の回転速度及びトルクの少なくとも一方を制御するための制御信号を生成する。制御装置 5 は、例えば、生成した制御信号を駆動装置 6 に与えることにより、駆動装置 6 を介して回転電機 1 のシャフト 1 S の回転を制御する。制御装置 5 は、例えば、マイクロコンピュータが用いられるが、これに限定されるものではない。制御装置 5 は、本実施形態に係る回転電機の制御方法を実行する。駆動装置 6 としては

、例えば、複数のスイッチング素子を有する装置が用いられる。

[0023] 図2は、本実施形態に係る回転電機1を示す正面図である。本実施形態において、回転電機1は、3相のSRM (Switched Reluctance Motor) であり、固定子の極数と回転子の極数との比は6 : 4であるが、相数及び極数は前述の値に限定されない。例えば回転電機1の相、すなわち固定子2の独立した巻線の数2以上であればよく、3に限定されない。また例えば3相のSRMであれば、極数を6 : 4の整数倍等にしてもよい。

[0024] 回転電機1は、固定子2と、回転子3と、巻線4と、回転角度センサ11とを有する。固定子2は、環状の構造体である。固定子2は、例えば、複数の電磁鋼板を積層したものである。固定子2は、内周面から径方向内側に向かって突出する複数のティース2Tを有する。本実施形態において、固定子2は、6個のティース2Tを備えるが、ティース2Tの数はこれに限定されるものではない。

[0025] 回転子3は、固定子2の内周部に配置される。回転子3は、回転中心軸Z_rを中心として固定子2の内周部で回転する。回転子3の回転方向は、例えば、図2の矢印Rで示す方向又は矢印Rとは反対方向である。本実施形態において、回転電機1はSRMなので、回転子3は、例えば、複数の電磁鋼板が回転中心軸Z_rと平行な方向に積層された構造体である。回転子3は、外周面から径方向外側に向かって突出する複数のティース3Tを備える。本実施形態において、回転子3は、4個のティース3Tを備えるが、ティース3Tの数はこれに限定されるものではない。回転角度センサ11は、回転子3の回転角である機械角 θ_m を計測し、図1に示される制御装置5へ出力する。図1に示される制御装置5は、回転角度センサ11によって検出された値を取得する。

[0026] 巻線4は、固定子2が備えるそれぞれのティース2Tに巻き回された導線である。巻線4は、例えば、銅の導線である。巻線4は、図2の矢印Rに向かって、+A相、-B相、+C相、-A相、+B相、-C相の順、又は+A相、+B相、+C相、-A相、-B相、-C相の順に配置される。本実施形

態はいずれの順番でも成立するので、前者を例として説明する。また、A相と、B相と、C相とにそれぞれ印加される回転電機1の電流 I_c 及び電圧 V は、それぞれ位相が120度ずれている。

[0027] 以下において、それぞれの相を区別する場合、巻線4を、巻線4A+、4B-、4C+、4A-、4B+、4C-と記載し、固定子2のティース2Tを、ティース2TA+、2TB-、2TC+、2TA-、2TB+、2TC-と記載する。巻線4A+と巻線4A-とは、回転子3の回転角度で互いに180度異なる位置に配置され、巻線4B+と巻線4B-とは、回転子3の回転角度で互いに180度異なる位置に配置され、巻線4C+と巻線4C-とは、回転子3の回転角度で互いに180度異なる位置に配置される。

[0028] 巻線4A+及び巻線4A-はA相であり、極性のみが異なる。これらの極性を区別しない場合は巻線4Aと称する。巻線4B+及び巻線4B-はB相であり、極性の区別のみが異なる。これらの極性を区別しない場合は巻線4Bと称する。巻線4C+及び巻線4C-はC相であり、極性の区別のみが異なる。これらの極性を区別しない場合は巻線4Cと称する。

[0029] 図3は、本実施形態に係る駆動装置6の一例を示す図である。本実施形態において、駆動装置6は、電源9からの電力を回転電機1の巻線4A、4B、4Cに授受する。電源9は、直流電源である。駆動装置6は、A相の巻線4Aに電力を授受する第1駆動部7Aと、B相の巻線4Bに電力を授受する第2駆動部7Bと、C相の巻線4Cに電力を授受する第3駆動部7Cと、各巻線4A、4B、4Cに流れる電流を計測する電流センサ12A、12B、12Cと、電源9の電圧を計測する電圧センサ13とを有する。図1に示される制御装置5は、電流センサ12A、12B、12C及び電圧センサ13によって検出された値を取得する。第1駆動部7A、第2駆動部7B及び第3駆動部7Cは、いずれも複数のスイッチング素子を有する。本実施形態において、複数のスイッチング素子はIGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) であるが、これに限定されず、例えばFET (Field Effect Transistor) であってもよい。

[0030] 図1に示される制御装置5は、取得した回転角度センサ11によって検出された値、電流センサ12A、12B、12Cによって検出された値、又は電圧センサ13によって検出された値のうち少なくとも1つを用いて、回転電機1のシャフト1Sの回転速度及びトルクの少なくとも一方を制御するための制御信号を生成する。

[0031] 第1駆動部7Aは、4個のスイッチング素子8Aa、8Ab、8Ac、8Adを有する。スイッチング素子8Aaのコレクタは電源9の正極と接続される。スイッチング素子8Aaのエミッタはスイッチング素子8Abのコレクタに接続されるとともに、巻線4Aの第1端に接続される。スイッチング素子8Abのエミッタは電源9の負極に接続される。スイッチング素子8Acのコレクタは電源9の正極と接続される。スイッチング素子8Acのエミッタはスイッチング素子8Adのコレクタに接続されるとともに、巻線4Aの第2端に接続される。スイッチング素子8Adのエミッタは電源9の負極に接続される。それぞれのスイッチング素子8Aa、8Ab、8Ac、8Adは、エミッタからコレクタに電流を流すようにダイオードが並列に接続される。本実施形態において、スイッチング素子8Ab及びスイッチング素子8Acは常時オフであり、並列のダイオードのみが使用される。

[0032] 第2駆動部7Bは、4個のスイッチング素子8Ba、8Bb、8Bc、8Bdを有する。スイッチング素子8Baのコレクタは電源9の正極と接続される。スイッチング素子8Baのエミッタはスイッチング素子8Bbのコレクタに接続されるとともに、巻線4Bの第1端に接続される。スイッチング素子8Bbのエミッタは電源9の負極に接続される。スイッチング素子8Bcのコレクタは電源9の正極と接続される。スイッチング素子8Bcのエミッタはスイッチング素子8Bdのコレクタに接続されるとともに、巻線4Bの第2端に接続される。スイッチング素子8Bdのエミッタは電源9の負極に接続される。それぞれのスイッチング素子8Ba、8Bb、8Bc、8Bdは、エミッタからコレクタに電流を流すようにダイオードが並列に接続される。本実施形態において、スイッチング素子8Bb及びスイッチング素子

8 B c は常時オフであり、並列のダイオードのみが使用される。

[0033] 第3駆動部7 Cは、4個のスイッチング素子8 C a, 8 C b, 8 C c, 8 C dを有する。スイッチング素子8 C aのコレクタは電源9の正極と接続される。スイッチング素子8 C aのエミッタはスイッチング素子8 C bのコレクタに接続されるとともに、巻線4 Cの第1端に接続される。スイッチング素子8 C bのエミッタは電源9の負極に接続される。スイッチング素子8 C cのコレクタは電源9の正極と接続される。スイッチング素子8 C cのエミッタはスイッチング素子8 C dのコレクタに接続されるとともに、巻線4 Cの第2端に接続される。スイッチング素子8 C dのエミッタは電源9の負極に接続される。それぞれのスイッチング素子8 C a, 8 C b, 8 C c, 8 C dは、エミッタからコレクタに電流を流すようにダイオードが並列に接続される。本実施形態において、スイッチング素子8 C b及びスイッチング素子8 C cは常時オフであり、並列のダイオードのみが使用される。

[0034] 駆動装置6の第1駆動部7 A、第2駆動部7 B及び第3駆動部7 Cは、図1に示される制御装置5の指令によってそれぞれのスイッチング素子をオン、オフさせることにより、それぞれの巻線4 A, 4 B, 4 Cに順次電圧Vを印加する。この処理によって、駆動装置6は、巻線4 A, 4 B, 4 Cの磁界を変化させ、回転子3のティース3 Tを適切なタイミングで吸引することで、回転電機1を回転させる。

[0035] 図4は、回転電機1の固定子2と回転子3との位置関係を示す図である。図4に示される例において、回転子3は、矢印Rで示される方向に、回転電機1とシャフト1 Sを介して締結された内燃機関等によって、回転させられているものとする。このため、回転電機1が、矢印Rと同じ方向にトルクを発生する場合には動力を発生、すなわち力行する。また回転電機1が、矢印Rと反対方向にトルクを発生する場合には電力を発電、すなわち回生する。

[0036] 電気角 θ_e は、電流波形の1周期を360度とした回転角であり、機械角 θ_m と回転子3の極数とで定義される。本実施形態において、回転電機1は回転子3の極数が4なので、電気角 θ_e と機械角 θ_m との関係は、 $\theta_e = 4$

$\times \theta_m$ となる。本実施形態において、回転子3の1つのティース3T_aと固定子2の1つのティース2Tとが対向する状態の電気角 θ_e を0度とする。回転子3が回転して、回転子3のティース3T_aと隣接する次のティース3T_bが固定子2のティース2Tに対向する状態の電気角 θ_e を360度とする。

[0037] 電気角 θ_e が $0^\circ \leq \theta_e < 360^\circ$ の範囲において、回転子3のティース3T_aに着目すると、ティース3T_aがティース3T_bよりも固定子2のティース2Tに近い場合にティース2Tの巻線4に通電すると、回転電機1は電力を発電、すなわち回生する。これは電気角 θ_e が $0^\circ < \theta_e < 180^\circ$ の範囲である。回転子3のティース3T_bに着目すると、ティース3T_bがティース3T_aよりも固定子2のティース2Tに近い場合にティース2Tの巻線4に通電すると、回転電機1は動力を発生、すなわち力行する。これは電気角 θ_e が $180^\circ < \theta_e < 360^\circ$ の範囲である。また電気角 θ_e が0度と180度の場合には、巻線4に通電しても、トルクは発生しない。

[0038] 図5-1、図5-2及び図6は、本実施形態に係る制御装置5の制御例を説明するための図である。図5-1、図5-2は、縦軸が巻線4を流れる電流 I_c 、横軸が電気角 θ_e である。図5-1は回転電機1が回生している状態を表し、図5-2は回転電機1が力行している状態を表す。図6は、縦軸が鎖交磁束 ϕ 、横軸が巻線4を流れる電流 I_c である。図5-1、図5-2及び図6は、回転電機1の1つの相の電流 I_c 及び鎖交磁束 ϕ を示している。鎖交磁束 ϕ は、巻線4への印加電圧を時間積分した値で表される。図6中の点線OPは固定子2のティース2Tと回転子3のティース3Tとが対向している状態（電気角 $\theta_e = 0^\circ$ ）であり、点線IMは回転子3のティース3T_a、3T_bの間に固定子2のティース2Tがある状態（電気角 $\theta_e = 180^\circ$ ）である。電気角 $\theta_e = 180^\circ$ は、非対向位置又は非対向状態である。以下の例も同様である。回転電機1が回生する場合、巻線4の鎖交磁束 ϕ と巻線4を流れる電流 I_c による軌跡は、図6の矢印Gで示す方向（図6において時計回り）に変化する。回転電機1が力行する場合、巻線4の鎖交

磁束 ϕ と巻線4を流れる電流 I_c による軌跡は、図6の矢印Pで示す方向（図6において反時計回り）に変化する。スイッチトリラクタンスモータは、他種類のモータと比較して、鎖交磁束 ϕ と電流との比率であるインダクタンスが大きく変動する。このため、本実施形態では、磁界を制御するためのスイッチングのタイミングを、電流ではなく、巻線4への印加電圧と印加時間とから決定することで、鎖交磁束 ϕ を直接制御する。

[0039] 図7から図9は、本実施形態に係る制御装置5の指令に基づいて動作する駆動装置6の動作を説明するための図である。図10は、トルクが発生しやすい回転角度の例とトルクが発生しにくい回転角度の例とを示す図である。図7から図9において、第1駆動部7A、第2駆動部7B及び第3駆動部7Cを区別しない場合、駆動部7と称し、それぞれのスイッチング素子は符号8a, 8b, 8c, 8dで表す。

[0040] 制御装置5は、電気角 θ_e に基づいて回転電機1を制御する。回転電機1を制御するにあたり、第1期間 $\Delta\theta_e1$ 、第2期間 $\Delta\theta_e2$ 、第3期間 $\Delta\theta_e3$ 及び第4期間 $\Delta\theta_e4$ を1周期、すなわち電気角 θ_e で360度として、各期間に対応する電圧Vを、駆動装置6を介して各相の巻線4A, 4B, 4Cに印加する。制御装置5は、各相の巻線4A, 4B, 4Cに印加する電圧Vを、それぞれ電気角 θ_e で360度を相数で除した値だけ、位相をずらして印加する。本実施形態では相数は3なので、位相を120度ずらして印加する。位相のずれと相数の積とは360度となるので、巻線4A, 4B, 4Cのそれぞれに印加される電流 I_c の1周期と一致する。

[0041] 第1期間 $\Delta\theta_e1$ は、各相に第1の電圧を印加して鎖交磁束 ϕ を増加させる期間である。第2期間 $\Delta\theta_e2$ は、第1期間 $\Delta\theta_e1$ の後に、各相に0ボルトを印加して、鎖交磁束 ϕ を保持する期間である。第3期間 $\Delta\theta_e3$ は、第2期間 $\Delta\theta_e2$ の後に、各相に第1の電圧とは反対方向に第2の電圧を印加して鎖交磁束 ϕ を減少させる期間である。第4期間 $\Delta\theta_e4$ は、第3期間 $\Delta\theta_e3$ の後から次周期の第1期間 $\Delta\theta_e1$ まで、各相に0ボルトを印加して、鎖交磁束 ϕ を保持する期間である。本実施形態において、第4期間 $\Delta\theta_e4$

e_4 は 0 であってもよい。また鎖交磁束 ψ は、第 2 期間 $\Delta \theta e_2$ で最大となるので、第 2 期間 $\Delta \theta e_2$ は、図 10 に示されるように、トルクが発生しやすい回転角度に設定することが望ましい。これは、図 6 において、第 2 期間 $\Delta \theta e_2$ を、横方向に変化しやすい回転角度に設定することに相当する。

[0042] 第 1 の電圧は、駆動装置 6 に供給される電源 9 の電圧であってもよいし、電源 9 の電圧が昇圧又は降圧された電圧であってもよい。第 2 の電圧は、第 1 の電圧とは極性が反対で絶対値が同じ電圧であり、巻線 4 A, 4 B, 4 C に印加されたとき、極性が第 1 の電圧とは反対となる。本実施形態では、同じ周期における、第 1 の電圧の変動及び第 2 の電圧の変動は無視できるとして、同じ値として説明するが、第 1 の電圧の変動及び第 2 の電圧の変動が無視できない場合には、電圧の変動の大きさに応じて各期間の長さを微調整してもよい。

[0043] 制御装置 5 は、第 2 期間 $\Delta \theta e_2$ を、第 1 の値から、第 2 の値の間の値に制御する。すなわち、第 2 期間 $\Delta \theta e_2$ は、第 1 の値以上かつ第 2 の値以下の値に設定される。第 2 の値は、第 1 の値よりも大きく、かつ巻線 4 A, 4 B, 4 C に印加される電圧 V の 1 周期を回転電機 1 の相数で除した値である。本実施形態において、回転電機 1 は 3 相なので、第 2 の値は電気角で 120 度である。第 1 の値は第 2 の値の半分程度、例えば電気角で 60 度程度（本実施形態では 60 度）であるがこれに限定されず、回転電機 1 の仕様及び使用環境等によって変更される。

[0044] 回転電機 1 の各相の巻線 4 A, 4 B, 4 C に印加される電圧の 1 周期は、力行及び回生のいずれの場合においても、第 1 期間 $\Delta \theta e_1$, 第 2 期間 $\Delta \theta e_2$, 第 3 期間 $\Delta \theta e_3$, 第 4 期間 $\Delta \theta e_4$ の順で表される。

[0045] 第 1 期間 $\Delta \theta e_1$ では、図 7 に示されるように、駆動部 7 のスイッチング素子 8 a, 8 d をオン、スイッチング素子 8 b, 8 c をオフとすることで、電源 9 の電圧が巻線 4 に印加される。本実施形態においては、スイッチング素子 8 b 及びスイッチング素子 8 c はすべての期間でオフであり、並列のダイオードのみが使用される。このとき、巻線 4 のスイッチング素子 8 a 側に

は電源 9 の正極の電圧（+）が印加され、巻線 4 のスイッチング素子 8 d 側には電源 9 の負極の電圧（-）が印加される。巻線 4 に電源 9 の電圧が印加されることにより、図 6 に示されるように巻線 4 の鎖交磁束 ψ が増加して（励磁）、図 5-1 及び図 5-2 に示されるように巻線 4 の電流 I_c が増加する。

[0046] 第 2 期間 $\Delta \theta_e 2$ では、図 8 に示されるように、第 1 期間 $\Delta \theta_e 1$ の状態から駆動部 7 のスイッチング素子 8 a, 8 d のいずれか一方のみをオフすることで、駆動部 7 のスイッチング素子 8 a, 8 c に並列なダイオードがオン、又はスイッチング素子 8 d, 8 b に並列なダイオードがオンとなることで、巻線 4 の両端の電圧が等しくなる。その結果、巻線 4 には 0 ボルトが印加される。

[0047] 巻線 4 の印加電圧が 0 ボルトの場合には、鎖交磁束 ψ の大きさが変化しないので、第 1 期間 $\Delta \theta_e 1$ の最後の鎖交磁束 ψ の値が維持される。この状態を還流という。第 2 期間 $\Delta \theta_e 2$ の鎖交磁束 ψ を図 6 に示すと、縦軸が一定値の直線となる。また図 6 の横軸が電流 I_c であることから、軌跡が矢印 G の方向（図 6 において時計回り）となる回生では、電気角 θ_e の増加とともに、直線部分である第 2 期間 $\Delta \theta_e 2$ の電流 I_c が図 5-1 に示されるように増加する。同様に軌跡が矢印 P の方向（図 6 において反時計回り）となる力行では、電気角 θ_e の増加とともに、直線部分である第 2 期間 $\Delta \theta_e 2$ の電流 I_c が図 5-2 に示されるように減少する。

[0048] 第 3 期間 $\Delta \theta_e 3$ では、図 9 に示されるように、第 2 期間 $\Delta \theta_e 2$ の状態から駆動部 7 のスイッチング素子 8 a, 8 d の両方をオフとすることで、駆動部 7 のスイッチング素子 8 b に並列なダイオードと、スイッチング素子 8 c に並列なダイオードがオンとなることにより、電源 9 の電圧が巻線 4 に印加される。このとき、巻線 4 のスイッチング素子 8 c 側には電源 9 の正極の電圧（+）が印加され、巻線 4 のスイッチング素子 8 b 側には電源 9 の負極の電圧（-）が印加される。すなわち、巻線 4 に印加される電圧の極性は、第 1 期間 $\Delta \theta_e 1$ とは反対になる。巻線 4 に電源 9 の電圧が反対方向に印加

されることで、図6に示されるように巻線4の鎖交磁束 ϕ が減少して（消磁）、図5-1及び図5-2に示されるように巻線4の電流 I_c が減少する。

[0049] 第4期間 $\Delta\theta_e4$ は、第3期間 $\Delta\theta_e3$ の最後における鎖交磁束 ϕ の値によって、スイッチング素子8a, 8b, 8c, 8d、及びそれぞれに並列なダイオードが異なる状態となるが、いずれの場合でも巻線4の両端には0ボルトが印加される。このため第2期間 $\Delta\theta_e2$ と同様に、鎖交磁束 ϕ の値は変化しない。まず第3期間 $\Delta\theta_e3$ の最後に鎖交磁束 ϕ が0、つまり電流 I_c が0となった場合には、ダイオードが自動的にオフとなり、第4期間 $\Delta\theta_e4$ に切り替わる。この場合にはすべてのスイッチング素子8a, 8b, 8c, 8dと、それぞれに並列なダイオードがオフなので、巻線4の両端には電圧が印加されず0ボルトとなる。第3期間 $\Delta\theta_e3$ の最後に鎖交磁束 ϕ が残留しており、電流 I_c が流れている場合には、スイッチング素子8a, 8dのいずれか片方をオンにすることで、第4期間 $\Delta\theta_e4$ に切り替わる。この場合には第2期間 $\Delta\theta_e2$ と同様に、図8に示される状態となるので、巻線4の両端電圧が等しくなり、0ボルトが印加される。本実施形態において、第4期間 $\Delta\theta_e4$ は0であってもよい。

[0050] 本実施形態において、制御装置5は、第1期間 $\Delta\theta_e1$ 中に駆動装置6のスイッチング素子を動作させた後は、第1期間 $\Delta\theta_e1$ の終了時までには駆動装置6のスイッチング素子のオンオフ状態を変化させない。制御装置5は、第2期間 $\Delta\theta_e2$ の開始時に駆動装置6のスイッチング素子を動作させた後は、第2期間 $\Delta\theta_e2$ の終了時までには駆動装置6のスイッチング素子のオンオフ状態を変化させない。制御装置5は、第3期間 $\Delta\theta_e3$ の開始時に駆動装置6のスイッチング素子を動作させた後は、第3期間 $\Delta\theta_e3$ の終了時、又は第4期間 $\Delta\theta_e4$ が0である場合は第1期間 $\Delta\theta_e1$ の開始前の所定期間前まで、駆動装置6のスイッチング素子のオンオフ状態を変化させない。制御装置5は、第4期間 $\Delta\theta_e4$ の開始時に駆動装置6のスイッチング素子を動作させた後は、第4期間 $\Delta\theta_e4$ の終了時までには駆動装置6のスイッチング素子のオンオフ状態を変化させない。

[0051] 本実施形態において、第2期間 $\Delta \theta e 2$ を設けることで、この期間の鎖交磁束 ϕ は一定になる。また、巻線4に印加される電圧の1周期において、第2期間 $\Delta \theta e 2$ の鎖交磁束 ϕ が最大値になる。制御装置5及び本実施形態の回転電機の制御方法は、第2期間 $\Delta \theta e 2$ にも巻線4に電圧を印加する制御、例えば巻線4を流れる電流 I_c が矩形波となる場合と比較して、各相の巻線4A、4B、4Cに発生する鎖交磁束 ϕ の最大値を小さくすることができるとともに、鎖交磁束 ϕ の変化量も小さくすることができる。鎖交磁束 ϕ を巻線4のターン数で除した値は磁束なので、制御装置5及び本実施形態の回転電機の制御方法は、第2期間 $\Delta \theta e 2$ にも巻線4に電圧を印加する制御、及び第2期間 $\Delta \theta e 2$ に最小値が規定されていない制御と比較して、磁束の最大値も小さく、変化量も小さい。このように、制御装置5及び本実施形態の回転電機の制御方法は、第2期間 $\Delta \theta e 2$ にも巻線4に電圧を印加する制御、及び第2期間 $\Delta \theta e 2$ に最小値が規定されていない制御と比較して磁束の変化量が小さいので、鉄損が小さく回転電機1の効率の低下を抑制することができる。

[0052] 回転電機1の騒音の起振力は、各ティースにおける電磁力の半径方向成分の脈動であり、これを起振力 F_r とする。各ティースにおける起振力 F_r の瞬時値は、対向状態では公知の式(1)となる。また式(1)を変形すると、式(2)となる。

$$F_r = (B^2 \times A) / (2 \times \mu) \cdots (1)$$

$$F_r = \phi^2 / (2 \times \mu \times N^2 \times A) \cdots (2)$$

[0053] 式(1)及び式(2)において、 B は磁束密度、 μ は真空の透磁率、 N は巻線4の極対のターン数、 A は固定子2のティース2Tの断面積である。固定子2及び回転子3のティースが重ならない非対向付近においては、起振力 F_r がほとんど発生しない。対向状態から非対向付近までの区間では、ティースが重なる面積が減少すると電磁力の大きさは増加するが、電磁力が半径方向から接線方向に近づくことで、近似的には式(2)が成立する。

[0054] 式(2)から分かるように、各ティースにおける起振力 F_r の脈動におけ

る最大値は、非対向付近を除いた、各相における鎖交磁束 ψ の最大値の2乗に比例すると近似できる。起振力 F_r は非対向付近において、ほぼ発生しないので、脈動の最小値は0と近似できる。制御装置5及び本実施形態の回転電機の制御方法は、第2期間 $\Delta\theta_e/2$ にも巻線4に電圧を印加する制御、及び第2期間 $\Delta\theta_e/2$ に最小値が規定されていない制御と比較して、鎖交磁束 ψ の最大値が小さいので、起振力 F_r の脈動が小さくなるので、各ティースにおける騒音及び振動が抑制される。

[0055] 図11は、巻線4を流れる電流 I_c が矩形波となる制御におけるA相、B相及びC相の起振力 F_r の一例を示す図である。図11は、比較例を示す。図12は、制御装置5による本実施形態の回転電機の制御方法におけるA相、B相及びC相の起振力 F_r の一例を示す図である。 $\Delta\theta_e/t$ は起振力 F_r の1周期である。図11は、本実施形態よりも回転電機の極数が多く、各相の起振力 F_r が同じ箇所に集中するとみなせる場合に、巻線4を流れる電流 I_c が矩形波となる制御におけるA相、B相及びC相における起振力 F_r の合力の一例を示している。図12は同様に、制御装置5による本実施形態の回転電機の制御方法におけるA相、B相及びC相における起振力 F_r の合力の一例を示している。図11に示される場合、A相、B相及びC相における起振力 F_r の合力は脈動が大きい。また高周波成分が多いので、機械的な共振が問題となりやすい。これに対して図12に示される、制御装置5による本実施形態の回転電機の制御方法におけるA相、B相及びC相における起振力 F_r の合力は脈動が小さいので、騒音及び振動が抑制される。また高周波成分が少ないので、機械的な共振が問題となりにくい。よって、制御装置5による本実施形態の回転電機の制御方法は、回転電機の極数が少なく、起振力 F_r が各相で独立に近い場合と、回転電機1の極数が多く、起振力 F_r が各相の合力に近い場合の両方とで、騒音及び振動が抑制される。

[0056] 回転電機1の固定子2のコア及び回転子3のコアの断面積は、少なくとも最大磁束が通過できる大きさが必要である。制御装置5及び本実施形態の回転電機の制御方法は、第2期間 $\Delta\theta_e/2$ にも巻線4に電圧を印加する制御、

及び第2期間 $\Delta\theta e2$ に最小値が規定されていない制御と比較して最大磁束が小さいので、固定子2のコア及び回転子3のコアを小型化できる。

[0057] 回転電機1の平均トルクは図6に示される鎖交磁束 ϕ と巻線4に流れる電流 I_c による軌跡で囲まれる面積（図6に示される例では実線RTで囲まれた領域、以下 ϕI_c 面積と称する）に比例する。 ϕI_c 面積の高さは、図6に示されるように、印加電圧及び第1期間 $\Delta\theta e1$ に比例するので、印加電圧又は第1期間 $\Delta\theta e1$ を増加させることで、平均トルクを増加させることができる。制御装置5及び本実施形態の回転電機の制御方法は、実線RTで囲まれた領域が、鎖交磁束 ϕ が小さい領域から充填するように巻線4に電流 I_c を流すことで、 ϕI_c 面積、すなわち平均トルクあたりの鎖交磁束 ϕ の変化量を、大幅に低減させることが可能である。

[0058] 制御装置5及び本実施形態の回転電機の制御方法は、巻線4に印加する電圧Vの1周期において、第4期間 $\Delta\theta e4$ でスイッチング素子8a, 8dのいずれもオンさせない場合には、スイッチング素子8a, 8dのオン、オフは各1回のみである。また第4期間 $\Delta\theta e4$ でスイッチング素子8a, 8dのいずれかをオンさせる場合でも、次周期の第1期間 $\Delta\theta e1$ でスイッチング素子8a, 8dのいずれかをオンさせる回数が減少するので、スイッチング素子8a, 8dのオン、オフは各1回のままであるとみなせる。このため、制御装置5及び本実施形態の回転電機の制御方法は、駆動装置6のスイッチング損失を最小値に近づけることが可能なので、駆動装置6を高効率に制御できる。また、スイッチングに伴う磁束変動や ϕI_c 面積の減少も除去できるため、回転電機1の鉄損をさらに低減可能である。

[0059] 第1期間 $\Delta\theta e1$ を長くすることにより、第2期間 $\Delta\theta e2$ における鎖交磁束 ϕ が増加するので、回転電機1が発生するトルクが大きくなる。このため、第2期間 $\Delta\theta e2$ を設定した場合でも、トルクを大きくするために第1期間 $\Delta\theta e1$ を長くし過ぎると、第2期間 $\Delta\theta e2$ が短くなる。すなわち、巻線4に印加する電圧Vの1周期において、環流の期間が短くなるため、鎖交磁束 ϕ が一定の期間が短くなる。その結果、磁束が変化しない期間が減少

して回転電機 1 の鉄損が増加する。また最大磁束が増加するので、固定子 2 のコア及び回転子 3 のコアが大きくなる。このため、本実施形態では、第 2 期間 $\Delta \theta_e 2$ に最小値を設けることにより、高トルク時においても環流の期間及び鎖交磁束 ϕ が一定となる期間を確保して、回転電機 1 の鉄損の増加を抑制する。

[0060] スイッチトリラクタンスモータについては、先行技術として多くの電流波形が提案されているが、複雑な電流波形を生成する場合には、直流電源の電圧及びスイッチング周波数を十分に高く設定する必要がある。また、すべての回転速度及びトルクにおいて、電流波形を確実に生成できることを確認するためには、多大な労力を必要とする。本実施形態は、すべての回転速度及びトルクにおいて、簡易な制御ロジックのみで、駆動条件の範囲内で実現可能な高効率かつ低騒音な電流波形を、確実に生成できる。また、本実施形態は、直流電源の電圧が変動した場合においても、各期間で印加する電圧と印加時間の積を変動前と同程度とするように、各期間の長さを調整することで、容易に補正が可能である。

[0061] 図 13 は、本実施形態に係る制御装置 5 が回転電機 1 を制御したときの各相を流れる電流 i_c の一例を示す図である。制御装置 5 及び本実施形態の回転電機の制御方法では、第 1 期間 $\Delta \theta_e 1$ と第 2 期間 $\Delta \theta_e 2$ との和 $\Delta \theta_e t$ が第 2 の値、本実施形態では巻線 4 に印加する電圧 V の 1 周期を回転電機 1 の相数で除した値とすることが好ましい。回転電機 1 が 3 相である場合、第 1 期間 $\Delta \theta_e 1$ と第 2 期間 $\Delta \theta_e 2$ との和である $\Delta \theta_e t$ は、電気角で 120 度となる。本実施形態において、第 1 期間 $\Delta \theta_e 1$ は励磁の期間であり、第 2 期間 $\Delta \theta_e 2$ は環流の期間なので、励磁の期間と環流の期間との和 $\Delta \theta_e t$ が、巻線 4 に印加する電圧 V の 1 周期を回転電機 1 の相数で除した値になる。

[0062] 3 相の回転電機 1 においては、A 相と B 相と C 相との位相が電気角で 120 度ずれている。第 1 期間 $\Delta \theta_e 1$ と第 2 期間 $\Delta \theta_e 2$ との和 $\Delta \theta_e t$ が、巻線 4 に印加する電圧 V の 1 周期を回転電機 1 の相数で除した値となること

で、A相の第3期間 $\Delta \theta e 3$ とB相の第1期間 $\Delta \theta e 1$ とが重なり、B相の第3期間 $\Delta \theta e 3$ とC相の第1期間 $\Delta \theta e 1$ とが重なり、C相の第3期間 $\Delta \theta e 3$ とA相の第1期間 $\Delta \theta e 1$ とが重なる。すなわち、A相の消磁のタイミングとB相の励磁のタイミングとが重なり、B相の消磁のタイミングとC相の励磁のタイミングとが重なり、C相の消磁のタイミングとA相の励磁のタイミングとが重なる。このようにすると、回転電機1全体の磁束の合計が一定となる。鉄損は磁束変化によって発生するので、回転電機1全体の磁束の合計を一定とすることで、各相の磁束変化の一部が回転子3及び固定子2で打ち消し合い、その結果、回転電機1の鉄損は低減される。

[0063] 第1期間 $\Delta \theta e 1$ と第2期間 $\Delta \theta e 2$ との和 $\Delta \theta e t$ が、巻線4に印加する電圧Vの1周期を回転電機1の相数で除した値に定められている場合、第1期間 $\Delta \theta e 1$ を長くすると相対的に第2期間 $\Delta \theta e 2$ は短くなる。このため、前述したように、第2期間 $\Delta \theta e 2$ に最小値を設けることにより、環流の期間及び鎖交磁束 ϕ が一定となる期間を確保して、回転電機1の鉄損の増加及び騒音の増加を抑制できる。

[0064] 第1期間 $\Delta \theta e 1$ と第2期間 $\Delta \theta e 2$ との和 $\Delta \theta e t$ を、巻線4に印加する電圧Vの1周期を回転電機1の相数で除した値とする場合、理想的には励磁と消磁とが完全に重なる。実際には巻線4の抵抗等によって、励磁のタイミングと消磁のタイミングとには僅かに誤差が発生する可能性がある。このため、制御装置5及び本実施形態の回転電機の制御方法は、前述した誤差を考慮して、第1期間 $\Delta \theta e 1$ と第2期間 $\Delta \theta e 2$ との和 $\Delta \theta e t$ を微調整してもよい。

[0065] 回転電機1のトルクを増加させるために第1期間 $\Delta \theta e 1$ を長くしていくと、第1期間 $\Delta \theta e 1$ と第2期間 $\Delta \theta e 2$ との和 $\Delta \theta e t$ が第2の値を超過する。この場合には第2期間 $\Delta \theta e 2$ を最小値に固定した状態で、第1期間 $\Delta \theta e 1$ を次第に長くしてトルクを増加させることが好ましい。この場合には、 $\Delta \theta e t$ が第2の値を超過した時点で、鎖交磁束 ϕ が既に大きな値となっている。このため励磁と消磁とが完全に重ならないことによる鎖交磁束 ϕ

の影響が、相対的には小さくなり、回転電機 1 の鉄損の増加や騒音の増加を抑制する効果が得られる。

[0066] 図 1 4 及び図 1 5 は、第 4 期間 $\Delta \theta_e 4$ が 0 となる連続通電時において、巻線 4 を流れる電流 I_c と電気角 θ_e との関係を示した図である。図 1 6 及び図 1 7 は、第 4 期間 $\Delta \theta_e 4$ が 0 となる連続通電時において、巻線 4 を流れる電流 I_c と鎖交磁束 ϕ との関係を示した図である。図 1 4 及び図 1 6 は、次周期の第 1 期間 $\Delta \theta_e 1$ の開始時における鎖交磁束 ϕ を増加させており、回転電機 1 のトルクを増加させることができる。図 1 5 及び図 1 7 は、次周期の第 1 期間 $\Delta \theta_e 1$ の開始時における鎖交磁束 ϕ を減少させており、回転電機 1 の増加させたトルクを元に戻すことができる。

[0067] 巻線 4 に印加する電圧 V の 1 周期のうち、第 1 期間 $\Delta \theta_e 1$ の開始時における鎖交磁束 ϕ が 0 よりも大きくなる場合には、電流 I_c が途絶えずに流れ続ける。これを連続通電と称する。このとき、第 4 期間 $\Delta \theta_e 4$ は図 1 4 及び図 1 5 に示されるように 0 でもよい。

[0068] 各相の巻線 4 A, 4 B, 4 C が前述の連続通電となっている状態の制御において、制御装置 5 は、第 3 期間 $\Delta \theta_e 3$ から第 4 期間 $\Delta \theta_e 4$ への切り替えを、それまでよりも、例えば前回の制御周期よりも早めることで、次周期の第 1 期間 $\Delta \theta_e 1$ の開始時における鎖交磁束 ϕ を増加できる。また第 4 期間 $\Delta \theta_e 4$ が 0 の場合には、第 3 期間 $\Delta \theta_e 3$ の最後を第 4 期間 $\Delta \theta_e 4$ に変更することで、同様に次周期の第 1 期間 $\Delta \theta_e 1$ の開始時における鎖交磁束 ϕ を増加できる。例として、図 1 4 に示される期間 $\Delta \theta_e u$ の間を第 4 期間 $\Delta \theta_e 4$ に変更することで、図 1 6 に示されるように鎖交磁束 ϕ が増加する方向（矢印 U で示される方向）に移動し、巻線 4 の鎖交磁束 ϕ と巻線 4 を流れる電流 I_c との関係も、全体として増加する方向に移動する（図 1 4 の実線から一点鎖線への移動）。その結果、 ϕI_c 面積が大きくなる。前述したように、回転電機 1 のトルクは ϕI_c 面積によって決まるので、制御装置 5 は、第 3 期間 $\Delta \theta_e 3$ と第 4 期間 $\Delta \theta_e 4$ の切り替えを早める、又は第 3 期間 $\Delta \theta_e 3$ の最後を第 4 期間 $\Delta \theta_e 4$ に変更することで回転電機 1 のトル

クを増加させることができる。

[0069] 各相の巻線 4 A, 4 B, 4 C が前述の連続通電となっている状態の制御において、前述したように鎖交磁束 ϕ が増加されている場合に、第 4 期間 $\Delta \theta e 4$ から次周期の第 1 期間 $\Delta \theta e 1$ への切り替えを、それまでよりも、例えば前回の制御周期よりも遅延させることで、次周期において鎖交磁束 ϕ の増加を元に戻すことができる。また、第 4 期間 $\Delta \theta e 4$ が 0 の場合には、次周期の第 1 期間 $\Delta \theta e 1$ の最初を第 4 期間 $\Delta \theta e 4$ に変更することで、次周期において鎖交磁束 ϕ の増加を元に戻すことができる。例として、図 15 に示される期間 $\Delta \theta e d$ の間、第 1 期間 $\Delta \theta e 1$ を第 4 期間 $\Delta \theta e 4$ に変更することで、図 17 に示されるように鎖交磁束 ϕ が減少する方向（矢印 D で示される方向）に移動し、巻線 4 の鎖交磁束 ϕ と巻線 4 を流れる電流 I_c との関係も、全体として減少する方向に移動する（図 15 の一点鎖線から実線への移動）。その結果、増加していた ϕI_c 面積が小さくなる。制御装置 5 は、第 4 期間 $\Delta \theta e 4$ と次周期の第 1 期間 $\Delta \theta e 1$ との期間の切り替えを、それまでよりも、例えば前回の制御周期よりも遅延させる、又は第 4 期間 $\Delta \theta e 4$ が 0 の場合には、次周期の第 1 期間 $\Delta \theta e 1$ の最初を第 4 期間 $\Delta \theta e 4$ に変更することで、増加させていた回転電機 1 のトルクを減少させることができる。

[0070] 本実施形態では各相の巻線 4 A, 4 B, 4 C のすべてを同様に連続通電としたが、本実施形態は全相を同様に連続通電とする場合に限定されない。例えば、巻線 4 A のみを連続通電としてもよいし、各相で鎖交磁束 ϕ の増加量が異なってもよい。

[0071] 制御装置 5 及び本実施形態の回転電機の制御方法は、励磁の開始前又は消磁の最後のみを変化させるので、回転電機 1 のトルクを決定する ϕI_c 面積の変化が鎖交磁束 ϕ 及び電流 I_c がともに 0 の付近の小さな領域のみとすることができる。その結果、制御装置 5 及び本実施形態の回転電機の制御方法は、連続通電を実行しても回転電機 1 のトルクの誤差を小さくすることができる。また、制御装置 5 及び本実施形態の回転電機の制御方法は、励磁の開

始前又は消磁の最後で巻線4に印加する電圧を0として巻線4に環流を発生させる部分を除けば、巻線4に印加する電圧の指令値は変化しない。このため、制御装置5及び本実施形態の回転電機の制御方法は、連続通電において、簡易な制御ロジックで確実にトルクを調整することができる。さらに、鎖交磁束 ϕ を調整する量は、巻線4に印加する電圧と期間 $\Delta \theta_{eu}$ 、 $\Delta \theta_{ed}$ 、すなわち還流させる期間の変化量との積となるので、制御における計算が容易になるという利点もある。さらに、制御装置5及び本実施形態の回転電機の制御方法は、連続通電においても回転電機1の磁束変化を小さくでき、かつ駆動装置6のスイッチング回数を少なくすることができるので、回転電機1及び駆動装置6の効率低下を抑制し、かつ回転電機1の騒音及び振動を抑制できる。

[0072] 制御装置5及び本実施形態の回転電機の制御方法は、鎖交磁束 ϕ を1回で調整してもよいし、複数回に分けて調整してもよい。巻線4の抵抗等によって、巻線4を流れる実際の電流 I_c と、電流 I_c の指令値とは僅かに異なる可能性がある。このため、制御装置5及び本実施形態の回転電機の制御方法は、実測した電流 I_c と電流 I_c の指令値との差が0になるように、電流 I_c の指令値をフィードバック制御することで、巻線4を流れる実際の電流 I_c と電流 I_c の指令値との差が0になるようにしてもよい。

[0073] 図18は、回転電機1の1つの相における巻線4を流れる電流 I_c と電気角 θ_e との関係を示す図である。図19は、回転電機1のA相、B相、C相の巻線4を流れる電流 I_c と電気角 θ_e との関係を示す図である。図20は、回転電機1の回転速度を一定としてトルクを変化させたときの結果の一例を、還流の midpoint における鎖交磁束 ϕ と巻線4を流れる電流 I_c との関係で表した図である。

[0074] 本実施形態において、制御装置5及び本実施形態の回転電機の制御方法は、回転電機1の回転速度及びトルクの少なくとも一方を変更する場合、第2期間 $\Delta \theta_{e2}$ の midpoint $\Delta \theta_{e2c}$ の単位トルクあたりの変化量及び単位回転速度あたりの変化量に制限を設ける。第2期間 $\Delta \theta_{e2}$ の midpoint $\Delta \theta_{e2c}$ は、

図18に示されるように、第2期間 $\Delta\theta_{e2}$ の開始時点の角度 θ_{es} と、第2期間 $\Delta\theta_{e2}$ の終了時点の角度 θ_{ef} との中間の角度である。中点 $\Delta\theta_{e2c}$ は、 $(\theta_{es} + \theta_{ef}) / 2$ で求めることができる。角度 θ_{es} 、 θ_{ef} は、第2期間 $\Delta\theta_{e2}$ を決定するための指令値なので、制御装置5は、第2期間 $\Delta\theta_{e2}$ の中点 $\Delta\theta_{e2c}$ を簡易に求めることができる。

[0075] 本実施形態において、制御装置5は、第2期間 $\Delta\theta_{e2}$ の中点 $\Delta\theta_{e2c}$ の単位トルクあたりの変化量を、例えば1度/Nmとしたり、単位回転速度あたりの変化量を、例えば0.1度/rpm (revolution per minute) としたりすることができる。単位トルクあたりの変化量及び単位回転速度あたりの変化量は、この例に限定されない。制御装置5は、回転電機1の回転速度及びトルクの少なくとも一方を変更する場合、第2期間 $\Delta\theta_{e2}$ の中点 $\Delta\theta_{e2c}$ の単位トルクあたりの変化量を前述した変化量以下とすることにより、第2期間 $\Delta\theta_{e2}$ の中点 $\Delta\theta_{e2c}$ の単位トルクあたりの変化量に制限を設ける。

[0076] このようにすることで、第2期間 $\Delta\theta_{e2}$ の中点 $\Delta\theta_{e2c}$ は、回転電機1の回転速度及びトルクの少なくとも一方が変化した場合に、急変が抑制される。その結果、回転電機1の回転速度及びトルクの少なくとも一方が変化した場合でも、巻線4の励磁の期間と消磁の期間とが安定して一定量重複するので、回転電機1の効率低下及び騒音が抑制され、結果として回転電機1は高効率かつ低騒音となる。また、制御装置5は、中点 $\Delta\theta_{e2c}$ を基準にすることにより、第2期間 $\Delta\theta_{e2}$ の長さが変化しても、巻線4の励磁の期間と消磁の期間とを一定量重複させて、回転電機1の効率低下及び騒音が抑制されるので、結果として回転電機1は高効率かつ低騒音となる。

[0077] 本実施形態において、制御装置5は、A相、B相及びC相の第2期間 $\Delta\theta_{e2_A}$ 、 $\Delta\theta_{e2_B}$ 、 $\Delta\theta_{e2_C}$ の中点 $\Delta\theta_{e2c_A}$ 、 $\Delta\theta_{e2c_B}$ 、 $\Delta\theta_{e2c_C}$ の単位トルクあたりの変化量及び単位回転速度あたりの変化量に制限を設ける。すると、回転電機1の回転速度及びトルクの少なくとも一方が変化した場合に、期間 θ_{eA} と期間 θ_{eB} との差の急変が抑制

される。期間 $\theta e A$ は、A相の第2期間 $\Delta \theta e 2$ の中点 $\Delta \theta e 2 c$ A とB相の第2期間 $\Delta \theta e 2$ Bの中点 $\Delta \theta e 2 c$ Bとの間の期間であり、 $\theta e B$ は、B相の第2期間 $\Delta \theta e 2$ Bの中点 $\Delta \theta e 2 c$ BとC相の第2期間 $\Delta \theta e 2$ Cの中点 $\Delta \theta e 2 c$ Cとの間の期間である。

[0078] その結果、回転電機1が定常状態である場合に限らず、回転電機1が過渡応答時である場合においても、巻線4の励磁の期間と消磁の期間とを安定して重ねることができる。その結果、回転電機1全体の磁束変動が抑制されるので、回転電機1の効率低下及び騒音が抑制され、結果として回転電機1は高効率かつ低騒音となる。

[0079] 図20に示されるように、回転電機1が同じ回転速度の状態でトルクが変化すると、第2期間 $\Delta \theta e 2$ の中点 $\Delta \theta e 2 c$ を示す $T1$, $T2$, $T3$, $T4$ は、単調増加の曲線CV上にプロットされる。 $T1$ のトルク< $T2$ のトルク< $T3$ のトルク< $T4$ のトルクである。回転速度が変化した場合、制御装置5は、第2期間 $\Delta \theta e 2$ の中点 $\Delta \theta e 2 c$ を変化させなくてもよいし、変化させてもよい。例えば、制御装置5は、第2期間 $\Delta \theta e 2$ の中点 $\Delta \theta e 2 c$ を固定又は単位トルクあたりの変化量及び単位回転速度あたりの変化量に制限を設けて、第2期間 $\Delta \theta e 2$ のみを変化させてもよい。

[0080] 本実施形態に係る回転電機の制御方法及びこれを実現する回転電機の制御装置の例を説明したが、本実施形態ではスイッチング素子の最大電流定格は十分に大きい場合について説明した。本実施形態に係る回転電機の制御方法等の適用対象は、スイッチング素子の最大電流定格が十分に大きい場合に限定されない。図6に示されるように、本実施形態における最大電流は、第2期間 $\Delta \theta e 2$ の鎖交磁束 ϕ が一定となる直線部の右端で発生する。このため、スイッチング素子の最大電流定格が不足した場合に、例えば第2期間 $\Delta \theta e 2$ の鎖交磁束 ϕ が一定となる直線部の右端でスイッチングを追加することで、最大電流をスイッチング素子の定格以内に保持してもよい。この場合、図6の直線部の右端における、微小な領域のみが変化するため、回転電機1は前述のように高効率かつ低騒音な制御を維持できる。

[0081] <作業機械に対する適用例>

図 2 1 は、本実施形態に係る回転電機の制御方法を実現する回転電機の制御装置を備えた作業機械の一例を示す図である。次においては、作業機械として、ハイブリッド油圧ショベル 1 0 を例として説明するが、本実施形態に係る回転電機の制御方法及びこれを実現する制御装置 5 の適用対象は、ハイブリッド油圧ショベル 1 0 に限定されるものではなく、ハイブリッドホイールローダー又は電気式ダンプトラック等であってもよい。

[0082] ハイブリッド油圧ショベル 1 0 は、駆動源としてのエンジン 1 7、油圧ポンプ 1 8 及び回転電機 1 を有する。回転電機 1 は、発電機及び電動機として機能する。回転電機 1 は、SRM である。エンジン 1 7 としてディーゼルエンジンが用いられ、油圧ポンプ 1 8 として可変容量型油圧ポンプが用いられる。エンジン 1 7 の駆動軸 2 0 には、油圧ポンプ 1 8 及び回転電機 1 が機械的に連結されており、エンジン 1 7 が回転することで、油圧ポンプ 1 8 及び回転電機 1 が回転する。

[0083] ハイブリッド油圧ショベル 1 0 の油圧駆動系は、操作弁 3 3、ブーム用油圧シリンダ 1 4、アーム用油圧シリンダ 1 5、バケット用油圧シリンダ 1 6、右走行用油圧モータ 3 4 及び左走行用油圧モータ 3 5 等を有している。油圧ポンプ 1 8 は、油圧駆動系への作動油供給源となってこれらの油圧機器を駆動する。

[0084] 電気駆動系は、第 1 駆動装置 2 1 と、第 2 駆動装置 2 2 と、昇圧器 2 6 と、蓄電装置 2 5 と、旋回モータ 2 3 等を含む。第 1 駆動装置 2 1 は、回転電機 1 にパワーケーブルを介して接続される。第 2 駆動装置 2 2 は、第 1 駆動装置 2 1 にバスバー等の大電流用配線を介して接続される。昇圧器 2 6 は、第 1 駆動装置 2 1 と第 2 駆動装置 2 2 との間に、バスバー等の大電流用配線を介して設けられる。蓄電装置 2 5 は、昇圧器 2 6 に接続される。旋回モータ 2 3 は、第 2 駆動装置 2 2 にパワーケーブルを介して接続される。本実施形態において、第 1 駆動装置 2 1 及び第 2 駆動装置 2 2 は、例えば、インバータ内部の構成部品として設置される。

[0085] 旋回モータ 23 は、機械的にスイングマシナリ 24 に連結している。回転電機 1 が発電した電力及び蓄電装置 25 に蓄えられた電力の少なくとも一方が旋回モータ 23 を駆動させる電力となる。旋回モータ 23 は、回転電機 1 と蓄電装置 25 との少なくとも一方から供給される電力で駆動されて力行動作することで上部旋回体 28 を旋回させる。また、旋回モータ 23 は、上部旋回体 28 が旋回減速する際に回生動作し、その回生動作により発電された電力（回生エネルギー）を蓄電装置 25 に供給（充電）、又は回転電機 1 を電動機として使用する場合の電力として供給する。

[0086] 回転電機 1 は、エンジン 17 によって駆動されて発電した電力を蓄電装置 25 に供給（充電）するとともに、状況に応じて旋回モータ 23 に電力を供給する。回転電機 1 は、エンジン 17 の出力が不足する場合は電動機として機能し、エンジン 17 の出力をアシストする。本実施形態において、回転電機 1 は SRM である。回転電機 1 は、シャフトがエンジン 17 の駆動軸 20 に機械的に結合されている。このような構造により、回転電機 1 は、エンジン 17 の駆動によって回転電機 1 の回転子 3 が回転し、発電、又はアシストする。

[0087] 昇圧器 26 は、回転電機 1 及び旋回モータ 23 と蓄電装置 25 との間に設けられる。昇圧器 26 は、第 1 駆動装置 21 又は第 2 駆動装置 22 を介して回転電機 1 又は旋回モータ 23 に供給される電力（蓄電装置 25 に蓄えられた電気エネルギー）の電圧を昇降圧する。昇降圧された電圧は、旋回モータ 23 を力行動作（旋回加速）させる際には旋回モータ 23 に印加され、エンジン 17 の出力をアシストする際には回転電機 1 へ印加される。

[0088] 回転電機 1 及び旋回モータ 23 は、ハイブリッドコントローラ C2 による制御のもと、それぞれ第 1 駆動装置 21 及び第 2 駆動装置 22 によって回転速度又はトルクが制御される。ハイブリッドコントローラ C2 は、本実施形態に係る回転電機の制御方法を実行して、回転電機 1 を制御する。このように、ハイブリッドコントローラ C2 は、本実施形態に係る回転電機の制御装置として機能する。ハイブリッドコントローラ C2 は、回転電機 1 のみなら

ず、任意の機器を併せて制御してもよい。

[0089] ハイブリッドコントローラC2は、蓄電装置25の充電量（蓄電装置25の電圧等）を監視して、回転電機1が発電する電力を蓄電装置25へ供給（充電）するか、旋回モータ23へ供給（力行作用のための電力供給）するかといったエネルギー管理を実行する。

[0090] 蓄電装置25は、前述したように、回転電機1が発電した電力を蓄電する。また、蓄電装置25は、上部旋回体28が旋回減速する際に旋回モータ23が回生動作することによって発電された電力を蓄電する。さらに、旋回モータ23としては、例えば、永久磁石式同期回転電機が用いられるが、これに限定されるものではない。例えば、旋回モータ23にもSRMを用いてもよい。

[0091] コントローラC1は、CPU（Central Processing Unit）等の演算装置及びメモリ（記憶装置）を組み合わせたものであり、例えば、マイクロコンピュータである。コントローラC1は、エンジン17及び油圧ポンプ18を制御する。エンジン17は、コントローラC1によって燃料噴射量が適切に制御されることで、目標とするエンジン出力を得ることが可能である。すなわち、コントローラC1は、ハイブリッド油圧ショベル10の負荷状態に応じて、エンジン17の回転速度及び出力可能なトルクを設定して、エンジン17を駆動する。

[0092] ハイブリッドコントローラC2は、CPU等の演算装置及びメモリ（記憶装置）を組み合わせたものであり、例えば、マイクロコンピュータである。ハイブリッドコントローラC2は、コントローラC1との協調制御のもと、前述したように第1駆動装置21、第2駆動装置22及び昇圧器26を制御して、回転電機1、旋回モータ23及び蓄電装置25の電力の授受を制御する。ハイブリッドコントローラC2は、本実施形態に係る回転電機の制御方法の処理手順をマイクロコンピュータに実行させるためのコンピュータプログラムを記憶装置に記憶している。ハイブリッドコントローラC2は、本実施形態に係る回転電機の制御方法を実行する場合、前述したコンピュータプ

プログラムを記憶装置から読み出し、これに記述されている命令を実行することにより、本実施形態に係る回転電機の制御方法によって回転電機 1 を制御する。

[0093] ハイブリッド油圧ショベル 10 は、本実施形態に係る回転電機の制御装置として機能するハイブリッドコントローラ C 2 を有するので、回転電機 1 の効率低下及び騒音を抑制できるので、結果として回転電機を高効率かつ低騒音で制御できる。回転電機 1、エンジン 17 及び油圧ポンプ 18 は、ハイブリッド油圧ショベル 10 の車体内に搭載されるが、車体内のスペースには限りがあるため、回転電機 1 の大きさは極力小さい方が好ましい。本実施形態に係る回転電機の制御装置によって制御される回転電機 1 は、前述したように固定子 2 のコア及び回転子 3 のコアが小型化できるので、回転電機 1 も小型化できる。このため、本実施形態に係る回転電機の制御装置及びこれによって制御される回転電機 1 は、ハイブリッド油圧ショベル 10 に好適である。

[0094] 本実施形態に係る回転電機の制御方法及びこれを実現する回転電機の制御装置を作業機械に適用した例を説明したが、本実施形態に係る回転電機の制御方法等の適用対象はこれに限定されない。本実施形態に係る回転電機の制御方法等は、例えば、電動自動車等の電動車両の走行用回転電機又は圧縮機若しくはポンプの駆動用回転電機等に適用されてもよい。

[0095] 以上、本実施形態を説明したが、前述した内容により本実施形態が限定されるものではない。本実施形態の構成要素には、当業者が容易に想定できるもの、実質的に同一のもの、いわゆる均等の範囲のものが含まれる。さらに、本実施形態の構成要素は適宜組み合わせることが可能である。さらに、本実施形態の要旨を逸脱しない範囲で本実施形態の構成要素の種々の省略、置換又は変更を行うことができる。

符号の説明

- [0096] 1 回転電機
2 固定子

2 T ティース

3 回転子

3 T, 3 T a, 3 T b ティース

4, 4 A, 4 B, 4 C 巻線

5 制御装置

6 駆動装置

7 駆動部

7 A 第1 駆動部

7 B 第2 駆動部

7 C 第3 駆動部

9 電源

10 ハイブリッド油圧ショベル

11 回転角度センサ

12 A, 12 B, 12 C 電流センサ

13 電圧センサ

C2 ハイブリッドコントローラ

$\Delta \theta e 1$ 第1 期間

$\Delta \theta e 2$, $\Delta \theta e 2_A$, $\Delta \theta e 2_B$, $\Delta \theta e 2_C$ 第2 期間

$\Delta \theta e 2 c$, $\Delta \theta e 2 c_A$, $\Delta \theta e 2 c_B$, $\Delta \theta e 2 c_C$ 第2 期間

の midpoint

$\Delta \theta e 3$ 第3 期間

$\Delta \theta e 4$ 第4 期間

請求の範囲

- [請求項1] 2相以上の回転電機を制御するにあたり、
- 前記回転電機が有する各相の巻線に、第1の電圧を印加して鎖交磁束を増加させる第1期間、前記第1期間の後に前記巻線に印加する電圧を0として前記鎖交磁束を保持する第2期間、前記第2期間の後に前記巻線に前記第1の電圧とは反対方向に第2の電圧を印加して前記鎖交磁束を減少させる第3期間、及び前記第3期間から次周期の前記第1期間まで前記巻線に印加する電圧を0として前記鎖交磁束を保持する第4期間を1周期とする電圧を印加するとともに、
- 前記第2期間を、第1の値から、前記第1の値よりも大きく、かつ前記1周期を前記回転電機の相数で除した第2の値の間の値に制御する、
- 回転電機の制御装置。
- [請求項2] 前記第1期間と前記第2期間との和が前記第2の値となる、請求項1に記載の回転電機の制御装置。
- [請求項3] 前記第1期間と前記第2期間との和が前記第2の値を超過する場合には、前記第2期間を前記第1の値に固定する、請求項1に記載の回転電機の制御装置。
- [請求項4] 前記第1期間の開始時における鎖交磁束が0よりも大きく、前記巻線に連続して電流が流れる状態の制御において、前記第1期間の開始時における鎖交磁束を増加させる場合に、前記第3期間から前記第4期間への切り替えを早める、又は前記第4期間が0の場合には、前記第3期間の最後を前記第4期間に変更する、請求項1に記載の回転電機の制御装置。
- [請求項5] 前記第1期間の開始時における鎖交磁束が0よりも大きく、前記巻線に連続して電流が流れる状態の制御において、前記第1期間の開始時における鎖交磁束を減少させる場合に、前記第4期間から次周期の前記第1期間への切り替えを遅延させる、又は前記第4期間が0の場合

合には、次周期の前記第 1 期間の最初を前記第 4 期間に変更する、請求項 4 に記載の回転電機の制御装置。

[請求項6] 前記回転電機の回転速度及びトルクの少なくとも一方を変更する場合、前記第 2 期間の midpoint の単位トルクあたりの変化量及び単位回転速度あたりの変化量に制限を設ける、請求項 1 から請求項 5 のいずれか 1 項に記載の回転電機の制御装置。

[請求項7] 前記 2 相以上の回転電機である 2 相以上のスイッチトリラクタンスモータと、

請求項 1 から請求項 6 のいずれか 1 項に記載の回転電機の制御装置と、

を含む、作業機械。

[請求項8] 2 相以上の回転電機を制御するにあたり、

前記回転電機が有する各相の巻線に、第 1 の電圧を印加して鎖交磁束を増加させる第 1 期間、前記第 1 期間の後に前記巻線に印加する電圧を 0 として前記鎖交磁束を保持する第 2 期間、前記第 2 期間の後に前記巻線に前記第 1 の電圧とは反対方向に第 2 の電圧を印加して前記鎖交磁束を減少させる第 3 期間、及び前記第 3 期間から次周期の前記第 1 期間まで前記巻線に印加する電圧を 0 として前記鎖交磁束を保持する第 4 期間を 1 周期とする電圧を印加し、

前記第 2 期間を、第 1 の値から、前記第 1 の値よりも大きく、かつ前記 1 周期を前記回転電機の相数で除した第 2 の値の間の値に制御する、

回転電機の制御方法。

[請求項9] 前記第 1 期間と前記第 2 期間との和が前記第 2 の値となる、請求項 8 に記載の回転電機の制御方法。

[請求項10] 前記第 1 期間と前記第 2 期間との和が前記第 2 の値を超過する場合には、前記第 2 期間を前記第 1 の値に固定する、請求項 8 に記載の回転電機の制御方法。

- [請求項11] 前記第1期間の開始時における鎖交磁束が0よりも大きく、前記巻線に連続して電流が流れる状態の制御において、前記第1期間の開始時における鎖交磁束を増加させる場合に、前記第3期間から前記第4期間への切り替えを早める、又は前記第4期間が0の場合には、前記第3期間の最後を前記第4期間に変更する、請求項8に記載の回転電機の制御方法。
- [請求項12] 前記第1期間の開始時における鎖交磁束が0よりも大きく、前記巻線に連続して電流が流れる状態の制御において、前記第1期間の開始時における鎖交磁束を減少させる場合に、前記第4期間から次周期の前記第1期間への切り替えを遅延させる、又は前記第4期間が0の場合には、次周期の前記第1期間の最初を前記第4期間に変更する、請求項11に記載の回転電機の制御方法。
- [請求項13] 前記回転電機の回転速度及びトルクの少なくとも一方を変更する場合、前記第2期間の midpoint の単位トルクあたりの変化量及び単位回転速度あたりの変化量に制限を設ける、請求項8から請求項12のいずれか1項に記載の回転電機の制御方法。

補正された請求の範囲
[2017年5月22日 (22.05.2017) 国際事務局受理]

[請求項 1] (補正後) 2 相以上の回転電機を制御するにあたり、

前記回転電機が有する各相の巻線に、第 1 の電圧を継続して印加して鎖交磁束を増加させる第 1 期間、前記第 1 期間の後に前記巻線に印加する電圧を 0 として前記鎖交磁束を保持する第 2 期間、前記第 2 期間の後に前記巻線に前記第 1 の電圧とは反対方向に第 2 の電圧を印加して前記鎖交磁束を減少させる第 3 期間、及び前記第 3 期間から次周期の前記第 1 期間まで前記巻線に印加する電圧を 0 として前記鎖交磁束を保持する第 4 期間を 1 周期とする電圧を印加するとともに、

前記第 2 期間を、第 1 の値から、前記第 1 の値よりも大きく、かつ前記 1 周期を前記回転電機の相数で除した第 2 の値の間の値に制御する、

回転電機の制御装置。

[請求項 2] 前記第 1 期間と前記第 2 期間との和が前記第 2 の値となる、請求項 1 に記載の回転電機の制御装置。

[請求項 3] 前記第 1 期間と前記第 2 期間との和が前記第 2 の値を超過する場合には、前記第 2 期間を前記第 1 の値に固定する、請求項 1 に記載の回転電機の制御装置。

[請求項 4] 前記第 1 期間の開始時における鎖交磁束が 0 よりも大きく、前記巻線に連続して電流が流れる状態の制御において、前記第 1 期間の開始時における鎖交磁束を増加させる場合に、前記第 3 期間から前記第 4 期間への切り替えを早める、又は前記第 4 期間が 0 の場合には、前記第 3 期間の最後を前記第 4 期間に変更する、請求項 1 に記載の回転電機の制御装置。

[請求項 5] 前記第 1 期間の開始時における鎖交磁束が 0 よりも大きく、前記巻線に連続して電流が流れる状態の制御において、前記第 1 期間の開始時における鎖交磁束を減少させる場合に、前記第 4 期間から次周期の前記第 1 期間への切り替えを遅延させる、又は前記第 4 期間が 0 の場

合には、次周期の前記第 1 期間の最初を前記第 4 期間に変更する、請求項 4 に記載の回転電機の制御装置。

[請求項 6] 前記回転電機の回転速度及びトルクの少なくとも一方を変更する場合、前記第 2 期間の midpoint の単位トルクあたりの変化量及び単位回転速度あたりの変化量に制限を設ける、請求項 1 から請求項 5 のいずれか 1 項に記載の回転電機の制御装置。

[請求項 7] 前記 2 相以上の回転電機である 2 相以上のスイッチトリラクタンスモータと、請求項 1 から請求項 6 のいずれか 1 項に記載の回転電機の制御装置と、を含む、作業機械。

[請求項 8] (補正後) 2 相以上の回転電機を制御するにあたり、

前記回転電機が有する各相の巻線に、第 1 の電圧を継続して印加して鎖交磁束を増加させる第 1 期間、前記第 1 期間の後に前記巻線に印加する電圧を 0 として前記鎖交磁束を保持する第 2 期間、前記第 2 期間の後に前記巻線に前記第 1 の電圧とは反対方向に第 2 の電圧を印加して前記鎖交磁束を減少させる第 3 期間、及び前記第 3 期間から次周期の前記第 1 期間まで前記巻線に印加する電圧を 0 として前記鎖交磁束を保持する第 4 期間を 1 周期とする電圧を印加し、

前記第 2 期間を、第 1 の値から、前記第 1 の値よりも大きく、かつ前記 1 周期を前記回転電機の相数で除した第 2 の値の間の値に制御する、

回転電機の制御方法。

[請求項 9] 前記第 1 期間と前記第 2 期間との和が前記第 2 の値となる、請求項 8 に記載の回転電機の制御方法。

[請求項 10] 前記第 1 期間と前記第 2 期間との和が前記第 2 の値を超過する場合には、前記第 2 期間を前記第 1 の値に固定する、請求項 8 に記載の回転電機の制御方法。

[請求項 1 1] 前記第 1 期間の開始時における鎖交磁束が 0 よりも大きく、前記巻線に連続して電流が流れる状態の制御において、前記第 1 期間の開始時における鎖交磁束を増加させる場合に、前記第 3 期間から前記第 4 期間への切り替えを早める、又は前記第 4 期間が 0 の場合には、前記第 3 期間の最後を前記第 4 期間に変更する、請求項 8 に記載の回転電機の制御方法。

[請求項 1 2] 前記第 1 期間の開始時における鎖交磁束が 0 よりも大きく、前記巻線に連続して電流が流れる状態の制御において、前記第 1 期間の開始時における鎖交磁束を減少させる場合に、前記第 4 期間から次周期の前記第 1 期間への切り替えを遅延させる、又は前記第 4 期間が 0 の場合には、次周期の前記第 1 期間の最初を前記第 4 期間に変更する、請求項 1 1 に記載の回転電機の制御方法。

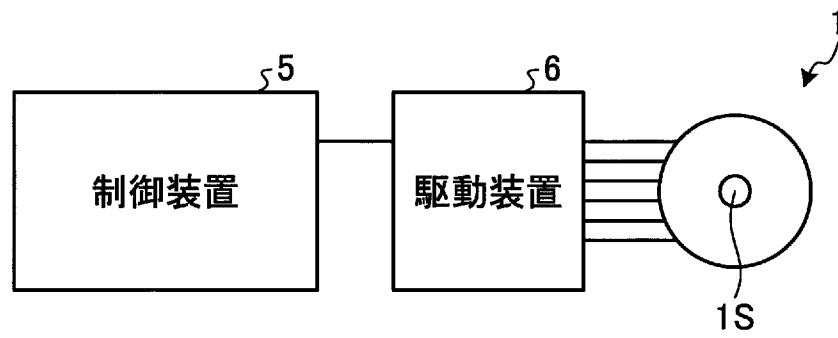
[請求項 1 3] 前記回転電機の回転速度及びトルクの少なくとも一方を変更する場合、前記第 2 期間の midpoint の単位トルクあたりの変化量及び単位回転速度あたりの変化量に制限を設ける、請求項 8 から請求項 1 2 のいずれか 1 項に記載の回転電機の制御方法。

条約第 19 条（1）に基づく説明書

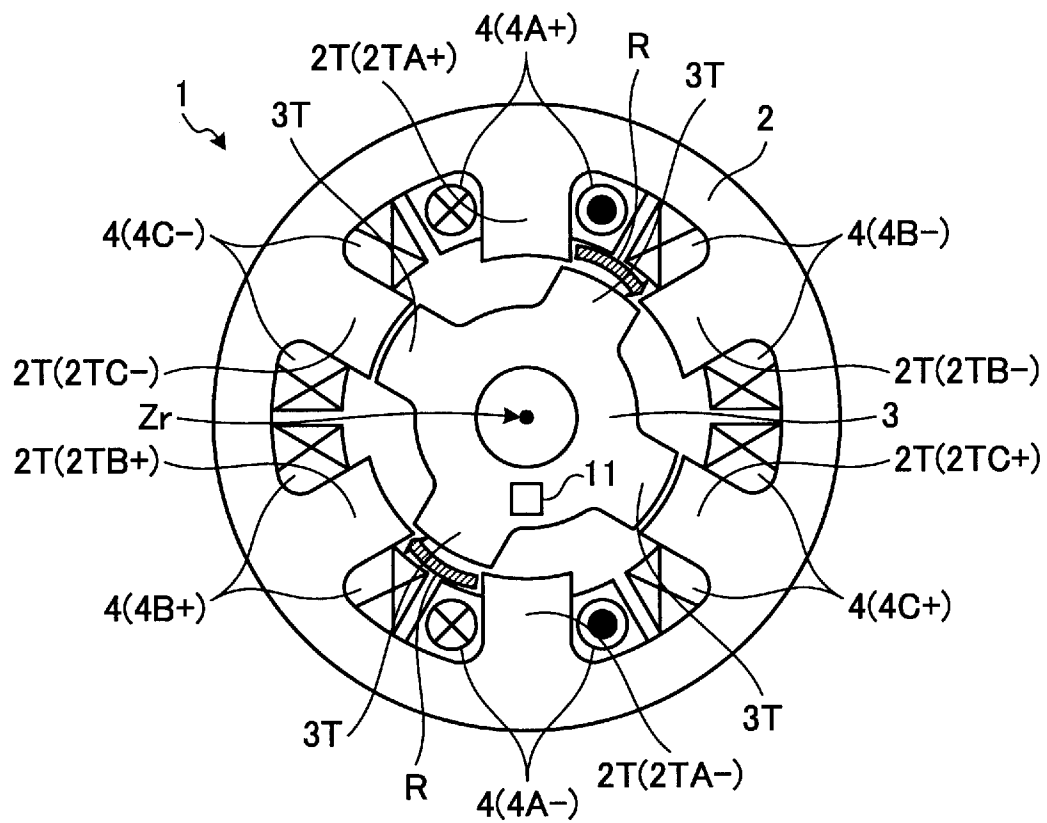
請求項 1：出願時の請求項 1 を、明細書の [0045]、[0050] を根拠として限定した。

請求項 8：出願時の請求項 8 を、明細書の [0045]、[0050] を根拠として限定した。

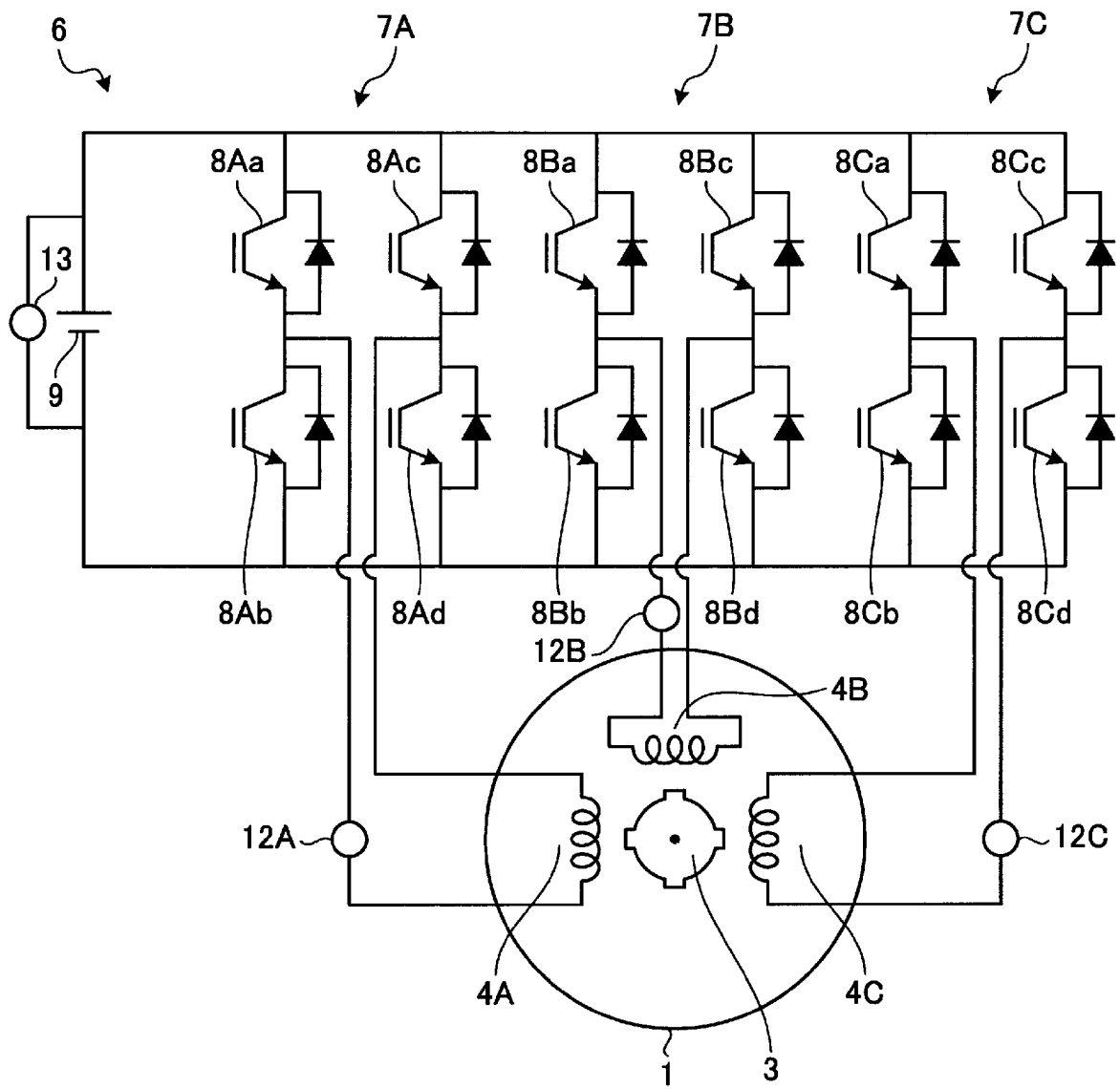
[図1]



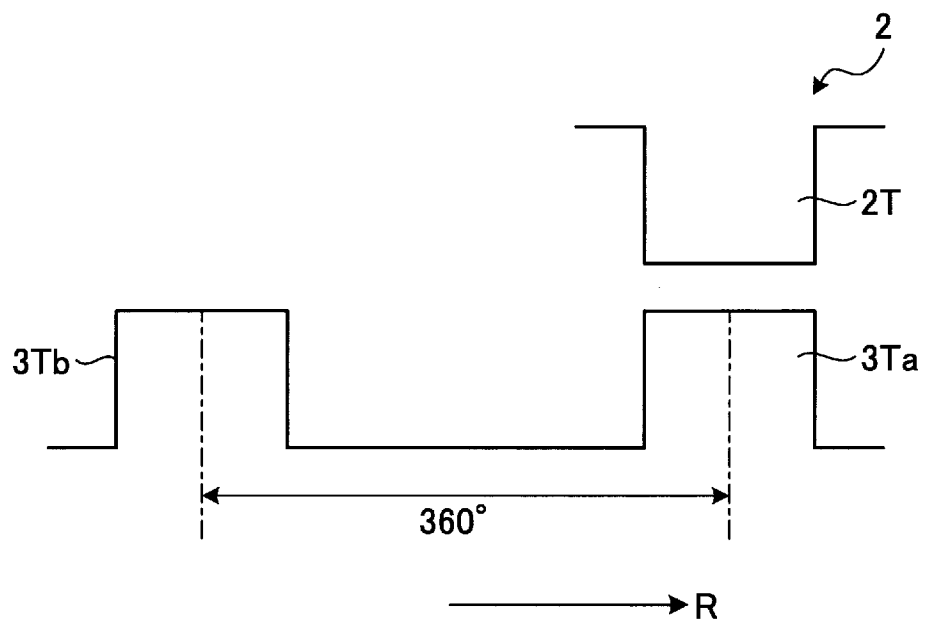
[図2]



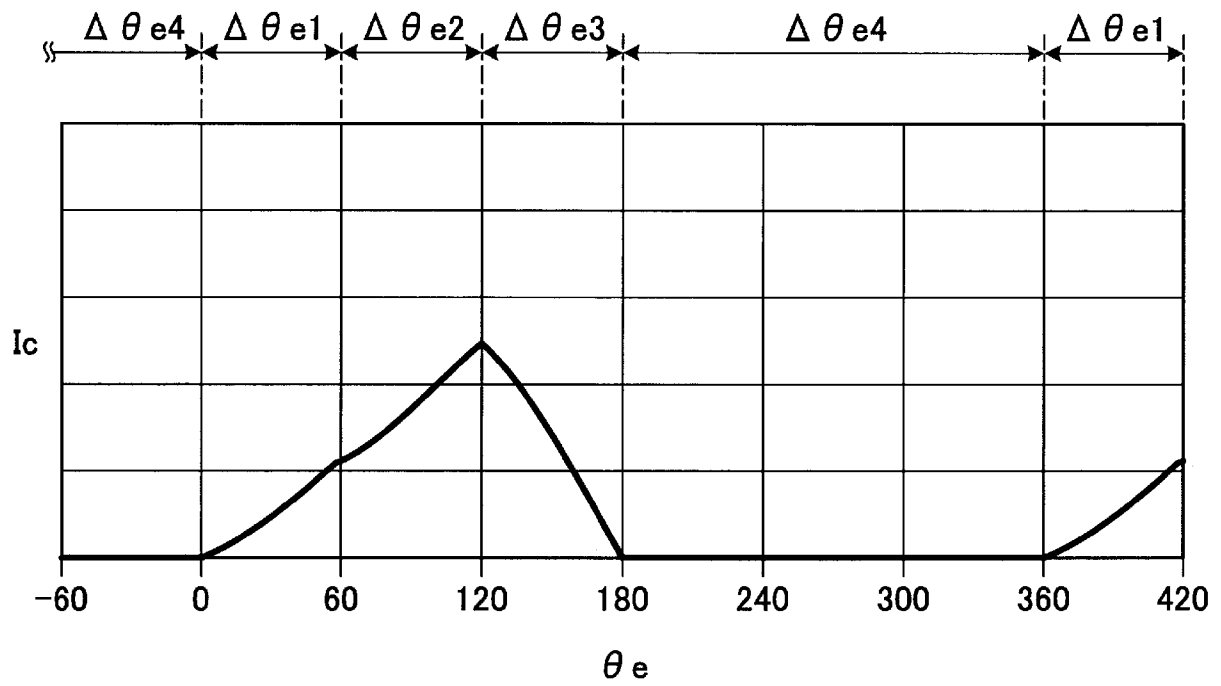
[図3]



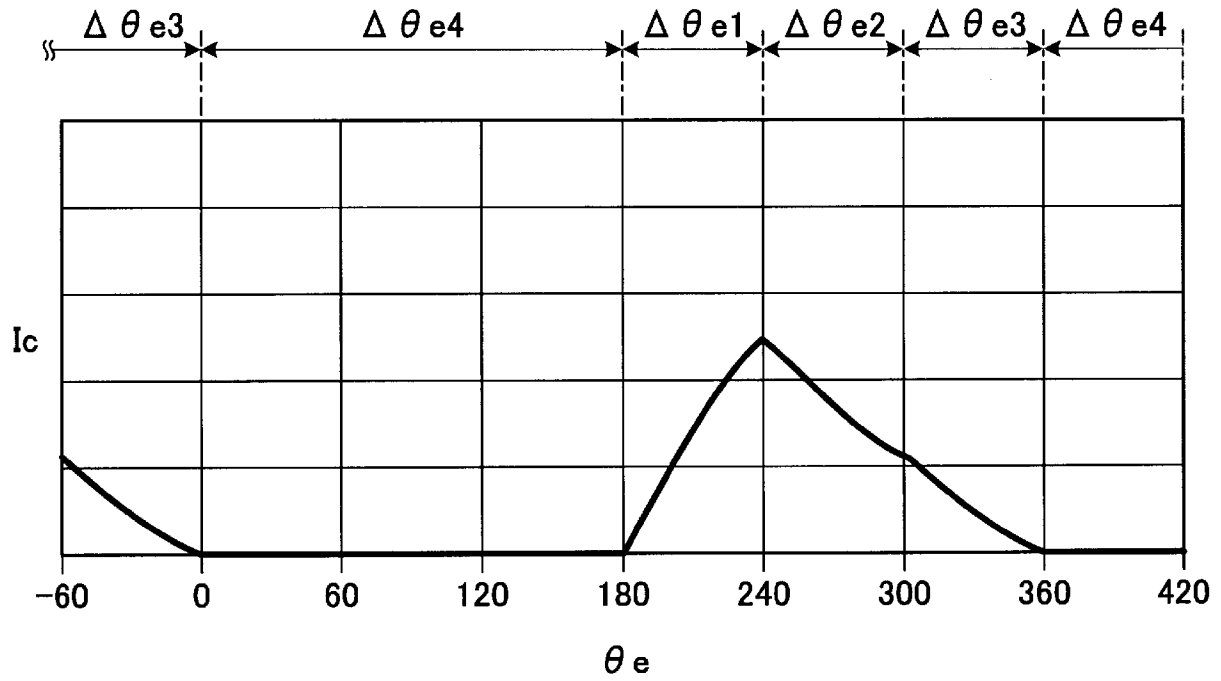
[図4]



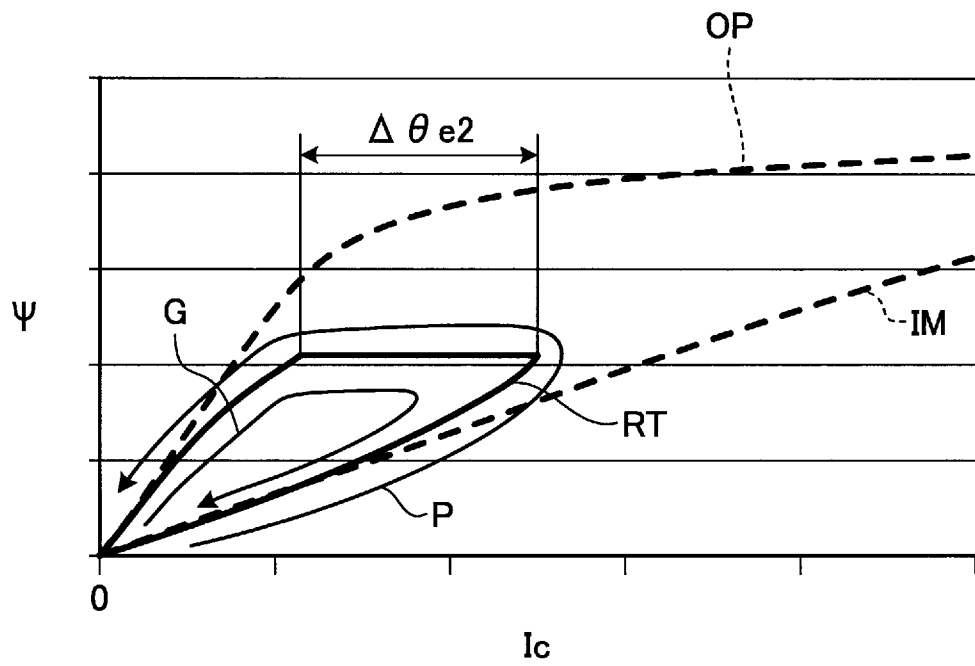
[図5-1]



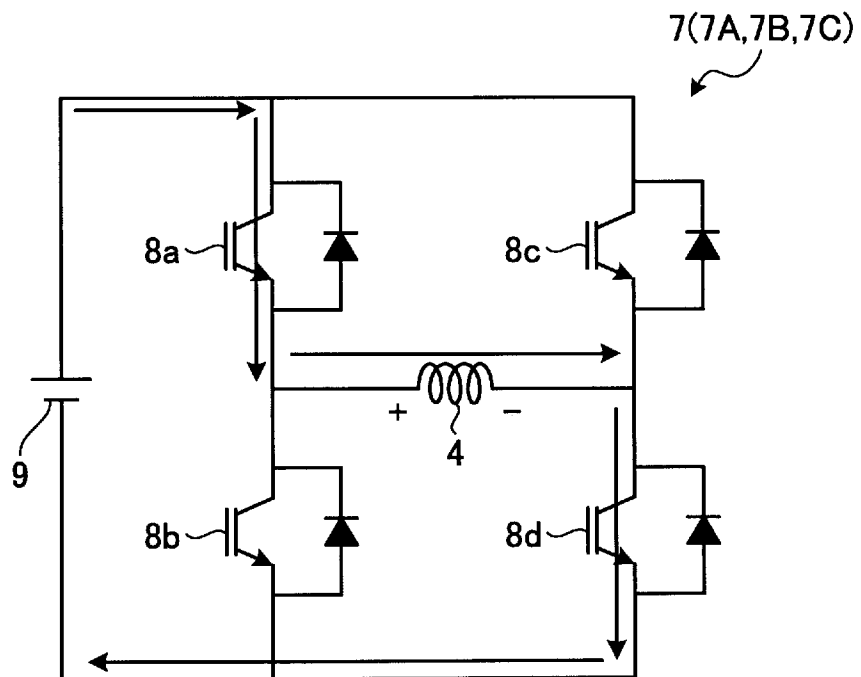
[図5-2]



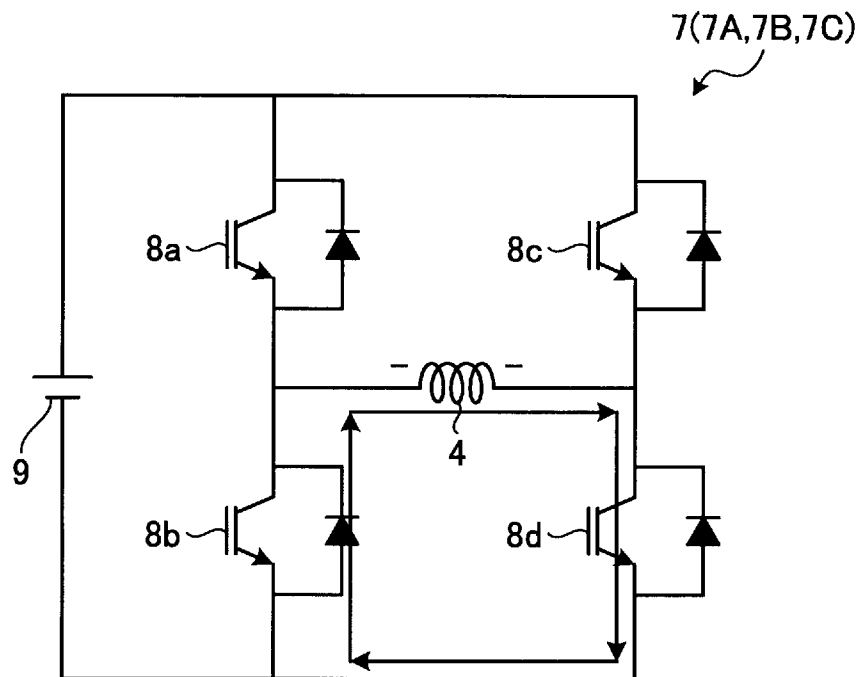
[図6]



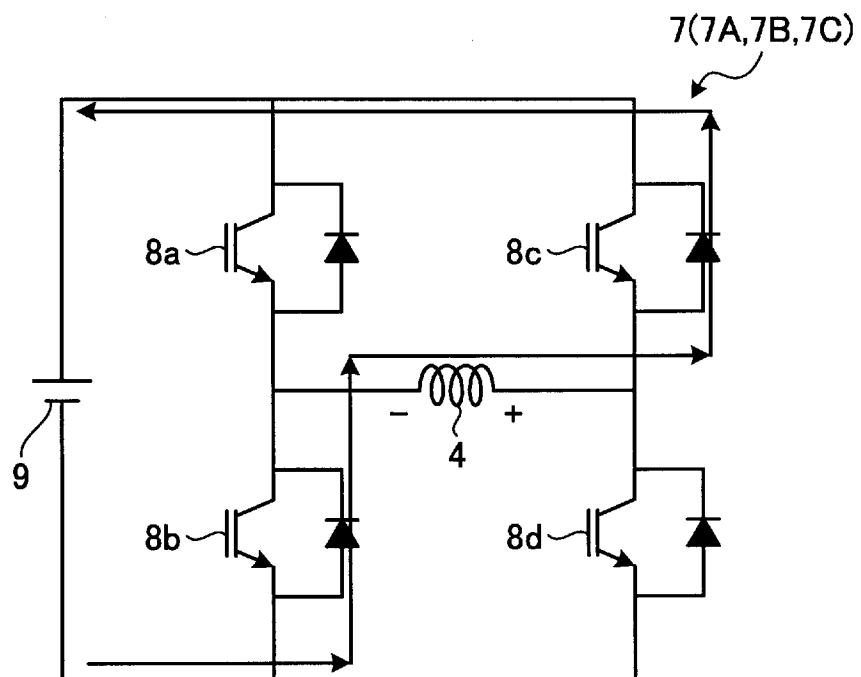
[図7]



[図8]

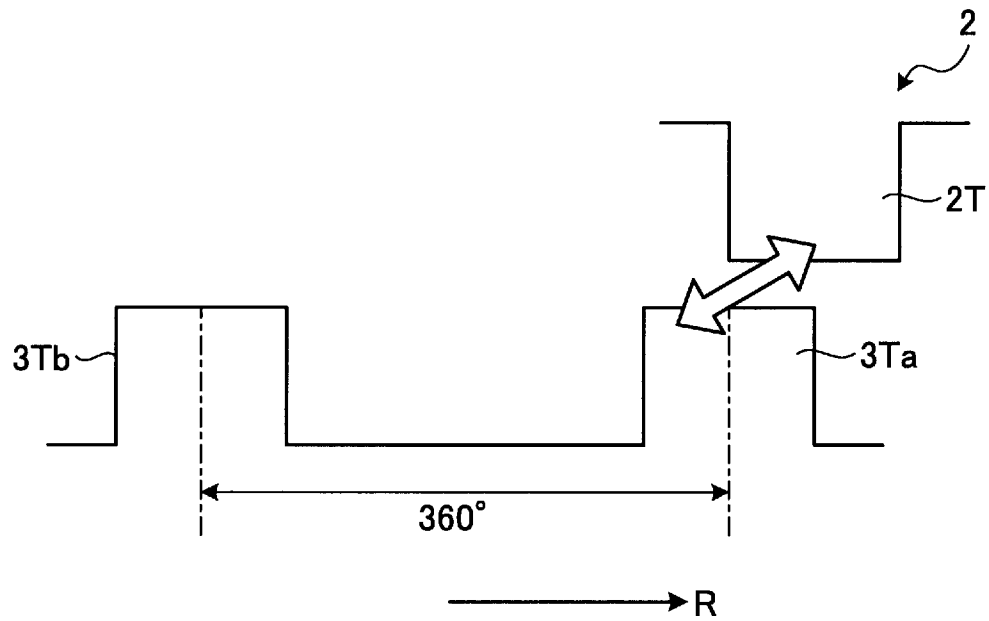


[図9]

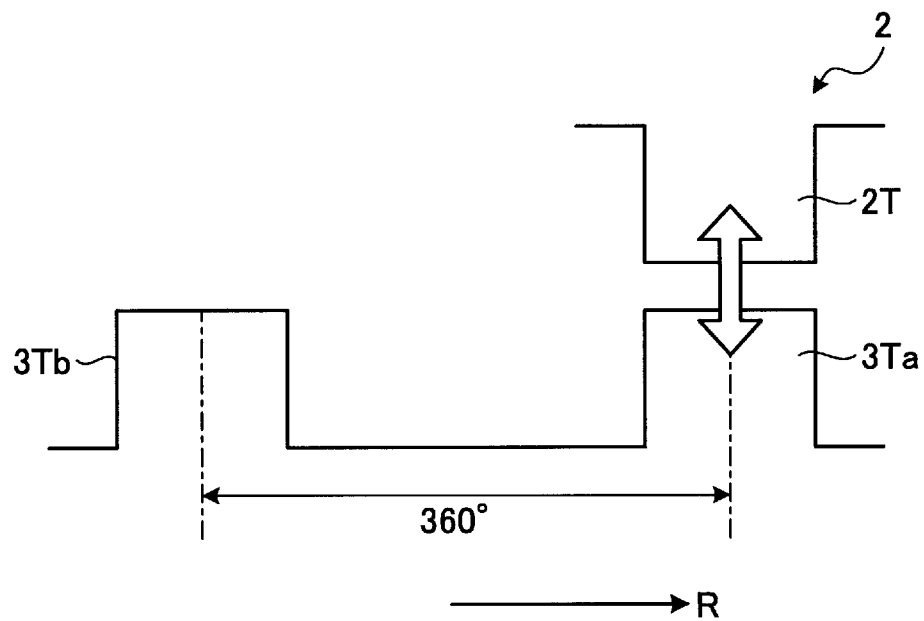


[図10]

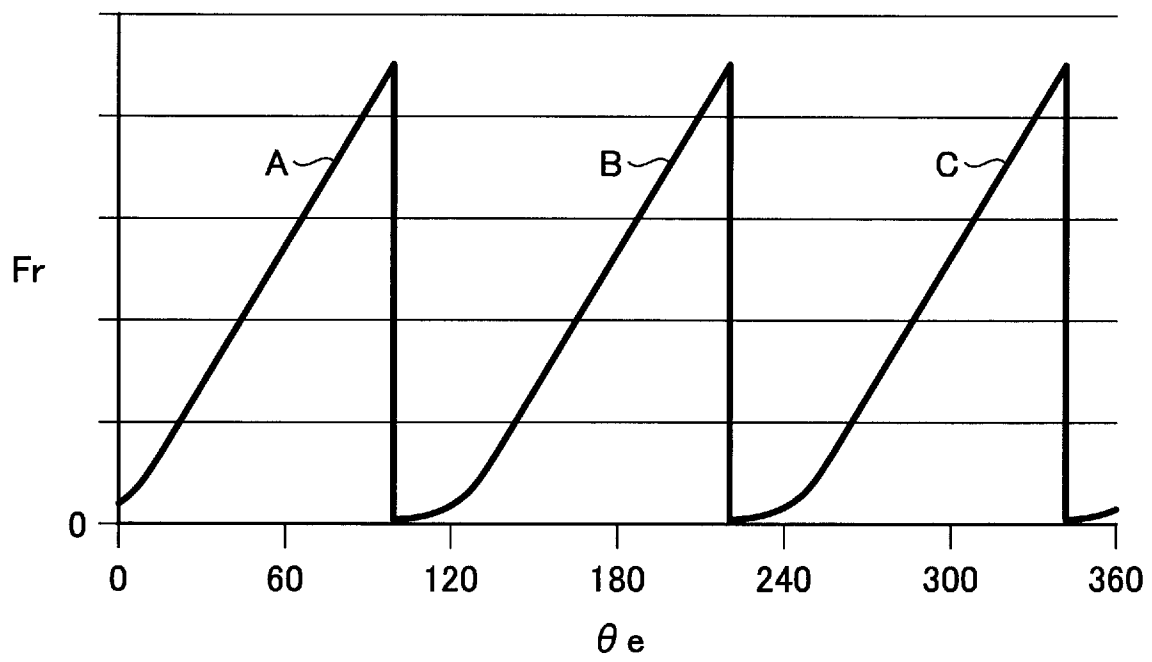
トルクが発生しやすい回転角度の例



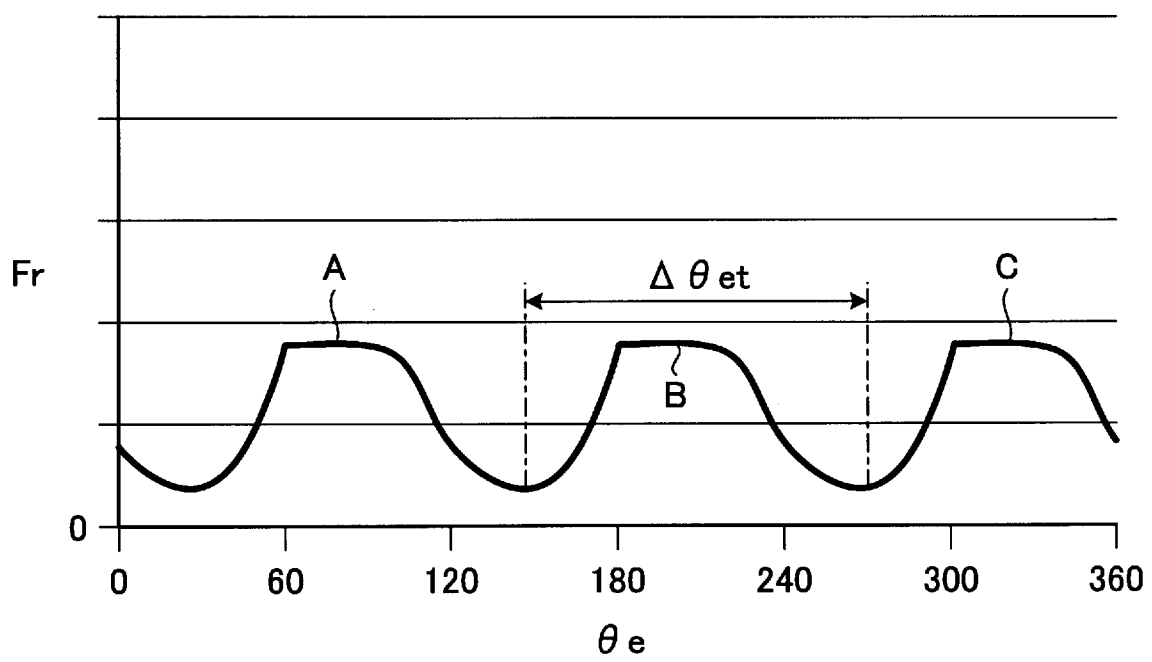
トルクが発生しにくい回転角度の例



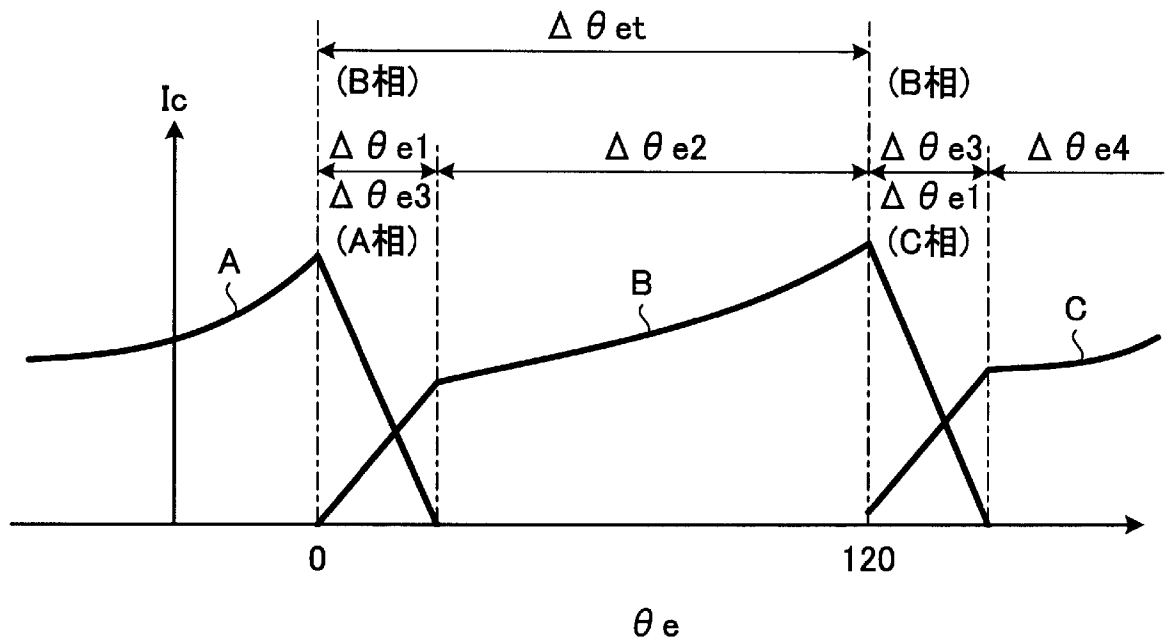
[図11]



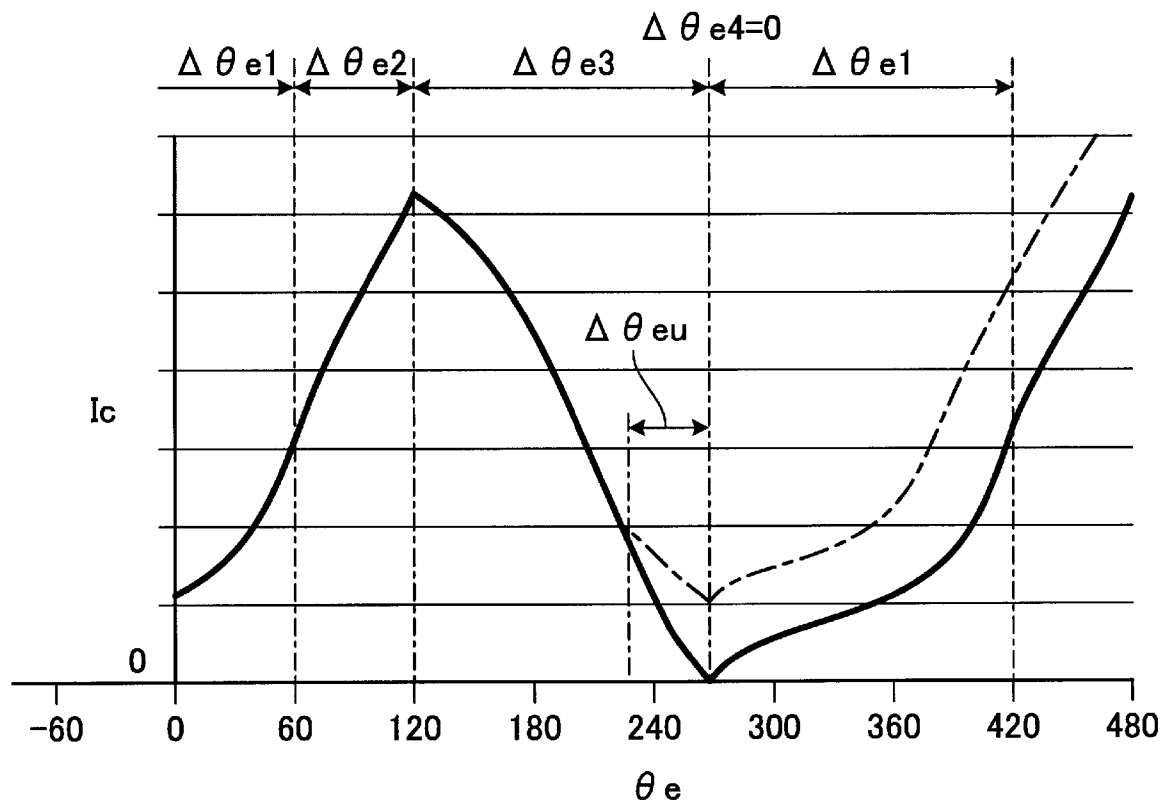
[図12]



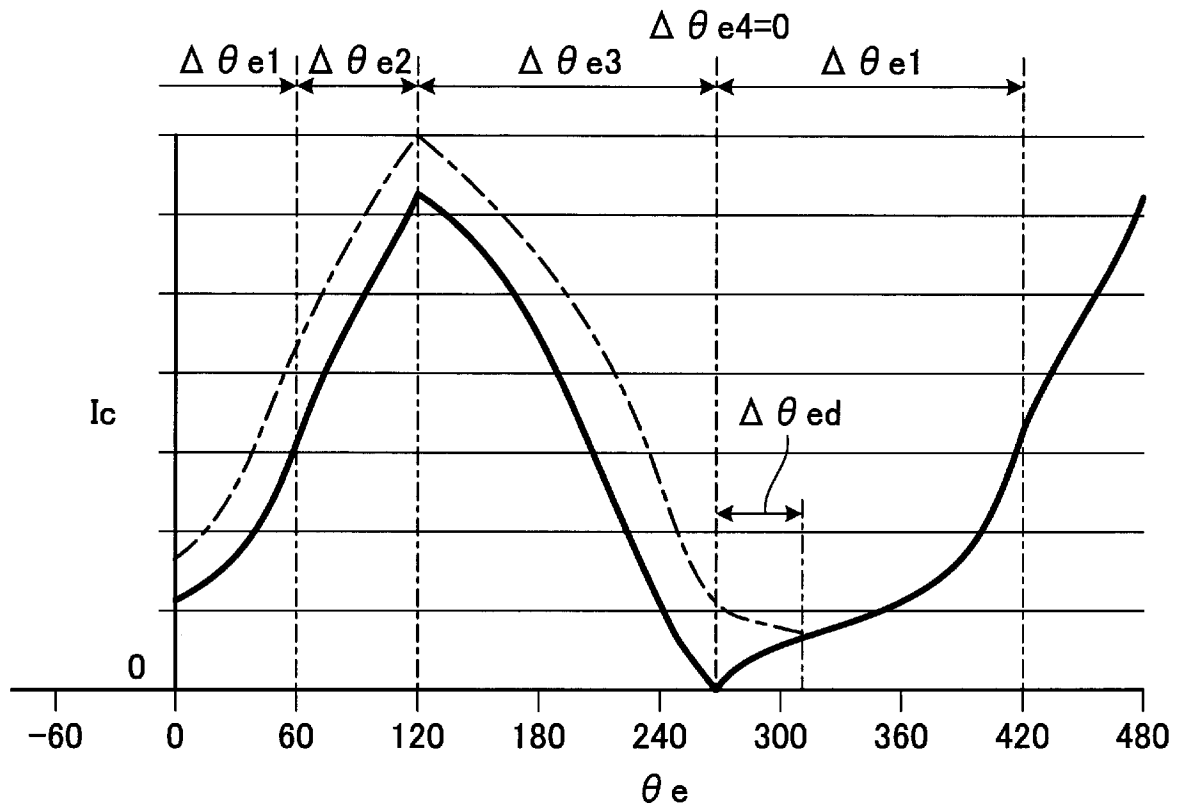
[図13]



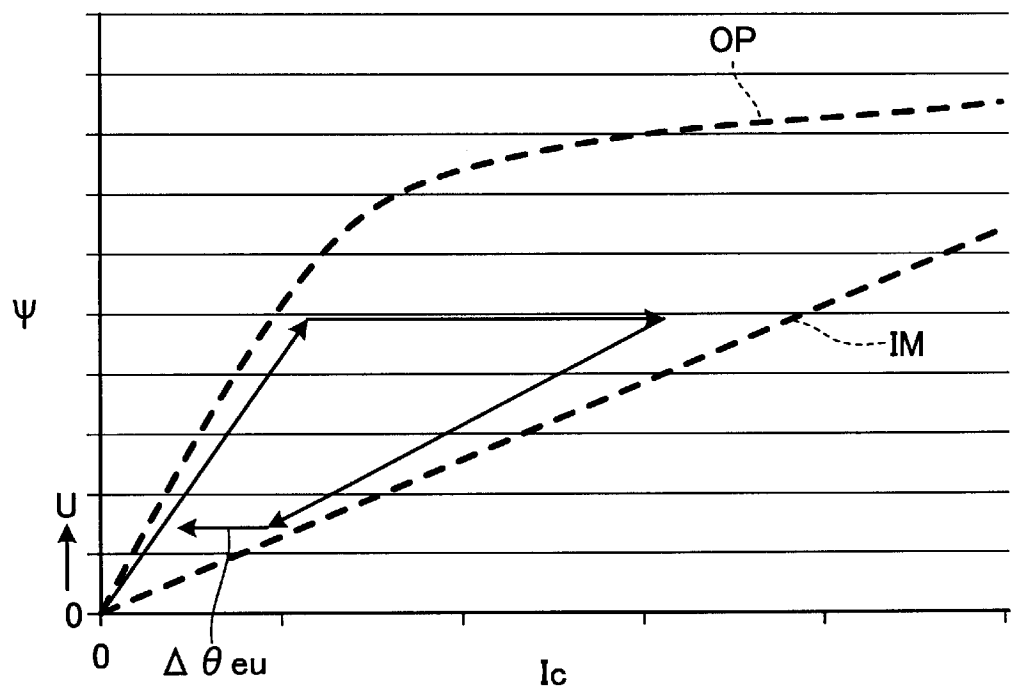
[図14]



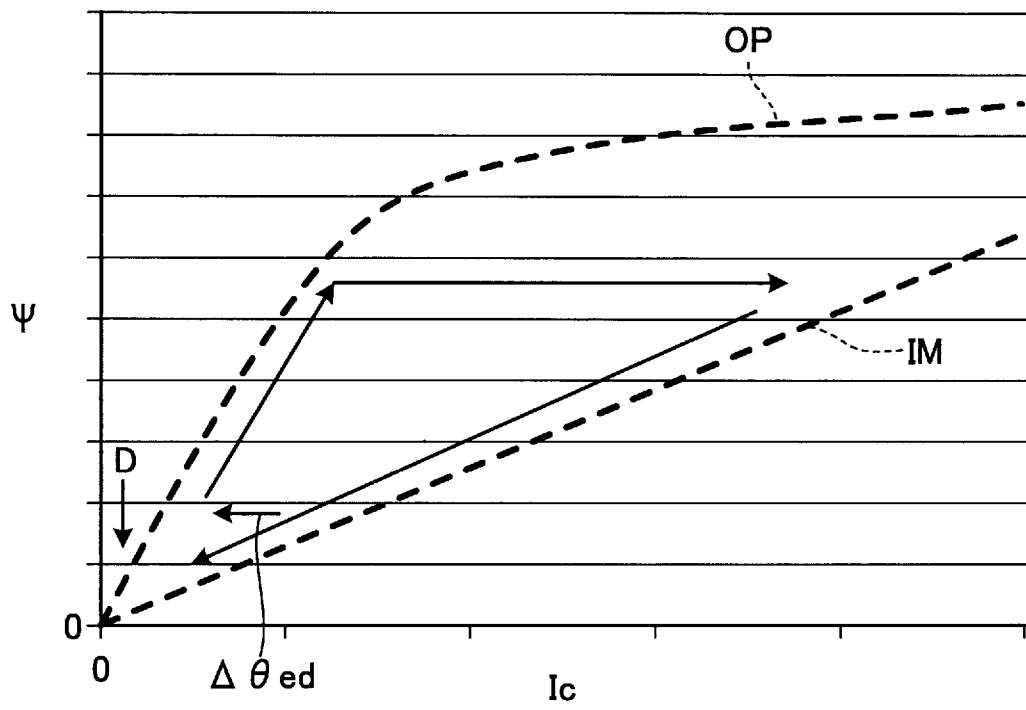
[図15]



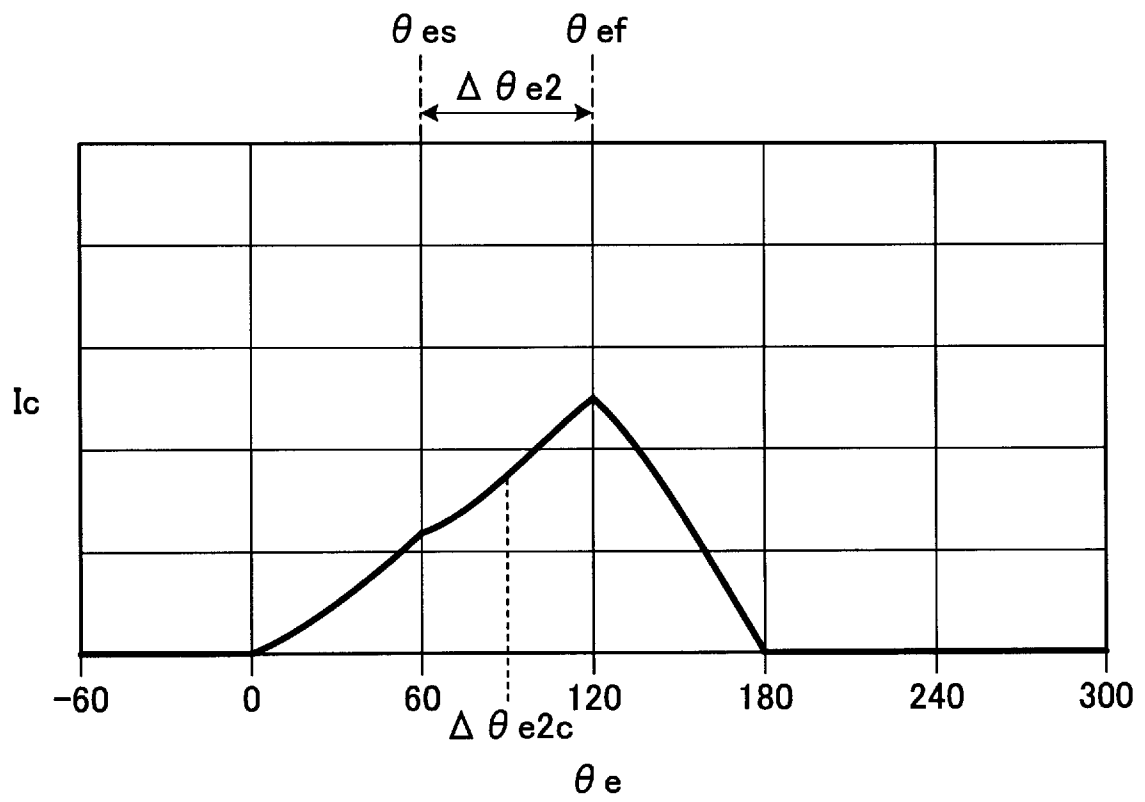
[図16]



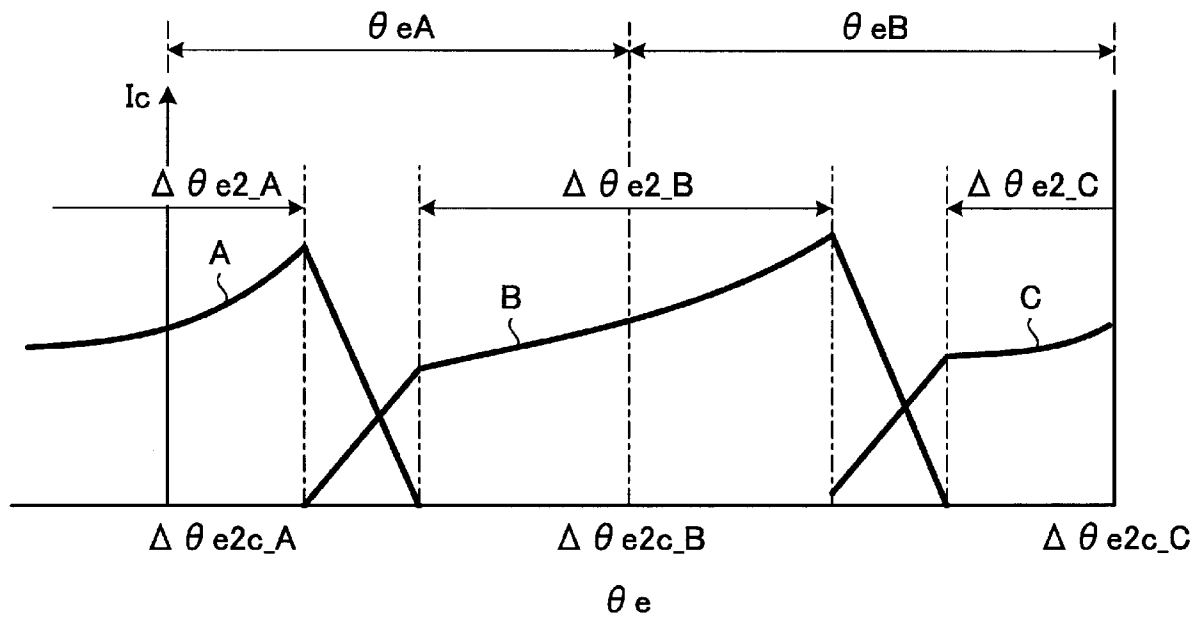
[図17]



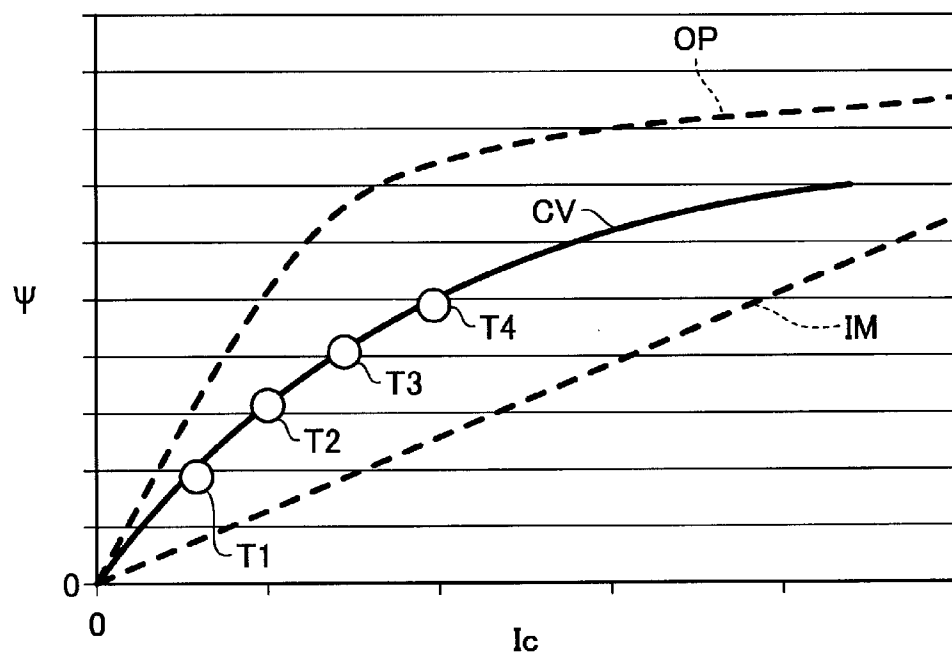
[図18]



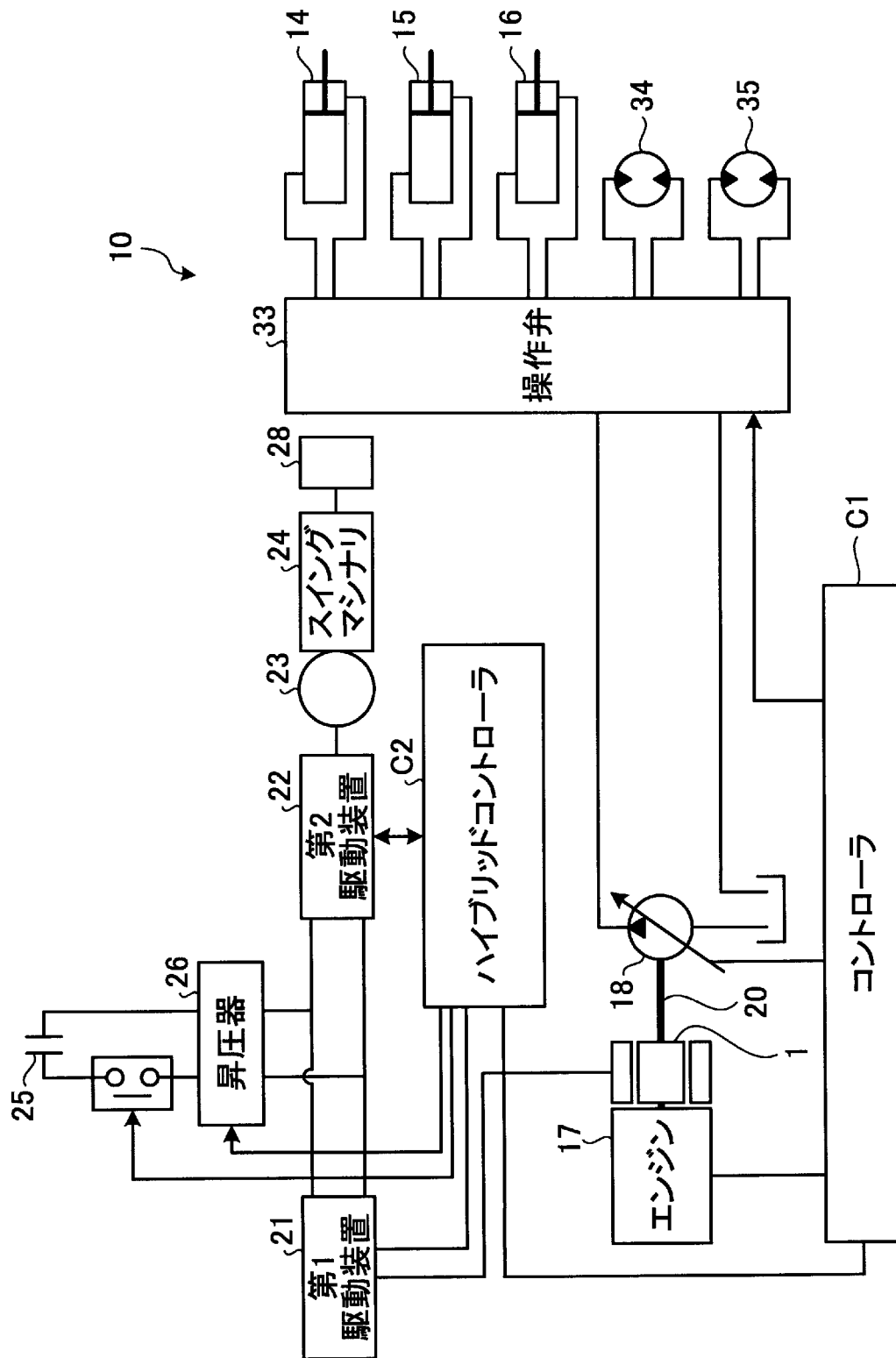
[図19]



[図20]



[図21]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/088519

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02P25/08(2016.01) 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)

H02P25/08

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

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.
X A	JP 2014-195390 A (Denso Corp.), 09 October 2014 (09.10.2014), paragraph [0106]; fig. 1, 24 & US 2014/0239857 A1 paragraph [0159]; fig. 1, 24A, 24B	1, 7-8 2-6, 9-13
X A	JP 2014-220985 A (Denso Corp.), 20 November 2014 (20.11.2014), paragraph [0128]; fig. 29 (Family: none)	1, 7-8 2-6, 9-13
A	US 2015/0002063 A1 (THE BOARD OF REGENTS, THE UNIVERSITY OF TEXAS SYSTEM), 01 January 2015 (01.01.2015), fig. 15A to 15D (Family: none)	1-13

☒ 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
09 March 2017 (09.03.17)

Date of mailing of the international search report
21 March 2017 (21.03.17)

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

International application No.

PCT/JP2016/088519

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2008/0272721 A1 (SWITCHED RELUCTANCE DRIVES), 06 November 2008 (06.11.2008), fig. 5 & EP 1988627 A2 & CN 101299583 A & KR 10-2008-0098317 A	1-13
A	JP 4456068 B2 (Mitsuba Corp.), 28 April 2010 (28.04.2010), fig. 5 to 6 & US 2006/0049809 A1 fig. 5 to 6 & US 2008/0116857 A1 & WO 2004/034562 A1	1-13
A	JP 2003-111464 A (Hilti AG), 11 April 2003 (11.04.2003), fig. 1 & US 2003/0052632 A1 fig. 1 & EP 1278299 A2 & DE 10134454 A1 & CN 1398042 A	1-13

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H02P25/08 (2016.01) 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（IPC））

Int.Cl. H02P25/08

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	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017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
X A	JP 2014-195390 A（株式会社デンソー）2014.10.09, 段落 [0106]、図1、24 & US 2014/0239857 A1, 段落[0159], 図1, 24A, 24B	1, 7-8 2-6, 9-13
X A	JP 2014-220985 A（株式会社デンソー）2014.11.20, 段落 [0128]、図29（ファミリーなし）	1, 7-8 2-6, 9-13
A	US 2015/0002063 A1（THE BOARD OF REGENTS, THE UNIVERSITY OF TEXAS SYSTEM）2015.01.01, 図15A-15D（ファミリーなし）	1-13

☒ 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

09.03.2017

国際調査報告の発送日

21.03.2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/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）

マキロイ 寛済

3 V

4031

電話番号 03-3581-1101 内線 3357

C (続き) . 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	US 2008/0272721 A1 (SWITCHED RELUCTANCE DRIVES) 2008.11.06, 図5 & EP 1988627 A2 & CN 101299583 A & KR 10-2008-0098317 A	1-13
A	JP 4456068 B2 (株式会社ミツバ) 2010.04.28, 図5-6 & US 2006/0049809 A1, 図5-6 & US 2008/0116857 A1 & WO 2004/034562 A1	1-13
A	JP 2003-111464 A (ヒルティ アクチエンゲゼルシャフト) 2003.04.11, 図1 & US 2003/0052632 A1, 図1 & EP 1278299 A2 & DE 10134454 A1 & CN 1398042 A	1-13