

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2009年7月23日 (23.07.2009)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2009/090835 A1

(51) 国際特許分類:

H02P 6/08 (2006.01) H02P 6/12 (2006.01)
B60L 3/00 (2006.01) H02P 27/06 (2006.01)
B60L 9/18 (2006.01) B60W 10/08 (2006.01)
H02M 7/48 (2007.01) B60W 20/00 (2006.01)

(21) 国際出願番号:

PCT/JP2008/073316

(22) 国際出願日:

2008年12月22日 (22.12.2008)

(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2008-008201 2008年1月17日 (17.01.2008) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): トヨタ自動車株式会社 (TOYOTA JIDOSHA KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒4718571 愛知県豊田市トヨタ町1番地 Aichi (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてののみ): 岡村 賢樹 (OKA-MURA, Masaki) [JP/JP]; 〒4718571 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内 Aichi (JP). 野澤 奈津樹 (NOZAWA, Natsuki) [JP/JP]; 〒4718571 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内 Aichi (JP). 花田 秀人 (HANADA, Hideto) [JP/JP]; 〒4718571 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内 Aichi (JP).

(74) 代理人: 深見 久郎, 外 (FUKAMI, Hisao et al.); 〒5300005 大阪府大阪市北区中之島二丁目2番7号 中之島セントラルタワー 22階 深見特許事務所 Osaka (JP).

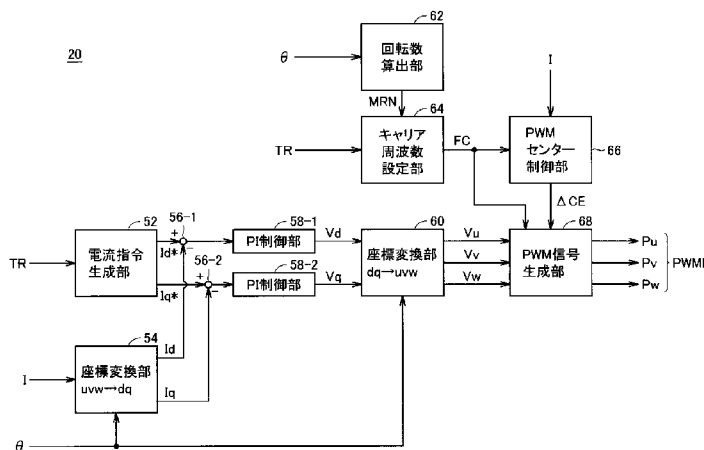
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH,

[続葉有]

(54) Title: DEVICE FOR CONTROLLING ELECTRIC VEHICLE AND ELECTRIC VEHICLE EQUIPPED WITH THE CONTROL DEVICE, AND ELECTRIC VEHICLE CONTROL METHOD AND COMPUTER READABLE RECORDING MEDIUM ON WHICH PROGRAM FOR ALLOWING COMPUTER TO EXECUTE THE CONTROL METHOD IS RECORDED

(54) 発明の名称: 電動車両の制御装置およびそれを備えた電動車両、ならびに電動車両の制御方法およびその制御方法をコンピュータに実行させるためのプログラムを記録したコンピュータ読取可能な記録媒体

[図2]



52 CURRENT COMMAND GENERATION UNIT
54 COORDINATE CONVERSION UNIT $uvw \rightarrow dq$
58-1 PI CONTROL UNIT
58-2 PI CONTROL UNIT
62 ROTATION NUMBER CALCULATION UNIT
64 CARRIER FREQUENCY SETTING UNIT
60 COORDINATE CONVERSION UNIT $dq \rightarrow uvw$
66 PWM CENTER CONTROL UNIT
68 PWM SIGNAL GENERATION UNIT

(57) Abstract: A carrier frequency setting unit (64) sets a carrier frequency (FC) according to the torque command (TR) of a motor generator and the number of motor rotations (MRN). A PWM signal generation unit (68) generates phase modulation waves corresponding to respective phase voltage commands (Vu, Vv, Vw) and generates phase PWM signals (Pu, Pv, Pw) according to the magnitude relationship between each of the phase modulation waves and a carrier wave having the carrier frequency (FC). A PWM center control unit (66), when the carrier frequency (FC) is lower than a predetermined frequency, generates a PWM center correction value (ΔCE) for variably controlling a PWM center and outputs to the PWM signal generation unit (68).

(57) 要約: キャリア周波数設定部 (64) は、モータジェネレータのトルク指令 (TR) およびモータ回転数 (MRN) に基づいてキャリア周波数 (FC) を設定する。PWM信号生成部 (68) は、各相電圧指令 (Vu, Vv, Vw) に対応する各相変調波を

生成し、各相変調波とキャリア周波数 (FC) を有する搬送波 (キャリア) との大小関係に応じて各相PWM信号 (Pu, Pv, Pw) を生成する。PWMセンター制御部 (66) は、キャリア周波数 (FC) が予め定められた周波数よりも低いとき、PWMセンターを可変制御するためのPWMセンター補正值 (ΔCE) を生成してPWM信号生成部 (68) へ出力する。

WO 2009/090835 A1



GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(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, LS, MW, MZ, NA, SD,

添付公開書類:

— 国際調査報告書

明 細 書

電動車両の制御装置およびそれを備えた電動車両、ならびに電動車両の制御方法およびその制御方法をコンピュータに実行させるためのプログラムを記録したコンピュータ読取可能な記録媒体

技術分野

[0001] この発明は、車両走行用の動力源として交流モータを搭載する電動車両の制御技術に関する。

背景技術

[0002] 近年、環境問題を背景に、電気自動車(Electric Vehicle)やハイブリッド車両(Hybrid Vehicle)、燃料電池車(Fuel Cell Vehicle)などの電動車両が注目されている。これらの電動車両の多くは、車両走行用の動力源として、インバータによって駆動される交流モータを搭載する。

[0003] このような電動車両においては、たとえば登坂時に駆動トルクと車重とが釣り合っているいわゆる「モータロック状態」(モータトルクを出力しつつモータ回転数が極めて低い状態)になると、特定の相に電流が集中して流れることによりインバータの損失が増大し、インバータが短時間で過熱し得る。

[0004] そこで、特開平2002-272125号公報(特許文献1)は、交流電圧基準の周波数が所定値以下のとき、電力変換器を構成するスイッチング素子の損失を低減可能な制御装置を開示する。この制御装置は、電力変換器を構成する電力半導体素子をPWM(Pulse Width Modulation)制御する。そして、制御装置は、交流電圧基準の周波数が所定値以下のとき、交流電圧基準に直流オフセット電圧を加えて、電力半導体素子の損失を低減させる。

[0005] この制御装置によれば、交流低周波通電時の電力半導体素子の損失を低減することが可能となる(特許文献1参照)。

特許文献1:特開平2002-272125号公報

特許文献2:特開平9-191508号公報

特許文献3:特開2000-102257号公報

特許文献4:特開平6-245577号公報

特許文献5:特開2004-48885号公報

特許文献6:特開2003-204028号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0006] インバータの損失は、スイッチング素子がオン／オフする際に発生するスイッチング損失と、スイッチング素子がオンしているときに発生するオン損失とからなる。しかしながら、上記特開平2002-272125号公報に開示される手法は、スイッチング素子のオン損失のみに着目したものであり、スイッチング損失も併せたトータルの損失を考慮した場合、必ずしも効果的でない可能性がある。

[0007] それゆえに、この発明の目的は、インバータの損失を効果的に低減可能な電動車両の制御装置およびそれを備えた電動車両を提供することである。

[0008] また、この発明の別の目的は、インバータの損失を効果的に低減可能な電動車両の制御方法およびその制御方法をコンピュータに実行させるためのプログラムを記録したコンピュータ読取可能な記録媒体を提供することである。

課題を解決するための手段

[0009] この発明によれば、電動車両の制御装置は、車両走行用の動力源として交流モータを搭載する電動車両の制御装置であって、インバータと、信号生成部と、制御部とを備える。インバータは、交流モータを駆動する。信号生成部は、パルス幅変調法に基づいて、インバータのスイッチング素子をオン／オフするための信号を生成する。制御部は、インバータのスイッチング周波数が予め定められた周波数よりも低いとき、信号生成部において用いられる変調波の中心値を可変制御することによってインバータの損失を低減可能に構成される。

[0010] 好ましくは、予め定められた周波数は、インバータのスイッチング損失に対してインバータのオン損失が相対的に大きくなるスイッチング周波数の領域に基づいて設定される。

[0011] 好ましくは、制御部は、インバータのスイッチング周波数が予め定められた周波数よりも低く、かつ、交流モータの回転数が予め定められた回転数よりも低いとき、変調波

の中心値を可変制御することによってインバータにおける電流集中を抑止可能に構成される。

- [0012] さらに好ましくは、電動車両の制御装置は、電流検出部をさらに備える。電流検出部は、交流モータの各相電流を検出する。制御部は、電流が最大の相においてインバータから交流モータへ電流が流れているとき、信号生成部において用いられる搬送波の中央値よりも小さくなるように変調波の中心値を変更する。また、制御部は、電流最大の相において交流モータからインバータへ電流が流れているとき、搬送波の中央値よりも大きくなるように変調波の中心値を変更する。
- [0013] さらに好ましくは、制御部は、インバータの各相におけるオン損失が均衡するように予め求められた値に変調波の中心値を変更する。
- [0014] 好ましくは、制御部は、電流が最大の相の変調波が所定の最大値または最小値となることによってその電流最大の相のスイッチング動作が停止してその他の相による変調制御が行なわれるように、変調波の中心値を変更する。
- [0015] 好ましくは、電動車両の制御装置は、温度検出部をさらに備える。温度検出部は、インバータの素子温度を検出する。制御部は、素子温度が最大の相においてインバータから交流モータへ電流が流れているとき、信号生成部において用いられる搬送波の中央値よりも小さくなるように変調波の中心値を変更する。また、制御部は、温度最大の相において交流モータからインバータへ電流が流れているとき、搬送波の中央値よりも大きくなるように変調波の中心値を変更する。
- [0016] 好ましくは、電動車両の制御装置は、温度検出部と、位相変更部とをさらに備える。温度検出部は、インバータの素子温度を検出する。位相変更部は、素子温度が最大の相に流れる電流値が減少するように変調波の位相を変更する。
- [0017] さらに好ましくは、位相変更部は、電流値が略零となるように変調波の位相を変更する。
- [0018] 好ましくは、制御部は、交流モータの回転数が予め定められた回転数以上のとき、インバータの全体の損失が最小となるように変調波の位相ごとに予め求められた値に変調波の中心値を可変制御する。
- [0019] さらに好ましくは、制御部は、変調波の中心値を変更したことにより変調波のピーク

が搬送波のピークを超えた場合、変調波のピークが搬送波のピークよりも小さくなるように変調波の中心値を補正する。

[0020] また、この発明によれば、電動車両は、車両の駆動力を発生する交流モータと、交流モータの出力軸に連結される車輪と、上述したいずれかの制御装置とを備える。

[0021] また、この発明によれば、電動車両の制御方法は、車両走行用の動力源として交流モータを搭載する電動車両の制御方法であって、第1および第2のステップを備える。第1のステップでは、パルス幅変調法に基づいて、交流モータを駆動するインバータのスイッチング素子をオン／オフするための信号が生成される。第2のステップでは、インバータのスイッチング周波数が予め定められた周波数よりも低いとき、信号の生成に用いる変調波の中心値を可変制御することによってインバータの損失が低減される。

[0022] 好ましくは、予め定められた周波数は、インバータのスイッチング損失に対してインバータのオン損失が相対的に大きくなるスイッチング周波数の領域に基づいて設定される。

[0023] 好ましくは、第2のステップにおいて、インバータのスイッチング周波数が予め定められた周波数よりも低く、かつ、交流モータの回転数が予め定められた回転数よりも低いとき、変調波の中心値を可変制御することによってインバータにおける電流集中が抑止される。

[0024] さらに好ましくは、第2のステップにおいて、電流が最大の相においてインバータから交流モータへ電流が流れているとき、信号の生成に用いる搬送波の中央値よりも小さくなるように変調波の中心値が変更される。また、電流最大の相において交流モータからインバータへ電流が流れているときは、搬送波の中央値よりも大きくなるように変調波の中心値が変更される。

[0025] さらに好ましくは、第2のステップにおいて、インバータの各相におけるオン損失が均衡するように予め求められた値に変調波の中心値が変更される。

[0026] 好ましくは、第2のステップにおいて、電流が最大の相の変調波が所定の最大値または最小値となることによってその電流最大の相のスイッチング動作が停止してその他の相による変調制御が行なわれるように、変調波の中心値が変更される。

- [0027] 好ましくは、第2のステップにおいて、インバータの素子温度が最大の相においてインバータから交流モータへ電流が流れているとき、信号の生成に用いる搬送波の中央値よりも小さくなるように変調波の中心値が変更される。また、温度最大の相において交流モータからインバータへ電流が流れているときは、搬送波の中央値よりも大きくなるように変調波の中心値が変更される。
- [0028] 好ましくは、電動車両の制御方法は、第3のステップをさらに備える。第3のステップでは、インバータの素子温度が最大の相に流れる電流値が減少するように変調波の位相が変更される。
- [0029] 好ましくは、第3のステップにおいて、電流値が略零となるように変調波の位相が変更される。
- [0030] 好ましくは、電動車両の制御方法は、第4のステップをさらに備える。第4のステップでは、交流モータの回転数が予め定められた回転数以上のとき、インバータの全体の損失が最小となるように変調波の位相ごとに予め求められた値に変調波の中心値が可変制御される。
- [0031] さらに好ましくは、電動車両の制御方法は、第5および第6のステップをさらに備える。第5のステップでは、変調波の中心値を変更したことにより変調波のピークが搬送波のピークを超えたか否かが判定される。第6のステップでは、変調波のピークが搬送波のピークを超えたと判定された場合、変調波のピークが搬送波のピークよりも小さくなるように変調波の中心値が補正される。
- [0032] また、この発明によれば、記録媒体は、コンピュータ読取可能な記録媒体であつて、上述したいずれかの電動車両の制御方法をコンピュータに実行させるためのプログラムを記録する。

発明の効果

- [0033] この発明においては、インバータは、パルス幅変調法に基づいてPWM制御される。ここで、インバータの損失はスイッチング損失とオン損失とからなり、インバータのスイッチング周波数が低いときはオン損失が支配的となり、スイッチング周波数が高くなるに従ってスイッチング損失の割合が増大するところ、この発明においては、インバータのスイッチング周波数が予め定められた周波数よりも低いとき、すなわち、オン損

失が支配的となる低スイッチング周波数のとき、信号生成部において用いられる変調波の中心値を可変制御することによってインバータのオン損失を低減する。したがって、この発明によれば、インバータの損失を効果的に低減することができる。

- [0034] また、この発明においては、インバータのスイッチング周波数が予め定められた周波数よりも低く、かつ、交流モータの回転数が予め定められた回転数よりも低いとき（モータロック状態検出時）、すなわち、スイッチング損失が小さいことによりインバータのトータルの損失はそれ程大きくはないけれどもモータ回転数が低いために特定の相に電流が集中することによって熱的に厳しい状況のとき、変調波の中心値を可変制御することによってオン損失を低減し、インバータにおける電流集中を抑止する。したがって、この発明によれば、特定の素子または相に電流が集中して流れるのを抑止することができる。その結果、インバータが過熱損傷するのを防止することができる。

図面の簡単な説明

- [0035] [図1]この発明の実施の形態1による電動車両のパワートレーン構成を示した図である。
- [図2]図1に示すECUの機能ブロック図である。
- [図3]図2に示すキャリア周波数設定部によって設定されるキャリア周波数を説明するための図である。
- [図4]スイッチング周波数とインバータにおける損失との関係を示した図である。
- [図5]U相上アームのトランジスタがオンしているときの電流および電圧を示した図である。
- [図6]U相下アームのトランジスタがオンしているときの電流および電圧を示した図である。
- [図7]図5、図6に示す電流および電圧の波形図である。
- [図8]PWMセンター操作の考え方の一例を説明するための図である。
- [図9]PWMセンターとオン損失との関係を示した図である。
- [図10]PWMセンター操作時のスイッチング周波数とインバータ損失との関係を示した図である。

[図11]図2に示すPWMセンター制御部の制御構造を説明するためのフローチャートである。

[図12]PWMセンターの変化の一例を示した図である。

[図13]実施の形態2におけるECUの機能ブロック図である。

[図14]図13に示すPWMセンター制御部の制御構造を説明するためのフローチャートである。

[図15]モータロック時の変調波の波形図である。

[図16]PWMセンターとトランジスタのオン時間との関係を説明するための図である。

[図17]実施の形態4におけるPWMセンター制御部の制御構造を説明するためのフローチャートである。

[図18]実施の形態4におけるPWMセンターの変化を示した図である。

[図19]実施の形態4におけるモータロック時の変調波の波形図である。

[図20]実施の形態5による電動車両のパワートレーン構成を示した図である。

[図21]図20に示すECUの機能ブロック図である。

[図22]図21に示すPWMセンター制御部の制御構造を説明するためのフローチャートである。

[図23]実施の形態6による電動車両のパワートレーン構成を示した図である。

[図24]図23に示すECUの機能ブロック図である。

[図25]図24に示すPWMセンター制御部の制御構造を説明するためのフローチャートである。

[図26]各相モータ電流の波形を示した図である。

[図27]実施の形態7におけるECUの機能ブロック図である。

[図28]図27に示す位相変更部の制御構造を説明するためのフローチャートである。

[図29]モータ回転数に対するPWMセンターの制御範囲を示した図である。

[図30]実施の形態8におけるPWMセンター制御部の制御構造を説明するためのフローチャートである。

[図31]変調波の一波形図である。

[図32]実施の形態9におけるPWMセンター制御部の制御構造を説明するためのフ

ローチャートである。

符号の説明

[0036] 10 インバータ、12 U相アーム、14 V相アーム、16 W相アーム、20, 20A～20D ECU、22 電圧センサ、24 電流センサ、26 回転角センサ、31～36, 41～46 温度センサ、52 電流指令生成部、54, 60 座標変換部、56-1, 56-2 減算部、58-1, 58-2 PI制御部、62 回転数算出部、64 キャリア周波数設定部、66, 66A～66E PWMセンター制御部、68 PWM信号生成部、70 位相変更部、72 加算部、100, 100A, 100B 電動車両、B 蓄電装置、PL 正極線、NL 負極線、C コンデンサ、Q1～Q6 トランジスタ、D1～D6 ダイオード、UL U相ライン、VL V相ライン、WL W相ライン、MG モータジェネレータ、DW 車輪。

発明を実施するための最良の形態

[0037] 以下、本発明の実施の形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。なお、図中同一または相当部分には同一符号を付してその説明は繰返さない。

[0038] [実施の形態1]

図1は、この発明の実施の形態1による電動車両のパワートレーン構成を示した図である。図1を参照して、この電動車両100は、蓄電装置Bと、インバータ10と、電子制御ユニット(以下「ECU(Electronic Control Unit)」と称する。)20と、モータジェネレータMGと、車輪DWとを備える。また、電動車両100は、正極線PLと、負極線NLと、コンデンサCと、U相ラインULと、V相ラインVLと、W相ラインWLとをさらに備える。さらに、電動車両100は、電圧センサ22と、電流センサ24と、回転角センサ26とをさらに備える。

[0039] 蓄電装置Bの正極端子および負極端子は、それぞれ正極線PLおよび負極線NLに接続される。コンデンサCは、正極線PLと負極線NLとの間に接続される。インバータ10は、U相アーム12、V相アーム14およびW相アーム16を含む。U相アーム12、V相アーム14およびW相アーム16は、正極線PLと負極線NLとの間に並列に接続される。U相アーム12は、直列に接続されたトランジスタQ1, Q2から成り、V相アーム14は、直列に接続されたトランジスタQ3, Q4から成り、W相アーム16は、直列に接続されたトランジスタQ5, Q6から成る。トランジスタQ1～Q6には、それぞれダイ

オードD1～D6が逆並列に接続される。

- [0040] なお、上記のトランジスタとして、たとえばIGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)を用いることができる。また、上記のトランジスタとして、パワーMOSFET(Metal Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor)等のスイッチング素子を用いてもよい。
- [0041] モータジェネレータMGは、U相コイルU、V相コイルVおよびW相コイルWをステータコイルとして含む。U相コイルU、V相コイルVおよびW相コイルWは、インバータ10のU相アーム12、V相アーム14およびW相アーム16における上下アームの接続ノードにそれぞれ接続される。そして、モータジェネレータMGの回転軸に車輪DWが連結される。
- [0042] 蓄電装置Bは、再充電可能な直流電源であり、たとえば、ニッケル水素やリチウムイオン等の二次電池から成る。蓄電装置Bは、直流電力をインバータ10へ供給する。また、蓄電装置Bは、車両の制動時にモータジェネレータMGによって回生発電される電力をインバータ10から受けて充電される。なお、蓄電装置Bとして、大容量のキャパシタを用いてもよい。
- [0043] コンデンサCは、正極線PLと負極線NLとの間の電圧変動を平滑化する。電圧センサ22は、コンデンサCの端子間電圧、すなわち負極線NLに対する正極線PLの電圧Vdcを検出し、その検出値をECU20へ出力する。
- [0044] インバータ10は、ECU20からの信号PWMIに基づいて、蓄電装置Bから受ける直流電圧を3相交流電圧に変換し、モータジェネレータMGを駆動する。また、インバータ10は、車両の制動時、車輪DWからの回転力を受けてモータジェネレータMGが発電した3相交流電圧をECU20からの信号PWMIに基づいて直流電圧に変換し、その変換した直流電圧を蓄電装置Bへ出力する。
- [0045] モータジェネレータMGは、三相交流電動機であり、たとえば、ロータに永久磁石が埋設された三相交流同期電動機から成る。モータジェネレータMGは、インバータ10によって力行駆動され、車輪DWを駆動するための駆動力を発生する。また、モータジェネレータMGは、車両の回生制動時、インバータ10によって回生駆動され、車輪DWから受ける回転力を用いて発電した三相交流電圧をインバータ10へ出力する。

- [0046] 電流センサ24は、各相モータ電流を検出し、その検出値をECU20へ出力する。
なお、図1では、電流センサ24は、V相ラインVLおよびW相ラインWLの電流を検出し、U相ラインULの電流は、キルヒホッフの法則を用いて算出できる。回転角センサ26は、モータジェネレータMGのロータの回転角 θ を検出し、その検出値をECU20へ出力する。
- [0047] ECU20は、電圧センサ22からの電圧Vdc、電流センサ24からのモータ電流Iおよび回転角センサ26からのモータ回転角 θ に基づいて、後述の方法により、インバータ10を駆動するための信号PWMIを生成し、その生成した信号PWMIをインバータ10のトランジスタQ1～Q6へ出力する。
- [0048] 図2は、図1に示したECU20の機能ブロック図である。図2を参照して、ECU20は、電流指令生成部52と、座標変換部54、60と、減算部56-1、56-2と、PI制御部58-1、58-2と、回転数算出部62と、キャリア周波数設定部64と、PWMセンター制御部66と、PWM信号生成部68とを含む。
- [0049] 電流指令生成部52は、モータジェネレータMGのトルク指令TRに基づいてd軸電流指令Id*およびq軸電流指令Iq*を生成する。座標変換部54は、回転角センサ26からのモータ回転角 θ を用いて、電流センサ24によって検出されたモータ電流Iをd軸電流Idおよびq軸電流Iqに変換する。減算部56-1は、d軸電流指令Id*からd軸電流Idを減算し、その演算結果をPI制御部58-1へ出力する。減算部56-2は、q軸電流指令Iq*からq軸電流Iqを減算し、その演算結果をPI制御部58-2へ出力する。
- [0050] PI制御部58-1は、減算部56-1の出力に基づいて比例積分演算を行ない、その演算結果をd軸電圧指令Vdとして座標変換部60へ出力する。PI制御部58-2は、減算部56-2の出力に基づいて比例積分演算を行ない、その演算結果をq軸電圧指令Vqとして座標変換部60へ出力する。
- [0051] 座標変換部60は、モータ回転角 θ を用いて、PI制御部58-1、58-2からそれぞれ受けるd軸電圧指令Vdおよびq軸電圧指令VqをU相電圧指令Vu、V相電圧指令VvおよびW相電圧指令Vwに変換し、その変換した各相電圧指令をPWM信号生成部68へ出力する。

- [0052] 回転数算出部62は、モータ回転角 θ に基づいてモータ回転数MRNを算出し、その算出値をキャリア周波数設定部64へ出力する。
- [0053] キャリア周波数設定部64は、モータジェネレータMGのトルク指令TRおよびモータ回転数MRNに基づいて、PWM信号を生成する際に用いられる搬送波(キャリア)の周波数(キャリア周波数FC)を設定し、その設定されたキャリア周波数FCをPWMセンター制御部66およびPWM信号生成部68へ出力する。
- [0054] PWMセンター制御部66は、キャリア周波数FCおよびモータ電流Iに基づいて、後述の方法により、PWM信号生成部68における各相変調波の中心値(以下「PWMセンター」とも称する。)を可変制御するためのPWMセンター補正值 ΔCE を生成し、その生成したPWMセンター補正值 ΔCE をPWM信号生成部68へ出力する。
- [0055] PWM信号生成部68は、パルス幅変調法を用いて、各相電圧指令 V_u , V_v , V_w に基づいて各相PWM信号 P_u , P_v , P_w を生成し、その生成した各相PWM信号 P_u , P_v , P_w を信号PWMIとしてインバータ10へ出力する。より具体的には、PWM信号生成部68は、各相電圧指令 V_u , V_v , V_w に対応する各相変調波を生成する。また、PWM信号生成部68は、キャリア周波数設定部64によって設定されたキャリア周波数FCを有する搬送波(キャリア)を図示されない発信部により生成する。そして、PWM信号生成部68は、各相変調波と搬送波(キャリア)との大小関係に応じて各相PWM信号 P_u , P_v , P_w を生成する。
- [0056] ここで、一般的なPWM制御においては、変調波は、その中心値(PWMセンター)が搬送波の中央値になるように生成されるところ、PWM信号生成部68は、PWMセンター制御部66からのPWMセンター補正值 ΔCE を用いてPWMセンターを変更する。具体的には、PWM信号生成部68は、PWMセンター補正值 ΔCE を各相変調波に一律に加算することによってPWMセンターを変更する。そして、PWM信号生成部68は、PWMセンター補正值 ΔCE によってPWMセンターが変更された各相変調波を搬送波と比較し、その比較結果に基づいて各相PWM信号 P_u , P_v , P_w を生成する。
- [0057] なお、以下では、搬送波は、0, 1の間で変動する、数kHzから10kHz程度の周波数を有する三角波とする。したがって、搬送波の中央値は0.5である。

[0058] 図3は、図2に示したキャリア周波数設定部64によって設定されるキャリア周波数FCを説明するための図である。図3を参照して、横軸はモータ回転数MRNを示し、縦軸はトルク指令TRを示す。モータ回転数MRNが低く、かつ、トルク指令TRが小さい領域(領域S)では、キャリア周波数FCは相対的に低く設定され、モータ回転数MRNが高くなるに従ってキャリア周波数FCは相対的に高く設定される。

[0059] 低回転かつ非小トルクの領域Sにおいてキャリア周波数FCが低く設定されるのは以下の理由による。トルクが大きいほど電流は大きいのでスイッチング素子のオン損失が大きくなり、大トルク領域ではインバータの損失は増大する。また、モータ回転数が低いほど各相アームに集中して流れる電流量が多くなるので熱的に厳しくなる。一方、キャリア周波数が低いほどスイッチング損失は小さいので全体の損失を低減できる。そこで、モータ回転とトルクとに応じてインバータの損失を抑えるためには、低回転域における非小トルク領域のキャリア周波数を下げることが有効である。なお、高回転域でキャリア周波数を高く設定するのは、スイッチング素子の動作に伴う電磁音を抑制するためである。

[0060] 図4は、スイッチング周波数とインバータにおける損失との関係を示した図である。図4を参照して、横軸はインバータのスイッチング周波数(キャリア周波数に相当する。)を示し、縦軸は損失を示す。線k1は、インバータを構成するスイッチング素子がオンしているときに発生するオン損失を示す。線k2は、スイッチング素子がオン/オフする際に発生するスイッチング損失を示す。線k3は、オン損失とスイッチング損失とを合計した全体損失を示す。

[0061] スwitchング周波数が低周波数の領域では、オン損失の方がスイッチング損失よりも相対的に大きく、オン損失が支配的となる。そして、スイッチング周波数が高くなるに従ってスイッチング損失は増大し、スイッチング周波数が中高周波数の領域では、スイッチング損失が支配的となる。

[0062] ここで、オン損失が支配的となる低周波数領域では、全体損失の絶対値としては中高周波領域より小さいけれども、モータの回転数が低いので、特に回転数が極めて低いモータロック時などは特定の相に電流が集中することにより熱的に厳しい状況が発生し得る。すなわち、図3に示したように、モータ回転数が低い領域では、インバー

タの損失を抑えるためにキャリア周波数は低く設定されるところ、それでも状況によっては(モータロック時など)特定の相に電流が集中することにより熱的に厳しい状況が発生する。なお、全体損失が相対的に大きい中高周波領域では、モータが回転しているので、電流は短時間ごとに各相に分散し、熱的には低周波数領域ほど厳しくはない。

[0063] そこで、この実施の形態1では、以下に説明するように、オン損失が支配的な低スイッチング周波数領域において、PWMセンターを可変制御することにより、熱的に厳しい状況を回避することとしたものである。

[0064] 以下、PWMセンターを操作することによる損失低減の原理について説明する。

図5～図7は、インバータにおける電流および電圧を説明するための図である。図5は、U相上アームのトランジスタQ1がオンしているときの電流および電圧を示し、図6は、U相下アームのトランジスタQ2がオンしているときの電流および電圧を示す。図7は、図5、図6に示した電流および電圧の波形図である。なお、この図5～図7では、U相アーム12からモータジェネレータMGへ電流が流れる場合(この場合の電流の符号を正とする。)について代表的に示されるが、モータジェネレータMGからU相アーム12へ電流が流れる場合(電流が負の場合)や他の相の場合においても同様に考えることができる。

[0065] 図5～図7を参照して、上アームのトランジスタQ1がオン(下アームのトランジスタQ2はオフ)しているとき(図7の時刻 $t_2 \sim t_3$ および時刻 t_6 以降)、トランジスタQ1には電流 I_u が流れるとともにオン電圧 V_{on1} がかかり、下アームには電圧 V_H がかかる。

[0066] また、下アームのトランジスタQ2がオン(上アームのトランジスタQ1はオフ)しているとき(図7の時刻 t_1 以前および時刻 $t_4 \sim t_5$)、下アームのダイオードD2には電流 I_u が流れるとともにオン電圧 V_{on2} がかかり、上アームには電圧 V_H がかかる。

[0067] なお、時刻 $t_1 \sim t_2$, $t_3 \sim t_4$, $t_5 \sim t_6$ は、トランジスタQ1, Q2のスイッチング期間である。

[0068] ここで、スイッチング周波数を K (Hz)とすると、トランジスタQ1における単位時間当たりの損失 ΔL_{Q1} およびダイオードD2における単位時間当たりの損失 ΔL_{D2} は、次式にて表される。

$$[0069] \quad \Delta LQ1 = 2 \times K \times \int (V1 \times Iu) dt + (1/K - 2 \times dt) \times K \times \int (Von1 \times Iu) dt \quad \cdots$$

(1)

$$\Delta LD2 = 2 \times K \times \int (V2 \times Iu) dt + (1/K - 2 \times dt) \times K \times \int (Von2 \times Iu) dt \quad \cdots$$

(2)

ここで、(1)、(2)式の各々の右辺第1項はスイッチング損失を表し、右辺第2項はオン損失を表す。

[0070] (1)、(2)式から分かるように、トランジスタQ1の損失 $\Delta LQ1$ とダイオードD2の損失 $\Delta LD2$ とは、式の構成は同じであり、スイッチング特性およびオン電圧によってその値が異なる。なお、(1)、(2)式の各々についてスイッチング周波数Kを横軸にして損失を図示すると図4のようになる。

[0071] 図8は、PWMセンター操作の考え方の一例を説明するための図である。図8を参照して、PWMセンターを x ($0 \leq x \leq 1$)とすると、トランジスタQ1のオンデューティは x で表される。ここで、1サイクルにおけるトランジスタQ1のオン損失 $\Delta LQ1on$ およびダイオードD2のオン損失 $\Delta LD2on$ は、次式で表される。

$$[0072] \quad \Delta LQ1on = Von1 \times Iu \times x \quad \cdots (3)$$

$$\Delta LD2on = Von2 \times Iu \times (1 - x) \quad \cdots (4)$$

図9は、PWMセンターとオン損失との関係を示した図である。図9を参照して、線k4は、トランジスタQ1のオン損失 $\Delta LQ1on$ を示し、線k5は、ダイオードD2のオン損失 $\Delta LD2on$ を示す。線k6は、オン損失 $\Delta LQ1on$ とオン損失 $\Delta LD2on$ との合計を示す。

[0073] PWMセンターが大きくなると、トランジスタQ1のオン損失 $\Delta LQ1on$ が増大し、PWMセンターが最大値1のとき、オン損失 $\Delta LQ1on$ は最大値 $\Delta LQ1on_max (= Von1 \times Iu)$ になる。一方、PWMセンターが小さくなると、ダイオードD2のオン損失 $\Delta LD2on$ が増大し、PWMセンターが最小値0のとき、オン損失 $\Delta LD2on$ は最大値 $\Delta LD2on_max (= Von2 \times Iu)$ になる。

[0074] ここで、トランジスタQ1のオン電圧 $Von1$ とダイオードD2のオン電圧 $Von2$ との比が仮に2:1であるとした場合、トランジスタQ1のオン損失 $\Delta LQ1on$ とダイオードD2のオン損失 $\Delta LD2on$ とが等しいとすると、(3)、(4)式より $x = 0.33$ が得られる。したが

って、トランジスタQ1のオン電圧 V_{on1} とダイオードD2のオン電圧 V_{on2} との比が2:1の場合、PWMセンターを0.5(中心値)から0.33にシフトすることによって、トランジスタQ1とダイオードD2との発熱を均衡化することができ、熱的に厳しいトランジスタQ1が過熱するのを防止することができる。

[0075] 図10は、PWMセンター操作時のスイッチング周波数とインバータ損失との関係を示した図である。図10を参照して、線k1~k3は、図4に示したとおりである。線k7は、PWMセンター操作時のオン損失を示す。線k8は、PWMセンター操作時のオン損失とスイッチング損失とを合計した全体損失を示す。

[0076] 図10から分かるように、オン損失が支配的となる低スイッチング周波数領域において、PWMセンター操作による損失低減の効果が大きい。言い換えると、スイッチング周波数が中高周波数の領域では、PWMセンター操作による損失低減の効果は小さい。したがって、この実施の形態1では、オン損失が支配的となる低スイッチング周波数領域において、PWMセンターを可変制御することにより、熱的に厳しい状況を回避することとしたものである。

[0077] なお、上記においては、U相アーム12からモータジェネレータMGへ電流が流れる場合(電流が正の場合)について説明したが、モータジェネレータMGからU相アーム12へ電流が流れる場合(電流が負の場合)についても同様に考えることができる。すなわち、この場合は、下アームのトランジスタQ2がオンしているとき、トランジスタQ2に電流 I_u (負)が流れ、上アームのトランジスタQ1がオンしているとき、ダイオードD1に電流 I_u (負)が流れる。そして、トランジスタQ2のオン電圧とダイオードD1のオン電圧との比が仮に2:1であるとした場合、PWMセンター $x=0.67$ が得られる。したがって、モータジェネレータMGからU相アーム12へ電流が流れている場合は、PWMセンターを0.5(中心値)から0.67にシフトすることによって、トランジスタQ2とダイオードD1との発熱を均衡化することができ、熱的に厳しいトランジスタQ2が過熱するのを防止することができる。

[0078] 図11は、図2に示したPWMセンター制御部66の制御構造を説明するためのフローチャートである。なお、このフローチャートに示される処理は、一定時間ごとまたは所定の条件成立時にメインルーチンから呼出されて実行される。

- [0079] 図11を参照して、PWMセンター制御部66は、キャリア周波数設定部64からキャリア周波数FCを取得する(ステップS10)。そして、PWMセンター制御部66は、そのキャリア周波数FCが予め定められたしきい値よりも低いかな否かを判定する(ステップS20)。なお、このしきい値は、インバータの各スイッチング素子の熱設計に基づいて、オフライン実験などで予め求めておくことができる。
- [0080] そして、キャリア周波数FCがしきい値よりも低いと判定されると(ステップS20においてYES)、PWMセンター制御部66は、モータ電流Iを取得し(ステップS30)、モータ電流の大きさが最大の相を検出する(ステップS40)。次いで、PWMセンター制御部66は、その電流最大相のモータ電流が正值かな否かを判定する(ステップS50)。
- [0081] 電流最大相のモータ電流が正值であると判定されると(ステップS50においてYES)、PWMセンター制御部66は、PWMセンターが0.5(搬送波の中央値)よりも小さくなるようにPWMセンター補正值 ΔCE を生成してPWM信号生成部68へ出力する(ステップS60)。
- [0082] 一方、電流最大相のモータ電流が負値であると判定されると(ステップS50においてNO)、PWMセンター制御部66は、PWMセンターが0.5よりも大きくなるようにPWMセンター補正值 ΔCE を生成してPWM信号生成部68へ出力する(ステップS70)。
- [0083] 図12は、PWMセンターの変化の一例を示した図である。図12を参照して、横軸は、モータ回転角 θ を示し、U相モータ電流 I_u が0となるときの $\theta = 0^\circ$ とする。モータ回転角 θ が $0^\circ \sim 60^\circ$ 、 $120^\circ \sim 180^\circ$ および $240^\circ \sim 300^\circ$ のとき、すなわち電流最大相のモータ電流が負値のとき、PWMセンターは、0.5よりも大きくなるように変更される。一方、モータ回転角 θ が $60^\circ \sim 120^\circ$ 、 $180^\circ \sim 240^\circ$ および $300^\circ \sim 360^\circ$ のとき、すなわち電流最大相のモータ電流が正值のとき、PWMセンターは、0.5よりも小さくなるように変更される。
- [0084] なお、この図12に示されるモータ回転角 θ 1およびPWMセンター値C1については、後ほど実施の形態2において説明する。
- [0085] なお、この図12に示したPWMセンターの波形は一例であり、たとえばモータ回転角 θ の変化に対して非連続であってもよい。但し、モータ回転角 θ の変化に対して

連続的な波形のほうが、インバータ10における損失を素子間でバランスさせることができる。

[0086] なお、PWMセンターを変更しても、各相変調波の相対的な関係は維持されるので、モータジェネレータMGの発生トルクに寄与する相間電圧は変化しない。

[0087] 以上のように、この実施の形態1においては、インバータ10のキャリア周波数(スイッチング周波数)が予め定められたしきい値よりも低いとき、すなわち、オン損失が支配的となる低スイッチング周波数のとき、PWMセンターを可変制御することによってインバータ10のオン損失を低減する。したがって、この実施の形態1によれば、インバータ10の損失を効果的に低減することができる。

[0088] [実施の形態2]

上述したように、モータ回転数が極めて低いモータロック状態時は、特定の相に電流が集中することによって熱的に厳しい状況が顕著に発生する。そこで、この実施の形態2では、インバータのスイッチング周波数が低く、かつ、モータロック状態が検出されているときにPWMセンターの可変制御が実行される。

[0089] この実施の形態2による電動車両のパワートレーン構成は、図1に示した実施の形態1による電動車両100と同じである。

[0090] 図13は、実施の形態2におけるECU20Aの機能ブロック図である。図13を参照して、ECU20Aは、図2に示した実施の形態1におけるECU20の構成において、PWMセンター制御部66に代えてPWMセンター制御部66Aを含む。

[0091] PWMセンター制御部66Aは、回転数算出部62からモータ回転角 θ およびモータ回転数MRNを受け、キャリア周波数設定部64からキャリア周波数FCを受ける。そして、PWMセンター制御部66Aは、キャリア周波数FCが予め定められたしきい値よりも低く、かつ、モータ回転数MRNが予め定められたしきい値よりも低いとき、上述の方法により、PWMセンターを可変制御するためのPWMセンター補正值 ΔCE を生成し、その生成したPWMセンター補正值 ΔCE をPWM信号生成部68へ出力する。

[0092] 図14は、図13に示したPWMセンター制御部66Aの制御構造を説明するためのフローチャートである。なお、このフローチャートに示される処理も、一定時間ごとまたは所定の条件成立時にメインルーチンから呼出されて実行される。

[0093] 図14を参照して、このフローチャートは、図11に示したフローチャートにおいて、ステップS22, S24をさらに含む。すなわち、ステップS20においてキャリア周波数FCがしきい値よりも低いと判定されると(ステップS20においてYES)、PWMセンター制御部66Aは、モータ回転数MRNおよびモータ回転角 θ を取得する(ステップS22)。

[0094] 次いで、PWMセンター制御部66Aは、モータ回転数MRNが予め定められたしきい値よりも低いかな否かを判定する(ステップS24)。このしきい値は、モータロック状態を検出するための値である。なお、モータロック状態は、たとえば登坂時に前進トルクと車重とが釣り合ったときなどに発生し得る。そして、モータ回転数MRNがしきい値よりも低く、ステップS24においてモータロック状態が検出されると(ステップS24においてYES)、PWMセンター制御部66Aは、ステップS30へ処理を移行する。

[0095] 図15は、モータロック時の変調波の波形図である。なお、この図15では、モータロック時のモータ回転角が図12に示した θ_1 のときの変調波の波形が示される。また、この図15では、比較のため、PWMセンターを変更しない場合(従来技術相当)の変調波の波形も併せて示される。

[0096] 図15を参照して、三角波CRは搬送波(キャリア)を示す。曲線k11~k13は、モータロック時のモータ回転角が θ_1 のときのU相変調波、V相変調波およびW相変調波をそれぞれ示す。上述のように、モータ回転角が θ_1 のとき、電流最大相のU相の電流は正值であり、PWMセンターは、0.5よりも小さいC1に変更される。したがって、各相変調波は、0.5よりも小さいC1を中心とした正弦波となる。

[0097] 一方、曲線k14~k16は、PWMセンターを変更しない場合の各相変調波を示す。この場合は、各相変調波は、0.5(搬送波の中央値)を中心とした正弦波となる。

[0098] そして、PWM信号は、変調波が搬送波よりも大きいとき、上アームのトランジスタがオン(下アームのトランジスタはオフ)するように生成されるところ、PWMセンターが0.5よりも小さいC1に変更されると、PWMセンターを変更しない場合(0.5)に比べて、各相上アームのトランジスタのオン時間が短くなる。したがって、モータ回転角が θ_1 のとき、電流最大相のU相における上アームのトランジスタQ1のオン損失が低減し、U相の過熱を防止することができる。

[0099] 以上のように、この実施の形態2においては、インバータ10のキャリア周波数(スイッチング周波数)が予め定められたしきい値よりも低く、かつ、モータ回転数MRNが予め定められたしきい値よりも低いとき(モータロック状態検出時)、すなわち、モータ回転数MRNが低いために特定の相に電流が集中することによって熱的に厳しい状況が顕著に現れるとき、PWMセンターを可変制御するようにしたので、支配的となるオン損失が効果的に低減される。したがって、この実施の形態2によれば、特定の素子または相に電流が集中して流れるのを抑止することができる。その結果、インバータ10が過熱損傷するのを防止することができる。

[0100] [実施の形態3]

実施の形態3では、モータロック時におけるPWMセンターの変更量の一例が示される。具体的には、この実施の形態3では、電流最大相のオン損失の低減を図りつつ各相のオン損失がバランスするように、PWMセンターが変更される。

[0101] 実施の形態3による電動車両およびECUの全体構成は、それぞれ図1に示した電動車両100および図13に示したECU20Aと同じである。以下、実施の形態3におけるPWMセンターの決定方法を説明する。

[0102] いま、図12に示したモータ回転角 θ_1 (U相モータ電流 I_u がピーク時) でモータロック状態が発生している場合を想定する。また、ダイオードD1～D6は、トランジスタQ1～Q6に比べて熱的に余裕があるものとする。

[0103] U相上アームのトランジスタQ1の損失 ΔL_u は、次式で表わすことができる。

$$\Delta L_u = \int (V_{CE} \times I_{CE}) dt + \int (V_{ON1} \times I_{CE}) dt \quad \cdots (5)$$

ここで、右辺第1項はスイッチング損失を示し、右辺第2項はオン損失を示す。 V_{CE} はコレクターエミッタ間電圧を示し、 I_{CE} はトランジスタQ1に流れる電流を示す。 V_{ON1} はトランジスタQ1がオンしているときのコレクターエミッタ間電圧(オン電圧)を示す。

[0104] 一方、V相下アームのトランジスタQ4およびW相下アームのトランジスタQ6の各々には、 $I_{CE}/2$ のオン電流が流れるので、トランジスタQ4またはQ6の損失 ΔL_v は、次式で表わすことができる。

$$\Delta L_v = \int (V_{CE} \times I_{CE} / 2) dt + \int (V_{ON2} \times I_{CE} / 2) dt \quad \cdots (6)$$

ここで、右辺第1項はスイッチング損失を示し、右辺第2項はオン損失を示す。 V_{ON2}

はトランジスタQ4(またはQ6)のオン電圧を示す。

- [0106] 図3でも説明したように、モータ回転数MRNが極めて低いモータロック状態時は、キャリア周波数FCが低く設定され、インバータ10の損失についてはオン損失が支配的となる。そして、各相のオン損失をバランスさせるためには、次式が成立すればよい。

$$[0107] \quad \int (V_{ON1} \times I_{CE}) dt = \int (V_{ON2} \times I_{CE} / 2) dt \quad \cdots (7)$$

一方、U相上アームのトランジスタQ1およびV相下アームのトランジスタQ4(またはW相下アームのトランジスタQ6)のオン時間を以下のように定義する。

- [0108] 図16は、PWMセンターとトランジスタのオン時間との関係を説明するための図である。図16を参照して、PWMセンターを x ($0 \leq x \leq 1$)とする。そして、U相上アームのトランジスタQ1のオン時間を x と定義すると、V相下アームのトランジスタQ4のオン時間は $(1-x)$ となる。そうすると、(7)式から次式が導かれる。

$$[0109] \quad V_{ON1} \times I_{CE} \times x = V_{ON2} \times (I_{CE} / 2) \times (1-x) \quad \cdots (8)$$

$$x = V_{ON2} / (2 \times V_{ON1} + V_{ON2}) \quad \cdots (9)$$

(9)式より、たとえば $V_{ON2} = V_{ON1} / 2$ とすると、 $x = 0.2$ が得られる。

- [0110] 以上のように、この実施の形態3によれば、電流最大相のオン損失の低減を図りつつ各相のオン損失をバランスさせることができる。

[0111] [実施の形態4]

上記の各実施の形態では、PWMセンターを変更することにより電流最大相のオン損失を低減してインバータの過熱を防止する。一方、この実施の形態4では、スイッチング損失の方がオン損失よりも大きいことが事前に判っている場合、電流最大相のスイッチング損失を低減してインバータの過熱を防止する。

- [0112] 実施の形態4による電動車両およびECUの全体構成は、それぞれ図1に示した電動車両100および図13に示したECU20Aと同じである。

- [0113] 図17は、実施の形態4におけるPWMセンター制御部の制御構造を説明するためのフローチャートである。図17を参照して、このフローチャートは、図14に示したフローチャートにおいて、ステップS60, S70に代えてそれぞれステップS65, S75を含む。すなわち、ステップS50において電流最大相のモータ電流が正值であると判定さ

れると(ステップS50においてYES)、PWMセンター制御部66Aは、電流最大相の上アームのトランジスタが常時オン状態となるようにPWMセンター補正值 ΔCE を生成してPWM信号生成部68へ出力する(ステップS65)。

[0114] 具体的には、PWMセンター制御部66Aは、電流最大相の変調波の値を最大値1から差引いた値をPWMセンター補正值 ΔCE とする。これにより、電流最大相の変調波は最大値1となり、当該相のトランジスタのスイッチングが停止する(上アームが常時オン状態)。そして、その他の相による二相変調制御が行なわれる。

[0115] 一方、ステップS50において電流最大相のモータ電流が負値であると判定されると(ステップS50においてNO)、PWMセンター制御部66Aは、電流最大相の下アームのトランジスタが常時オン状態となるようにPWMセンター補正值 ΔCE を生成してPWM信号生成部68へ出力する(ステップS75)。

[0116] 具体的には、PWMセンター制御部66Aは、電流最大相の変調波の符号を反転した値をPWMセンター補正值 ΔCE とする。これにより、電流最大相の変調波は最小値0となり、当該相のトランジスタのスイッチングが停止する(下アームが常時オン状態)。そして、その他の相による二相変調制御が行なわれる。

[0117] 図18は、実施の形態4におけるPWMセンターの変化を示した図である。図18を参照して、モータ回転角 θ が $0^\circ \sim 60^\circ$ 、 $120^\circ \sim 180^\circ$ および $240^\circ \sim 300^\circ$ のとき、すなわち電流最大相のモータ電流が負値のとき、PWMセンターは、電流最大相の変調波が最小値0になるように変更される。一方、モータ回転角 θ が $60^\circ \sim 120^\circ$ 、 $180^\circ \sim 240^\circ$ および $300^\circ \sim 360^\circ$ のとき、すなわち電流最大相のモータ電流が正值のとき、PWMセンターは、電流最大相の変調波が最大値1になるように変更される。

[0118] たとえば、モータロック状態が検出されたときのモータ回転角が $\theta 1$ のとき、電流最大相はU相であり、U相モータ電流 I_u は正值であるので、PWMセンターはC2に変更される。

[0119] 図19は、実施の形態4におけるモータロック時の変調波の波形図である。なお、この図19では、モータロック時のモータ回転角が図18に示した $\theta 1$ のときの変調波の波形が示される。

[0120] 図19を参照して、直線k21および曲線k22, k23は、モータロック時のモータ回転角が θ_1 のときのU相変調波、V相変調波およびW相変調波をそれぞれ示す。上述のように、モータ回転角が θ_1 のとき、電流最大相のU相の電流は正值であり、PWMセンターは、U相変調波が最大値1となるようにC2に変更される。したがって、U相アームのスイッチングは停止し(上アームのトランジスタが常時オン状態)、V相およびW相による二相変調制御が行なわれる。

[0121] なお、この実施の形態4においても、各相変調波の相対的な関係は維持されるので、モータジェネレータMGの発生トルクに寄与する相間電圧は変化しない。

[0122] 以上のように、この実施の形態4においては、スイッチング損失の方がオン損失よりも大きい場合、モータロック状態が検出されると、電流最大相のスイッチングが停止し、かつ、その他の相による二相変調制御が行なわれるようにPWMセンターを変更するので、電流最大相のスイッチング損失は0となる。したがって、この実施の形態4によれば、モータロック時のインバータ10の過熱を防止することができる。

[0123] [実施の形態5]

実施の形態5では、インバータの各トランジスタの温度を実際に検出し、最も温度が高いトランジスタの温度が下がるようにPWMセンターが変更される。

[0124] 図20は、実施の形態5による電動車両のパワートレーン構成を示した図である。図20を参照して、この電動車両100Aは、図1に示した電動車両100の構成において、温度センサ31~36をさらに備え、ECU20に代えてECU20Bを備える。

[0125] 温度センサ31~36は、トランジスタQ1~Q6の温度T11~T16をそれぞれ検出し、その検出値をECU20Bへ出力する。ECU20Bは、電圧Vdc、モータ電流I、モータ回転角 θ および温度T11~T16に基づいて、後述の方法により、インバータ10を駆動するための信号PWMIを生成し、その生成した信号PWMIをインバータ10のトランジスタQ1~Q6へ出力する。

[0126] 図21は、図20に示したECU20Bの機能ブロック図である。図21を参照して、ECU20Bは、図13に示したECU20Aの構成において、PWMセンター制御部66Aに代えてPWMセンター制御部66Bを含む。PWMセンター制御部66Bは、モータ回転角 θ 、モータ回転数MRN、モータ電流Iおよび温度T11~T16に基づいて、後述の

方法によりPWMセンター補正值 ΔCE を生成し、その生成したPWMセンター補正值 ΔCE をPWM信号生成部68へ出力する。

[0127] 図22は、図21に示したPWMセンター制御部66Bの制御構造を説明するためのフローチャートである。図22を参照して、このフローチャートは、図14に示したフローチャートにおいて、ステップS80～S130をさらに含む。すなわち、ステップS60またはS70においてPWMセンター補正值 ΔCE が決定されると、PWMセンター制御部66Bは、トランジスタQ1～Q6の温度T11～T16を取得し(ステップS80)、温度T11～T16のうち最大のものが規定値を超えているか否かを判定する(ステップS90)。なお、この規定値は、たとえばトランジスタQ1～Q6の耐熱温度に基づいて決定される。

[0128] 最大温度が規定値を超えていないと判定されると(ステップS90においてNO)、ステップS130へ処理が移行する。一方、最大温度が規定値を超えていると判定されると(ステップS90においてYES)、PWMセンター制御部66Bは、その温度最大の相のモータ電流が正值か否かを判定する(ステップS100)。

[0129] 温度最大相のモータ電流が正值であると判定されると(ステップS100においてYES)、PWMセンター制御部66Bは、ステップS60またはS70において生成されたPWMセンター補正值 ΔCE をPWMセンターが小さくなる方向に修正する(ステップS110)。一方、温度最大相のモータ電流が負値であると判定されると(ステップS100においてNO)、PWMセンター制御部66Bは、PWMセンターが大きくなる方向にPWMセンター補正值 ΔCE を修正する(ステップS120)。

[0130] そして、PWMセンター制御部66Bは、PWMセンター補正值 ΔCE をPWM信号生成部68へ出力する(ステップS130)。

[0131] なお、ステップS110、S120におけるPWMセンター補正值 ΔCE の修正量は、予め定められた固定量でもよいし、規定値からの温度超過量に応じた量としてもよい。

[0132] 以上のように、この実施の形態5によれば、さらにインバータ10のトランジスタQ1～Q6の温度に基づいてPWMセンターを補正するようにしたので、インバータ10の過熱を確実に防止することができる。

[0133] [実施の形態6]

実施の形態5では、インバータの各トランジスタの温度が考慮されたが、この実施の

形態6では、ダイオードD1～D6の温度もさらに考慮される。

[0134] 図23は、実施の形態6による電動車両のパワートレーン構成を示した図である。図23を参照して、この電動車両100Bは、図20に示した実施の形態5による電動車両100Aの構成において、温度センサ41～46をさらに備え、ECU20Bに代えてECU20Cを備える。

[0135] 温度センサ41～46は、ダイオードD1～D6の温度T21～T26をそれぞれ検出し、その検出値をECU20Cへ出力する。ECU20Cは、電圧Vdc、モータ電流I、モータ回転角 θ および温度T11～T16, T21～T26に基づいて、後述の方法により、インバータ10を駆動するための信号PWMIを生成し、その生成した信号PWMIをインバータ10のトランジスタQ1～Q6へ出力する。

[0136] 図24は、図23に示したECU20Cの機能ブロック図である。図24を参照して、ECU20Cは、図13に示したECU20Aの構成において、PWMセンター制御部66Aに代えてPWMセンター制御部66Cを含む。PWMセンター制御部66Cは、モータ回転角 θ 、モータ回転数MRN、モータ電流Iおよび温度T11～T16, T21～T26に基づいて、後述の方法によりPWMセンター補正值 ΔCE を生成し、その生成したPWMセンター補正值 ΔCE をPWM信号生成部68へ出力する。

[0137] 図25は、図24に示したPWMセンター制御部66Cの制御構造を説明するためのフローチャートである。図25を参照して、このフローチャートは、図22に示したフローチャートにおいて、ステップS80, S90に代えてステップS85, S95を含み、ステップS102, S104をさらに含む。すなわち、ステップS60またはS70においてPWMセンター補正值 ΔCE が決定されると、PWMセンター制御部66Cは、トランジスタQ1～Q6の温度T11～T16およびダイオードD1～D6の温度T21～T26を取得し(ステップS85)、温度T11～T16, T21～T26のうち最大のものが規定値を超えているか否かを判定する(ステップS95)。

[0138] その後、ステップS100において温度最大相のモータ電流が正值であると判定されると(ステップS100においてYES)、PWMセンター制御部66Cは、温度が最大の素子がトランジスタであるかダイオードであるかを判定する(ステップS102)。ステップS102において当該素子がトランジスタであると判定されると(ステップS102において「

Tr」)、PWMセンター制御部66Cは、ステップS110へ処理を移行する。ステップS102において当該素子がダイオードであると判定されると(ステップS102において「Di」)、PWMセンター制御部66Cは、ステップS120へ処理を移行する。

[0139] 一方、ステップS100において温度最大相のモータ電流が負値であると判定されると(ステップS100においてNO)、PWMセンター制御部66Cは、温度が最大の素子がトランジスタであるかダイオードであるかを判定する(ステップS104)。ステップS104において当該素子がトランジスタであると判定されると(ステップS104において「Tr」)、PWMセンター制御部66Cは、ステップS120へ処理を移行する。ステップS104において当該素子がダイオードであると判定されると(ステップS104において「Di」)、PWMセンター制御部66Cは、ステップS110へ処理を移行する。

[0140] 以上のように、この実施の形態6によれば、トランジスタQ1～Q6だけでなくダイオードD1～D6の温度も考慮するので、インバータ10の過熱をさらに確実に防止することができる。

[0141] [実施の形態7]

この実施の形態7では、インバータの素子温度が規定値を超えた場合には、最も温度が高い相の電流を低減するようにモータ電流の位相を変化させる。

[0142] 図26は、各相モータ電流の波形を示した図である。図26を参照して、横軸は電流位相を示し、この電流位相はモータ回転角 θ に対応する。いま、モータロック状態が検出されたときの電流位相が θ_1 であるとする。この場合、U相上アームのトランジスタQ1に電流が集中し、トランジスタQ1の温度が上昇するところ、この実施の形態7では、トランジスタQ1の温度が規定値を超えると、U相モータ電流 I_u が低減するように(たとえば0となるように)電流位相を強制的に変化させる。

[0143] なお、電流位相を変化させると、その位相変化分だけモータジェネレータMGが回転し、車両が僅かに移動する。そこで、電流位相を変化させる方向は、車両の進行方向と逆方向に対応する回転方向にモータジェネレータMGが回転する方向とする。これは、モータロック時は進行方向に進行できないので(登坂時など)、車両の進行方向に対応する回転方向にモータジェネレータMGが回転するように電流位相を変更しても釣合状態に移行できないからである。一方、車両の進行方向と逆方向に対

応する回転方向にモータジェネレータMGが回転するように電流位相を変更すると、車両がずり下がって釣合状態に移行する。

[0144] この実施の形態7による電動車両の全体構成は、図23に示した電動車両100Bと同じである。

[0145] 図27は、実施の形態7におけるECUの機能ブロック図である。図27を参照して、ECU20Dは、図24に示したECU20Cの構成において、位相変更部70と、加算部72とをさらに含む。

[0146] 位相変更部70は、モータ回転角 θ 、モータ回転数MRNおよび温度T11～T16、T21～T26に基づいて、後述の方法により位相変更量 α を算出し、その算出した位相変更量 α を加算部72へ出力する。なお、モータ回転数MRNは、回転数算出部62から受ける。加算部72は、回転角センサ26によって検出されたモータ回転角 θ に位相変更量 α を加算し、その演算結果をモータ回転角として座標変換部54、60へ出力する。

[0147] 図28は、図27に示した位相変更部70の制御構造を説明するためのフローチャートである。図28を参照して、位相変更部70は、キャリア周波数設定部64からキャリア周波数FCを取得すると(ステップS210)、キャリア周波数FCが予め定められたしきい値よりも低いかな否かを判定する(ステップS220)。キャリア周波数FCがしきい値よりも低いと判定されると(ステップS220においてYES)、位相変更部70は、モータ回転数MRNおよびモータ回転角 θ を取得し(ステップS230)、モータ回転数MRNが予め定められたしきい値よりも低いかな否かを判定する(ステップS240)。このしきい値は、モータロック状態を検出するための値である。

[0148] モータ回転数MRNがしきい値よりも低く、モータロック状態が検出されると(ステップS240においてYES)、位相変更部70は、トランジスタQ1～Q6の温度T11～T16およびダイオードD1～D6の温度T21～T26を取得し(ステップS250)、温度T11～T16、T21～T26のうち最大のものが規定値を超えているかな否かを判定する(ステップS260)。この規定値は、たとえばトランジスタQ1～Q6の耐熱温度に基づいて決定される。

[0149] そして、最大温度が規定値を超えていると判定されると(ステップS260においてY

ES)、位相変更部70は、その温度最大の相のモータ電流が減少するように、そのときのモータ回転角 θ に基づいて位相変更量 α を算出する(ステップS270)。具体的には、各相ごとにモータ電流が0となる位相は既知であるので、車両の進行方向と逆方向に対応する回転方向にモータジェネレータMGが回転する方向であって、現在のモータ回転角 θ と電流最大相の電流が0となる位相との位相差を位相変更量 α とする。

[0150] なお、モータロック状態の検出は、PWMセンター制御部における検出結果を用いてもよい。

[0151] この実施の形態7によれば、温度最大相の電流が低減するので、温度最大相の素子温度を確実に低減させることができる。なお、この実施の形態7は、PWMセンターを変化させても素子温度が規定値を超える場合に有効である。したがって、ステップS260における温度規定値は、PWMセンター制御部における温度規定値よりも高めに設定してもよい。

[0152] [実施の形態8]

上記の実施の形態2～7は、モータロック時に関するものであったが、この実施の形態8では、モータロック状態でないモータ回転数域においても、インバータ全体の損失低減を目的にPWMセンターを可変制御する。

[0153] 図29は、モータ回転数MRNに対するPWMセンターの制御範囲を示した図である。図29を参照して、横軸はモータ回転数MRNを示し、N1はモータロック状態の検出しきい値を示す。モータ回転数MRNがN1よりも低いとき、すなわちモータロック時は、上記実施の形態2～7のいずれかで示された制御に従って0～1の範囲でPWMセンターを変化させることにより、インバータ10の過熱が抑制される。

[0154] モータ回転数MRNがN1以上のときは、インバータ全体の損失が最小となるように予めオフラインで求められた値にPWMセンターが制御される。すなわち、インバータ10の損失合計が最小となるPWMセンターを電流位相ごとに実験などで予め求めておき、モータ回転角 θ ごとにPWMセンターをマップ化する。そして、そのマップを用いてモータ回転角 θ に基づいてPWMセンターを設定する。たとえば、PWMセンターは、図12に示すような変化を示してもよい。

- [0155] ここで、モータ回転数MRNが上昇すると、各相電圧指令が大きくなり、変調波の振幅が大きくなるので、PWMセンターの制御範囲は、モータ回転数MRNの上昇に伴ない制限される。そして、変調波の振幅が最大となるモータ回転数をN2とすると、モータ回転数MRNがN2以上になるとPWMセンターを0.5から変化させることができなくなる。
- [0156] そこで、この実施の形態8では、図29に示される実線の範囲内でPWMセンターが可変制御される。すなわち、モータ回転数MRNがN1からN2の範囲では、図29に示される実線の範囲内でインバータ全体の損失が最小となるように、マップを用いてPWMセンターが設定される。そして、モータ回転数MRNがN2を超えると、PWMセンターは0.5固定となる。
- [0157] 実施の形態8による電動車両およびECUの全体構成は、それぞれ図23に示した電動車両100Bおよび図24に示したECU20Cと同じである。
- [0158] 図30は、実施の形態8におけるPWMセンター制御部66Dの制御構造を説明するためのフローチャートである。図30を参照して、PWMセンター制御部66Dは、キャリア周波数設定部64からキャリア周波数FCを取得すると(ステップS310)、キャリア周波数FCが予め定められたしきい値よりも低いかなかを判定する(ステップS320)。キャリア周波数FCがしきい値よりも低いと判定されると(ステップS320においてYES)、PWMセンター制御部66Dは、モータ回転数MRNおよびモータ回転角 θ を取得し(ステップS330)、モータ回転数MRNがしきい値N1よりも低いかなかを判定する(ステップS340)。このしきい値N1は、モータロック状態を検出するための値である。
- [0159] モータ回転数MRNがしきい値N1よりも低いと判定されると(ステップS340においてYES)、PWMセンター制御部66Dは、過熱抑制用のPWMセンターが設定されるようにPWMセンター補正值 ΔCE を生成する(ステップS360)。具体的には、PWMセンター制御部66Dは、上記の各実施の形態で説明した手法を用いてPWMセンター補正值 ΔCE を算出する。
- [0160] ステップS340においてモータ回転数MRNがしきい値N1以上であると判定されると(ステップS340においてNO)、PWMセンター制御部66Dは、モータ回転数MRNがしきい値N2($>N1$)よりも低いかなかを判定する(ステップS350)。

[0161] モータ回転数MRNがしきい値N2よりも低いと判定されると(ステップS350においてYES)、PWMセンター制御部66Dは、損失最小用のPWMセンターが設定されるようにPWMセンター補正值 ΔCE を生成する(ステップS370)。具体的には、PWMセンター制御部66Dは、予め求められたマップを用いて、モータ回転角 θ に基づいて損失最小用のPWMセンターを決定し、その決定したPWMセンターに基づいてPWMセンター補正值 ΔCE を算出する。

[0162] ステップS350においてモータ回転数MRNがしきい値N2以上であると判定されると(ステップS350においてNO)、PWMセンター制御部66Dは、PWMセンターが0.5となるようにPWMセンター補正值 ΔCE を0とする(ステップS380)。そして、PWMセンター制御部66Dは、PWMセンター補正值 ΔCE をPWM信号生成部68へ出力する(ステップS390)。

[0163] この実施の形態8によれば、モータロック状態でないモータ回転数域($<N2$)においては、インバータ全体の損失を低減するようにPWMセンターを可変制御するようにしたので、エネルギーコストを低減することができる。

[0164] [実施の形態9]

上述のように、モータ回転数MRNが上昇すると、変調波の振幅が大きくなるので、PWMセンター値の制御範囲を制限しても、実際に変調波が上下限(0, 1)にかかる場合も想定される。また、モータロック領域(モータ回転数がN1よりも低い領域)においても、車両の状況によっては変調波が上下限にかかり得る。そこで、この実施の形態9では、変調波が上下限(0, 1)を超えない範囲にPWMセンターの可変領域をリアルタイムで制限する。

[0165] 図31は、変調波の一波形図である。図31を参照して、曲線k31~k33は、各相変調波を示し、三角波CRは搬送波を示す。PWMセンターは $CE(>0.5)$ であり、このとき各相変調波のピーク値は上限値(1)に達している。この実施の形態9では、PWMセンターがこの CE を超えないようにPWMセンター補正值 ΔCE が制限される。

[0166] 実施の形態9による電動車両およびECUの全体構成は、実施の形態8と同じである。

図32は、実施の形態9におけるPWMセンター制御部66Eの制御構造を説明する

ためのフローチャートである。図32を参照して、このフローチャートは、図30に示したフローチャートにおいてステップS400～S450をさらに含む。すなわち、ステップS360またはS370においてPWMセンター補正值 ΔCE が算出されると、そのPWMセンター補正值 ΔCE に基づいて各相変調波が再計算される(ステップS400)。そして、その再計算された変調波の最大ピーク値および最小ピーク値が算出される(ステップS410)。

[0167] そして、PWMセンター制御部66Eは、変調波の最大ピーク値が所定値Aより大きいかな否かを判定する(ステップS420)。なお、所定値Aは、搬送波の最大値であり、この実施の形態では1である。

[0168] ステップS420において変調波の最大ピーク値が所定値Aより大きいと判定されると(ステップS420においてYES)、PWMセンター制御部66Eは、(最大ピーク値－A)だけPWMセンターが小さくなるようにPWMセンター補正值 ΔCE を修正する(ステップS430)。その後、PWMセンター制御部66Eは、ステップS390へ処理を移行する。

[0169] 一方、ステップS420において変調波の最大ピーク値が所定値A以下であると判定されると(ステップS420においてNO)、PWMセンター制御部66Eは、変調波の最小ピーク値が所定値Bより小さいかな否かを判定する(ステップS440)。なお、所定値Bは、搬送波の最小値であり、この実施の形態では0である。

[0170] ステップS440において変調波の最小ピーク値が所定値Bより小さいと判定されると(ステップS440においてYES)、PWMセンター制御部66Eは、(B－最小ピーク値)だけPWMセンターが大きくなるようにPWMセンター補正值 ΔCE を修正する(ステップS450)。その後、PWMセンター制御部66Eは、ステップS390へ処理を移行する。

[0171] 一方、ステップS440において変調波の最小ピーク値が所定値B以上であると判定されると(ステップS440においてNO)、PWMセンター制御部66Eは、ステップS390へ処理を移行する。

[0172] なお、ステップS380による処理が実行されると、PWMセンター制御部66Eは、ステップS390へ処理を移行する。

- [0173] 以上のように、この実施の形態9においては、変調波が上下限を超えないようにリアルタイムでPWMセンターが制限される。ここで、PWMセンターの可変領域を事前に設定する場合、種々の部品やセンサのばらつきを考慮してマージンを確保する関係上、可変領域が狭くなり得るところ、この実施の形態9によれば、PWMセンターの可変領域を最大限広くとることができる。したがって、モータ制御が破綻しない範囲でインバータの損失を最大限抑制することができる。
- [0174] なお、上記の各実施の形態において、ECUにおける制御は、実際には、CPU(Central Processing Unit)によって行なわれ、CPUは、上記のフローチャートの各ステップを備えるプログラムをROM(Read Only Memory)から読出し、その読出したプログラムを実行して上記のフローチャートに従って処理を実行する。したがって、ROMは、上記のフローチャートの各ステップを備えるプログラムを記録したコンピュータ(CPU)読取可能な記録媒体に相当する。
- [0175] なお、上記の各実施の形態において、蓄電装置Bからの電圧を昇圧してインバータ10へ供給する昇圧コンバータを蓄電装置Bとインバータ10との間に設けてもよい。なお、そのような昇圧コンバータとしては、たとえば公知のチョッパ回路を用いることができる。
- [0176] また、この発明は、モータジェネレータMGを車両走行用の動力源として搭載する電気自動車のほか、さらに内燃機関を搭載するハイブリッド車両や、直流電源として燃料電池を搭載する燃料電池車に適用可能である。
- [0177] なお、上記において、モータジェネレータMGは、この発明における「交流モータ」に対応する。また、PWM信号生成部68は、この発明における「信号生成部」に対応し、PWMセンター制御部66、66A～66Eは、この発明における「制御部」に対応する。さらに、電流センサ24は、この発明における「電流検出部」に対応し、温度センサ31～36、41～46は、この発明における「温度検出部」に対応する。
- [0178] 今回開示された実施の形態は、すべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は、上記した実施の形態の説明ではなくて請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

請求の範囲

- [1] 車両走行用の動力源として交流モータ(MG)を搭載する電動車両の制御装置であって、
- 前記交流モータを駆動するインバータ(10)と、
- パルス幅変調法に基づいて、前記インバータのスイッチング素子をオン／オフするための信号を生成する信号生成部(68)と、
- 前記インバータのスイッチング周波数が予め定められた周波数よりも低いとき、前記信号生成部において用いられる変調波の中心値を可変制御することによって前記インバータの損失を低減可能に構成された制御部(66, 66A～66E)とを備える、電動車両の制御装置。
- [2] 前記予め定められた周波数は、前記インバータのスイッチング損失に対して前記インバータのオン損失が相対的に大きくなるスイッチング周波数の領域に基づいて設定される、請求の範囲第1項に記載の電動車両の制御装置。
- [3] 前記制御部は、前記インバータのスイッチング周波数が前記予め定められた周波数よりも低く、かつ、前記交流モータの回転数が予め定められた回転数よりも低いとき、前記変調波の中心値を可変制御することによって前記インバータにおける電流集中を抑止可能に構成される、請求の範囲第1項または第2項に記載の電動車両の制御装置。
- [4] 前記交流モータの各相電流を検出する電流検出部(24)をさらに備え、
- 前記制御部は、電流が最大の相において前記インバータから前記交流モータへ電流が流れているとき、前記信号生成部において用いられる搬送波の中央値よりも小さくなるように前記変調波の中心値を変更し、前記電流最大の相において前記交流モータから前記インバータへ電流が流れているとき、前記搬送波の中央値よりも大きくなるように前記変調波の中心値を変更する、請求の範囲第3項に記載の電動車両の制御装置。
- [5] 前記制御部は、前記インバータの各相におけるオン損失が均衡するように予め求められた値に前記変調波の中心値を変更する、請求の範囲第4項に記載の電動車両の制御装置。

- [6] 前記制御部は、電流が最大の相の変調波が所定の最大値または最小値となることによってその電流最大の相のスイッチング動作が停止してその他の相による変調制御が行なわれるように、前記変調波の中心値を変更する、請求の範囲第3項に記載の電動車両の制御装置。
- [7] 前記インバータの素子温度を検出する温度検出部(31～36, 41～46)をさらに備え、
前記制御部は、前記素子温度が最大の相において前記インバータから前記交流モータへ電流が流れているとき、前記信号生成部において用いられる搬送波の中央値よりも小さくなるように前記変調波の中心値を変更し、前記温度最大の相において前記交流モータから前記インバータへ電流が流れているとき、前記搬送波の中央値よりも大きくなるように前記変調波の中心値を変更する、請求の範囲第3項に記載の電動車両の制御装置。
- [8] 前記インバータの素子温度を検出する温度検出部(31～36, 41～46)と、
前記素子温度が最大の相に流れる電流値が減少するように前記変調波の位相を変更する位相変更部(70)とをさらに備える、請求の範囲第3項に記載の電動車両の制御装置。
- [9] 前記位相変更部は、前記電流値が略零となるように前記変調波の位相を変更する、請求の範囲第8項に記載の電動車両の制御装置。
- [10] 前記制御部は、前記交流モータの回転数が前記予め定められた回転数以上のとき、前記インバータの全体の損失が最小となるように前記変調波の位相ごとに予め求められた値に前記変調波の中心値を可変制御する、請求の範囲第3項に記載の電動車両の制御装置。
- [11] 前記制御部は、前記変調波の中心値を変更したことにより前記変調波のピークが搬送波のピークを超えた場合、前記変調波のピークが前記搬送波のピークよりも小さくなるように前記変調波の中心値を補正する、請求の範囲第10項に記載の電動車両の制御装置。
- [12] 車両の駆動力を発生する交流モータ(MG)と、
前記交流モータの出力軸に連結される車輪(DW)と、

請求の範囲第1項または第2項に記載の制御装置(20, 20A～20D)とを備える電動車両。

- [13] 車両走行用の動力源として交流モータ(MG)を搭載する電動車両の制御方法であって、

パルス幅変調法に基づいて、前記交流モータを駆動するインバータ(10)のスイッチング素子をオン／オフするための信号を生成する第1のステップと、

前記インバータのスイッチング周波数が予め定められた周波数よりも低いとき、前記信号の生成に用いる変調波の中心値を可変制御することによって前記インバータの損失を低減する第2のステップとを備える、電動車両の制御方法。

- [14] 前記予め定められた周波数は、前記インバータのスイッチング損失に対して前記インバータのオン損失が相対的に大きくなるスイッチング周波数の領域に基づいて設定される、請求の範囲第13項に記載の電動車両の制御方法。

- [15] 前記第2のステップにおいて、前記インバータのスイッチング周波数が前記予め定められた周波数よりも低く、かつ、前記交流モータの回転数が予め定められた回転数よりも低いとき、前記変調波の中心値を可変制御することによって前記インバータにおける電流集中が抑止される、請求の範囲第13項または第14項に記載の電動車両の制御方法。

- [16] 前記第2のステップにおいて、電流が最大の相において前記インバータから前記交流モータへ電流が流れているとき、前記信号の生成に用いる搬送波の中央値よりも小さくなるように前記変調波の中心値が変更され、前記電流最大の相において前記交流モータから前記インバータへ電流が流れているとき、前記搬送波の中央値よりも大きくなるように前記変調波の中心値が変更される、請求の範囲第15項に記載の電動車両の制御方法。

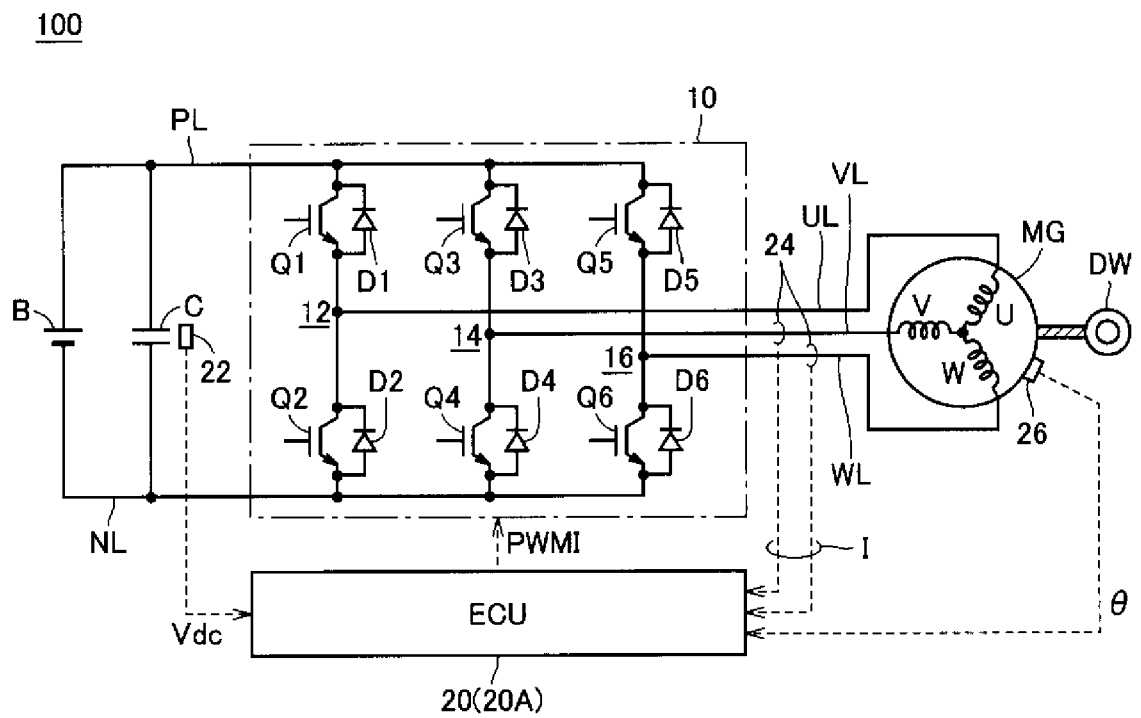
- [17] 前記第2のステップにおいて、前記インバータの各相におけるオン損失が均衡するように予め求められた値に前記変調波の中心値が変更される、請求の範囲第16項に記載の電動車両の制御方法。

- [18] 前記第2のステップにおいて、電流が最大の相の変調波が所定の最大値または最小値となることによってその電流最大の相のスイッチング動作が停止してその他の相

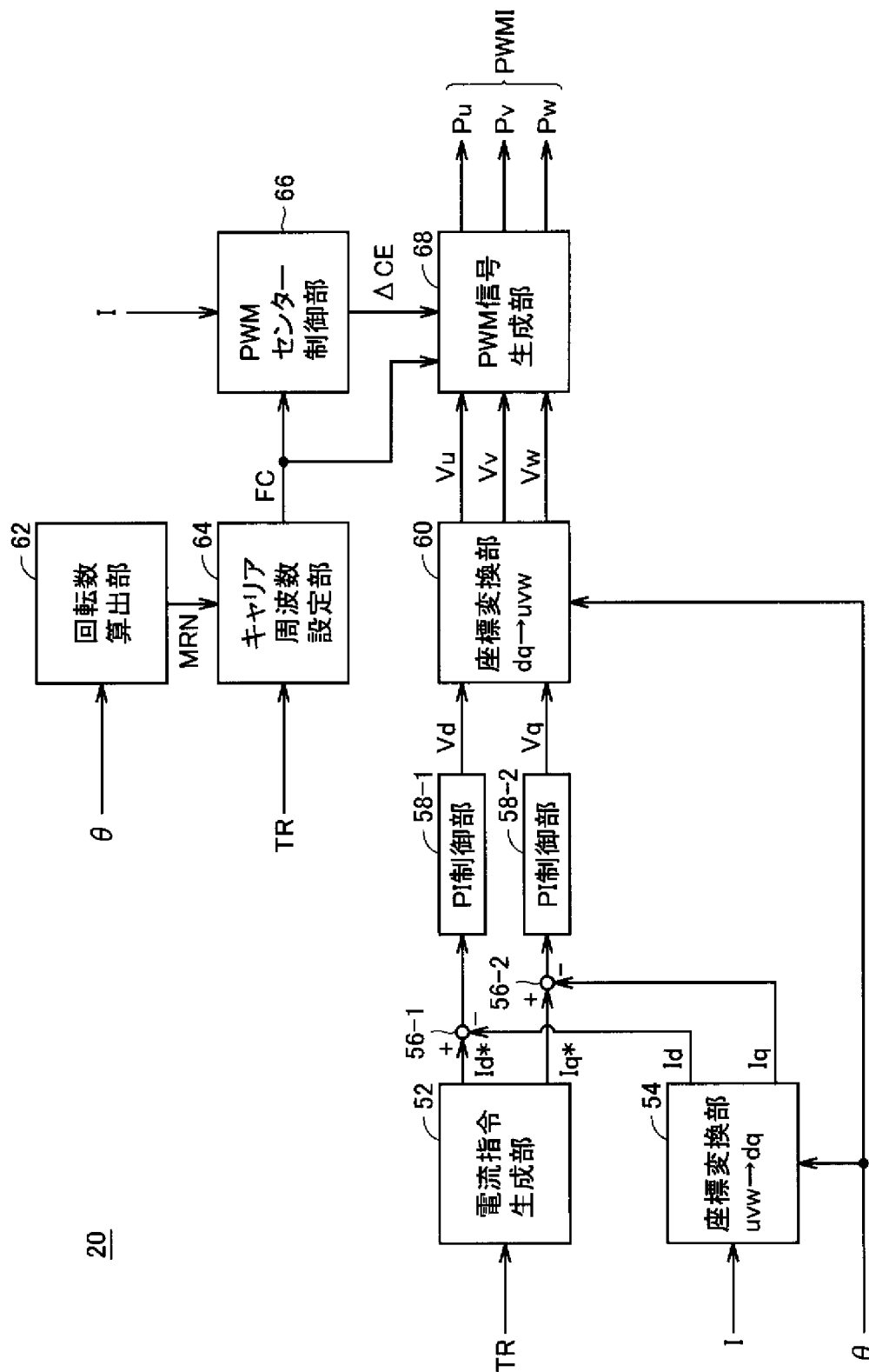
による変調制御が行なわれるように、前記変調波の中心値が変更される、請求の範囲第15項に記載の電動車両の制御方法。

- [19] 前記第2のステップにおいて、前記インバータの素子温度が最大の相において前記インバータから前記交流モータへ電流が流れているとき、前記信号の生成に用いる搬送波の中央値よりも小さくなるように前記変調波の中心値が変更され、前記温度最大の相において前記交流モータから前記インバータへ電流が流れているとき、前記搬送波の中央値よりも大きくなるように前記変調波の中心値が変更される、請求の範囲第15項に記載の電動車両の制御方法。
- [20] 前記インバータの素子温度が最大の相に流れる電流値が減少するように前記変調波の位相を変更する第3のステップをさらに備える、請求の範囲第15項に記載の電動車両の制御方法。
- [21] 前記第3のステップにおいて、前記電流値が略零となるように前記変調波の位相が変更される、請求の範囲第20項に記載の電動車両の制御方法。
- [22] 前記交流モータの回転数が前記予め定められた回転数以上のとき、前記インバータの全体の損失が最小となるように前記変調波の位相ごとに予め求められた値に前記変調波の中心値を可変制御する第4のステップをさらに備える、請求の範囲第15項に記載の電動車両の制御方法。
- [23] 前記変調波の中心値を変更したことにより前記変調波のピークが搬送波のピークを超えたか否かを判定する第5のステップと、
前記変調波のピークが前記搬送波のピークを超えたと判定された場合、前記変調波のピークが前記搬送波のピークよりも小さくなるように前記変調波の中心値を補正する第6のステップをさらに備える、請求の範囲第22項に記載の電動車両の制御方法。
- [24] 請求の範囲第13項または第14項に記載の電動車両の制御方法をコンピュータに実行させるためのプログラムを記録したコンピュータ読取可能な記録媒体。

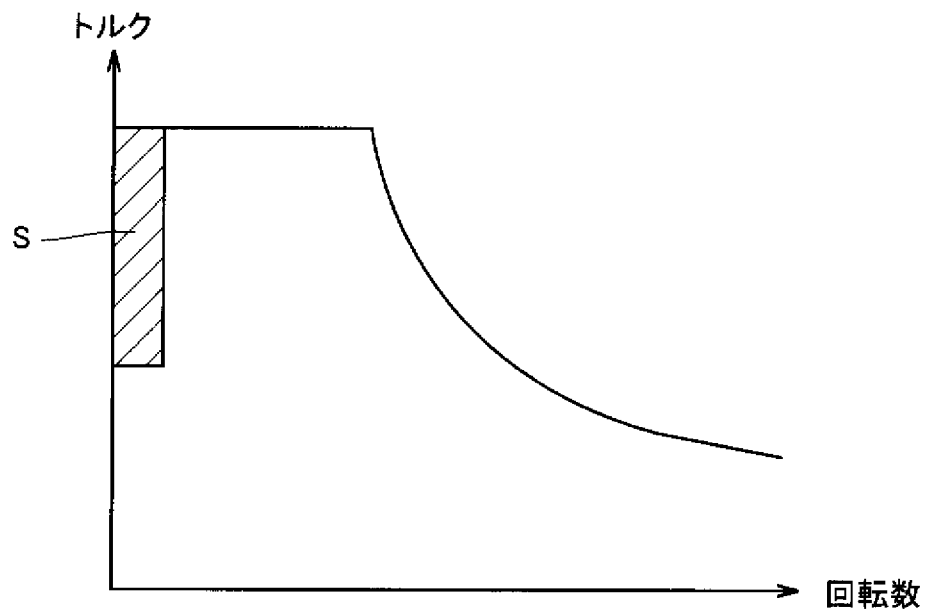
[図1]



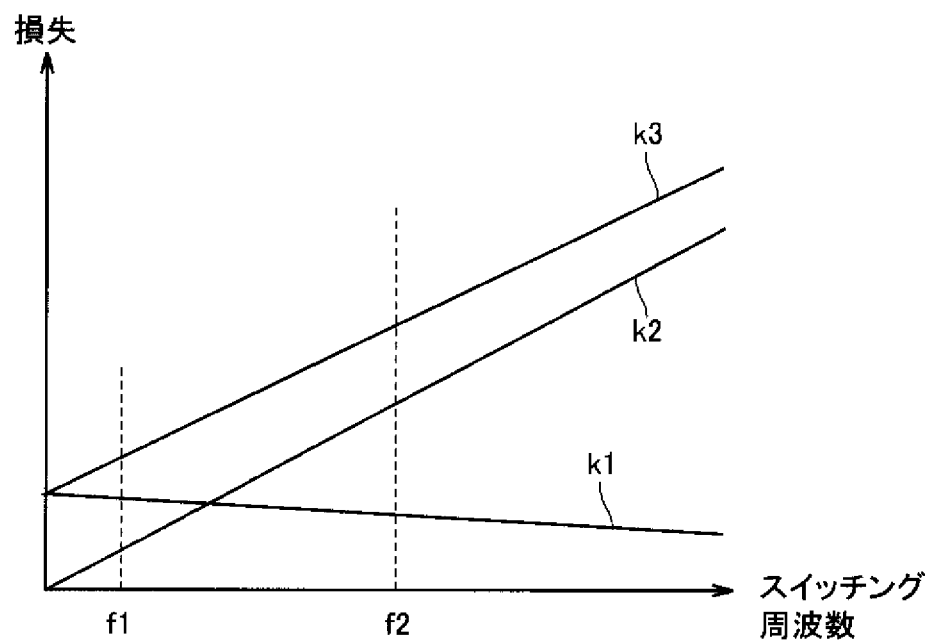
20



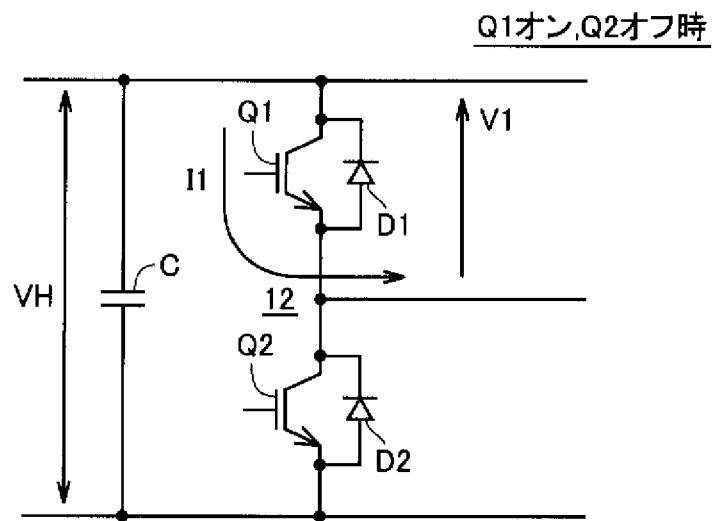
[図3]



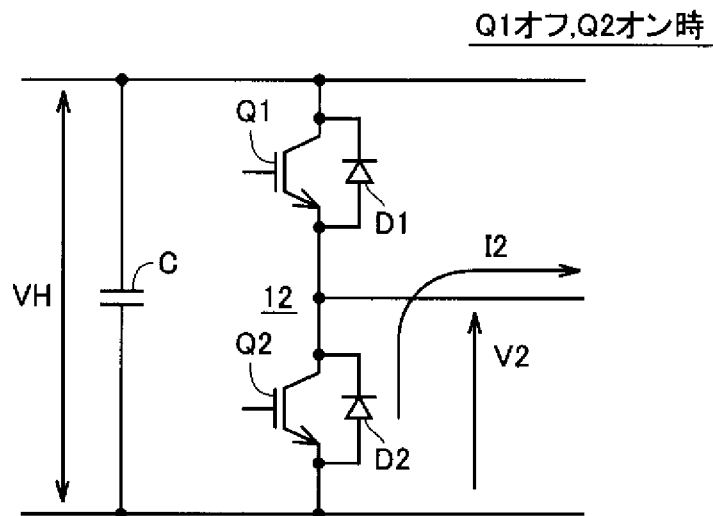
[図4]



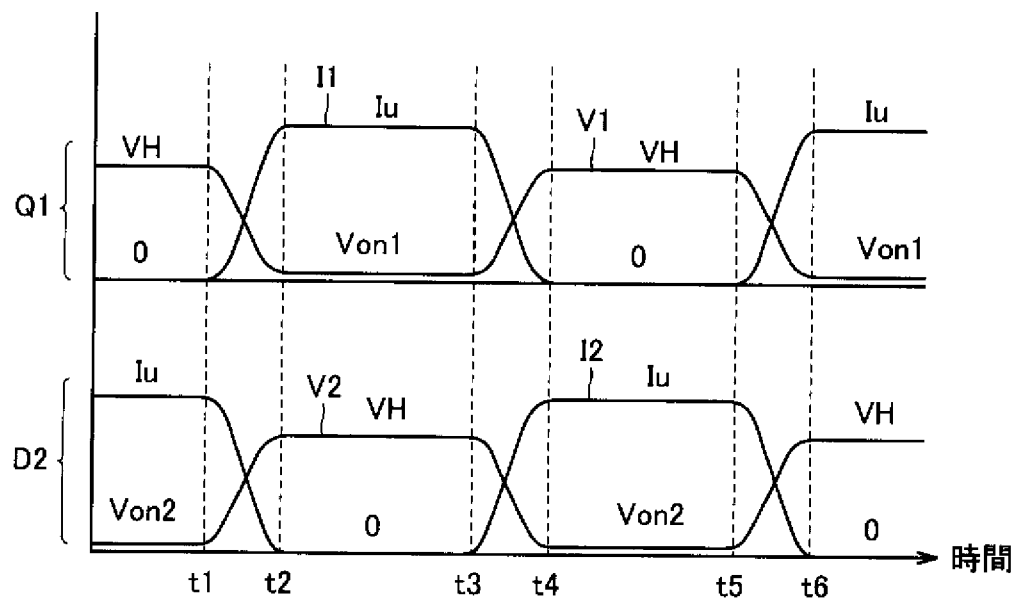
[図5]



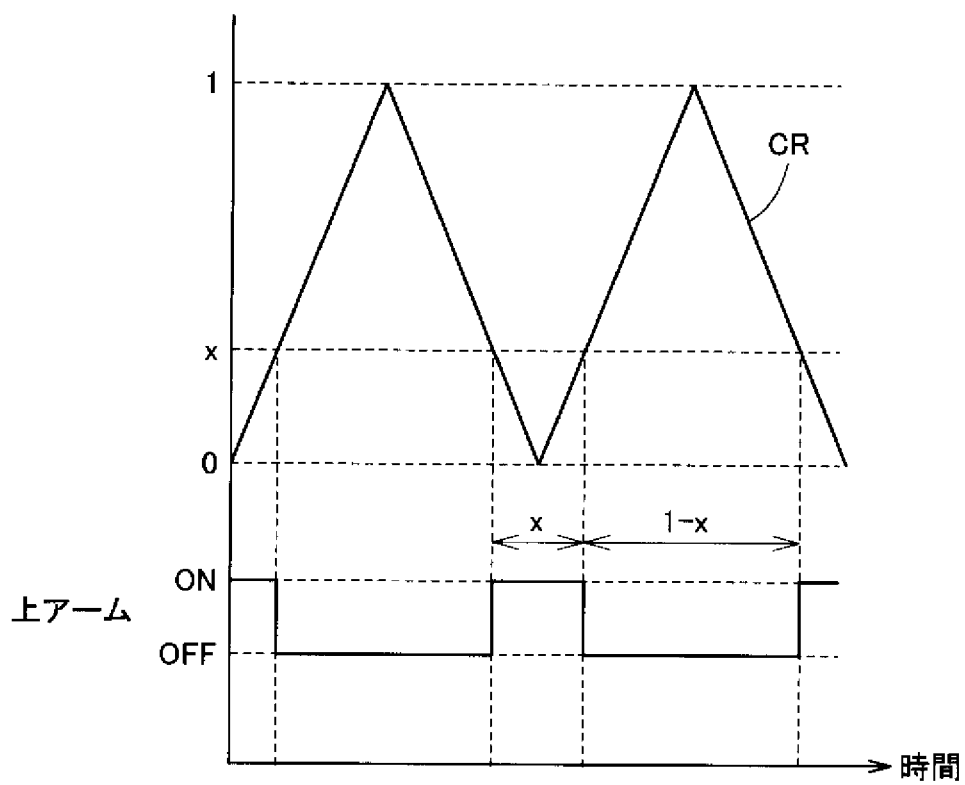
[図6]



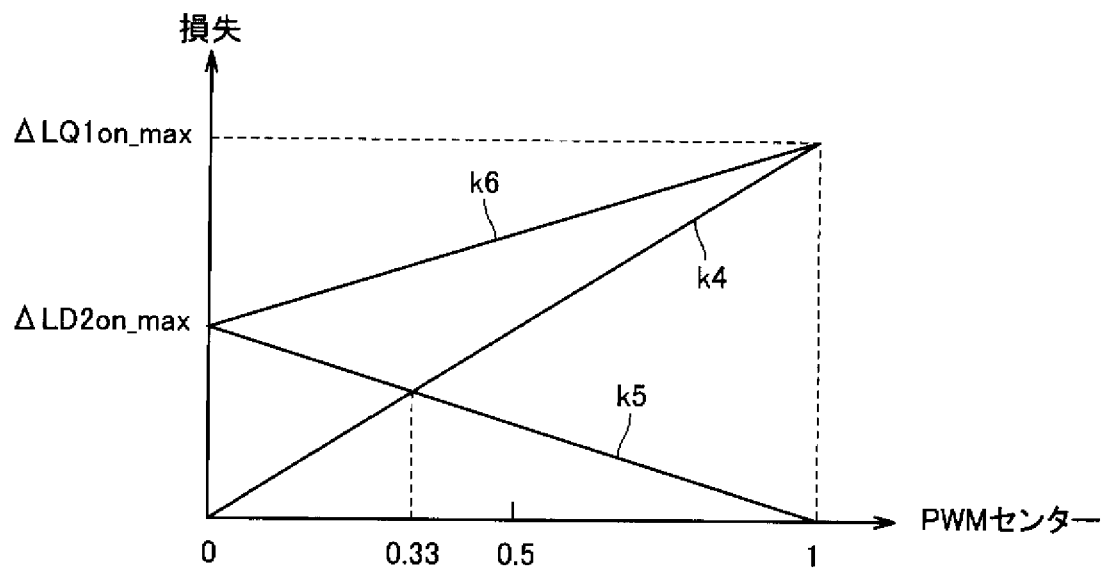
[図7]



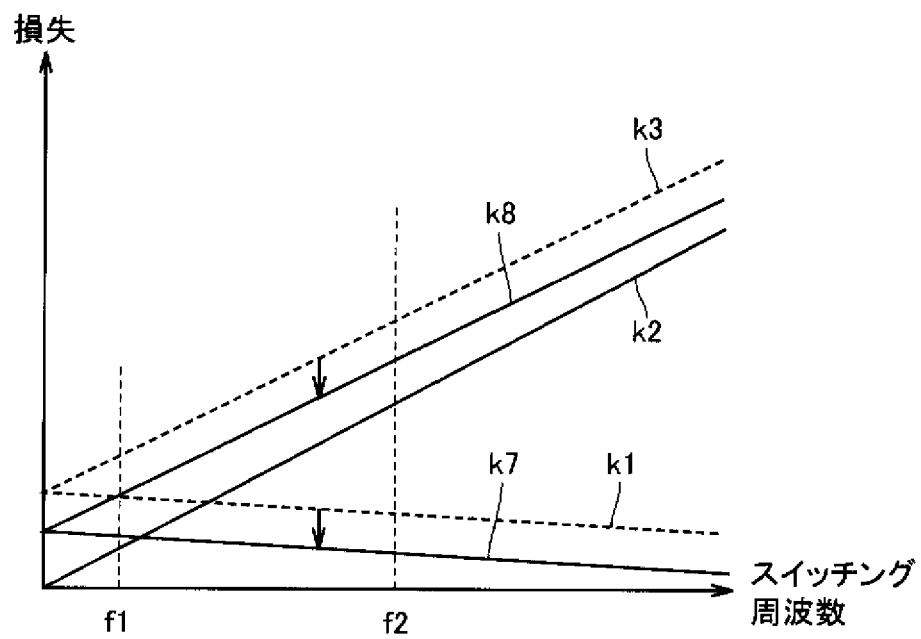
[図8]



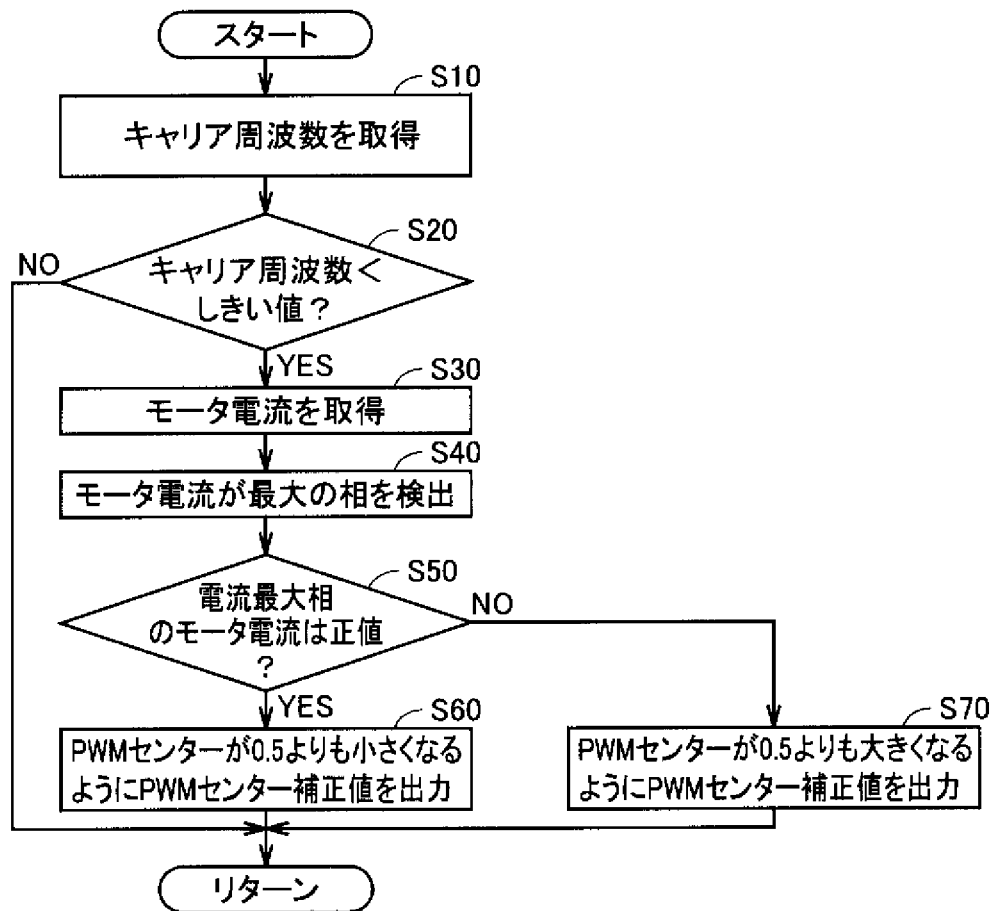
[図9]



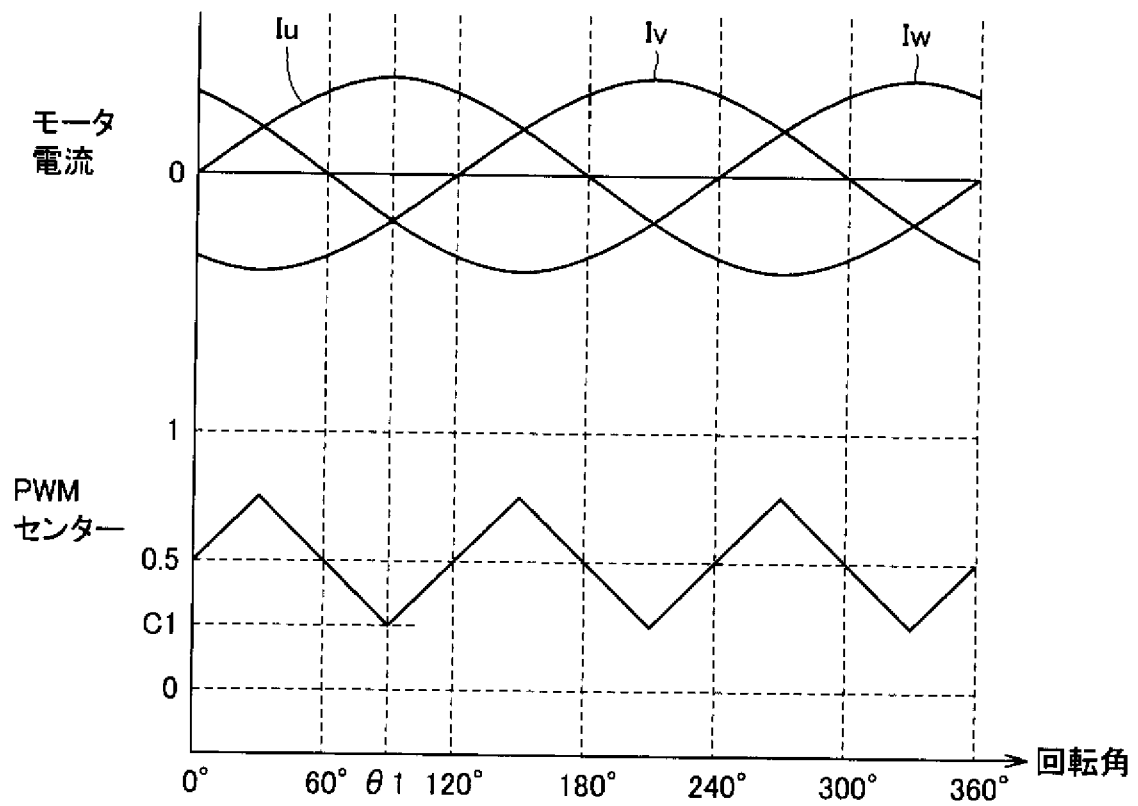
[図10]



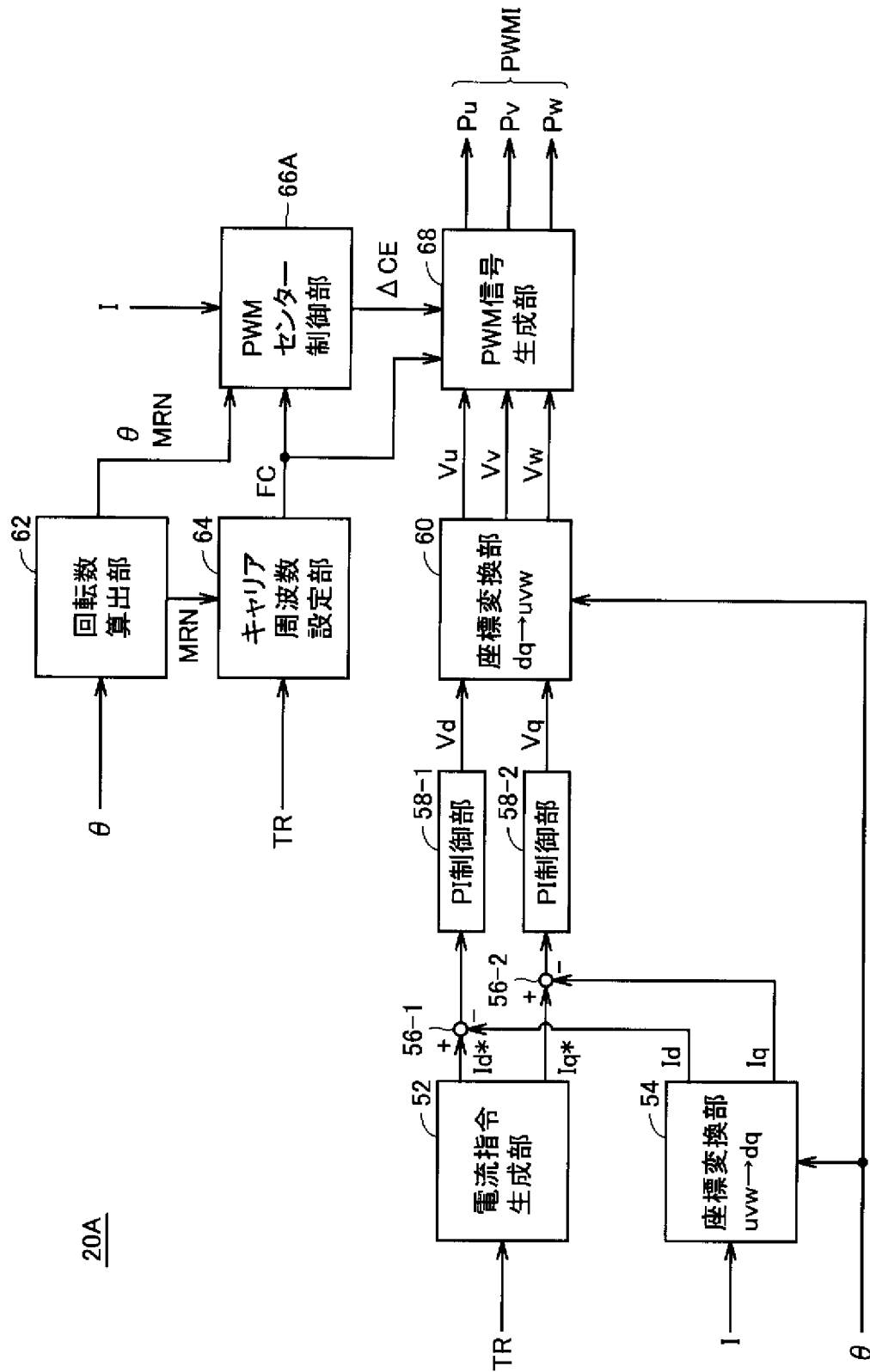
[図11]



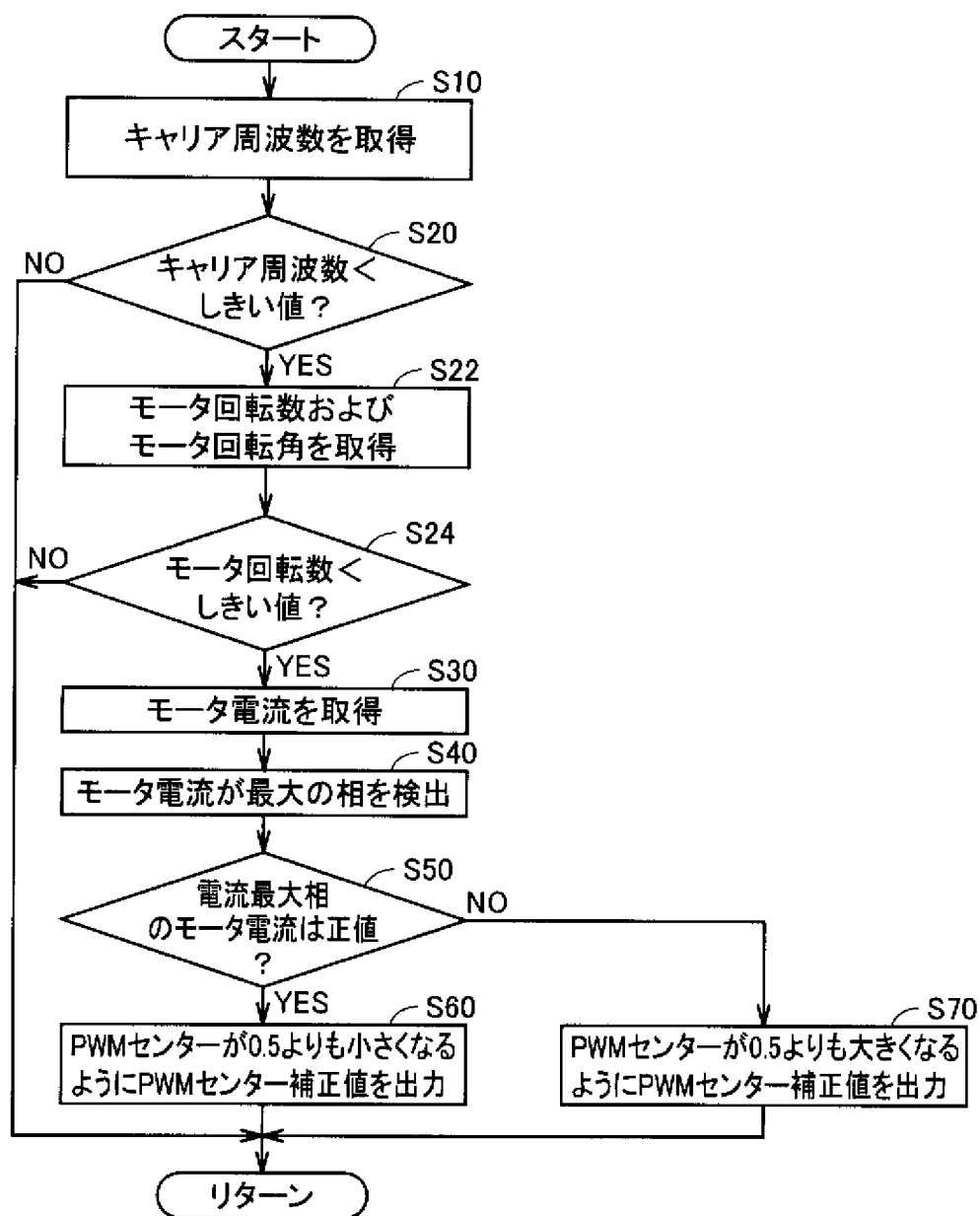
[図12]



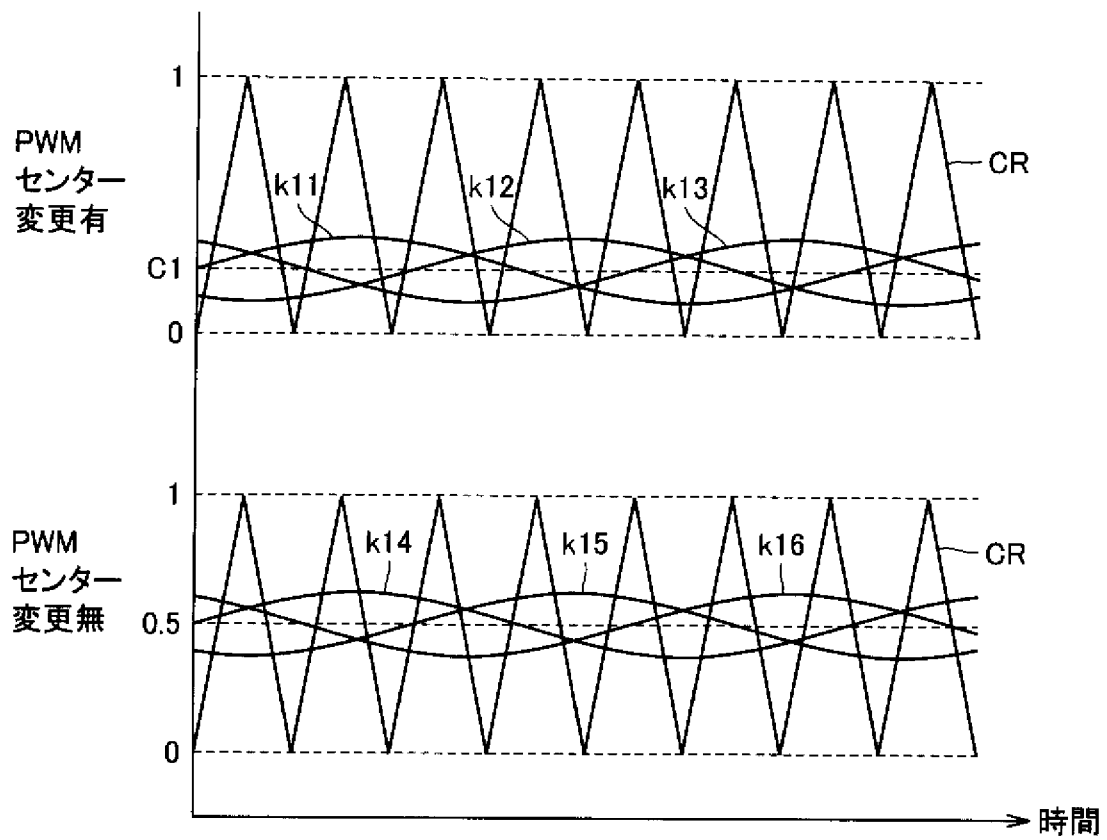
[図13]



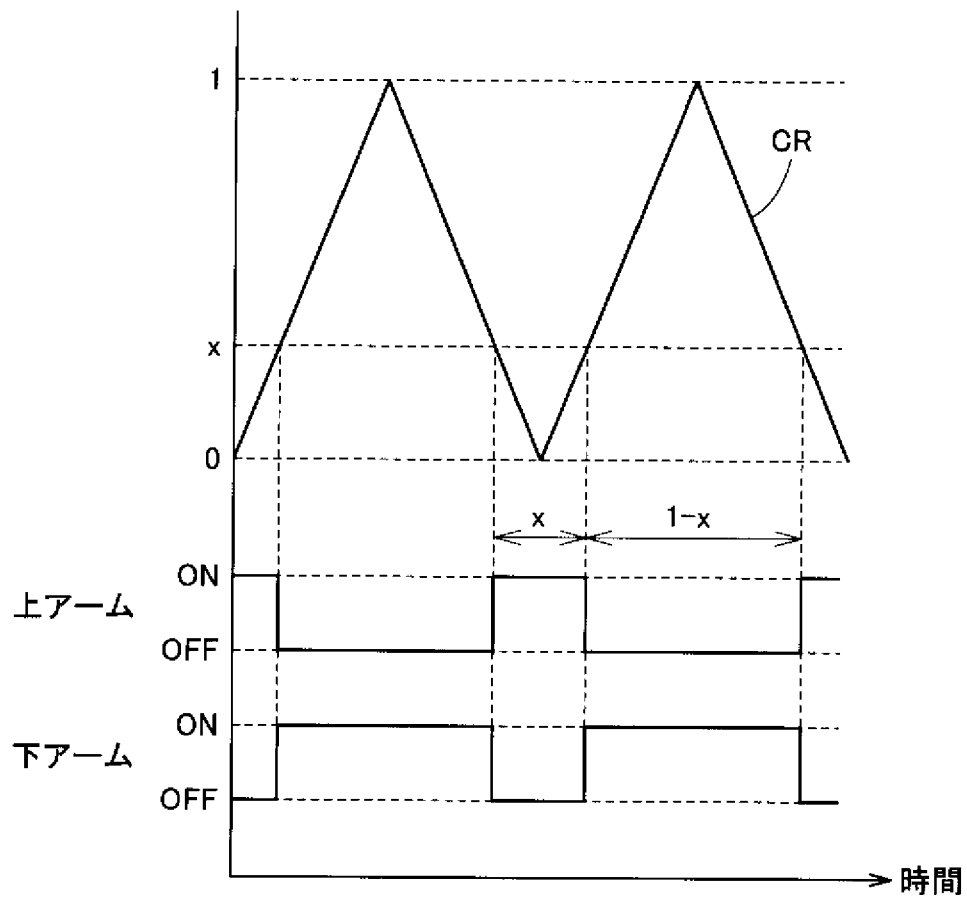
[図14]



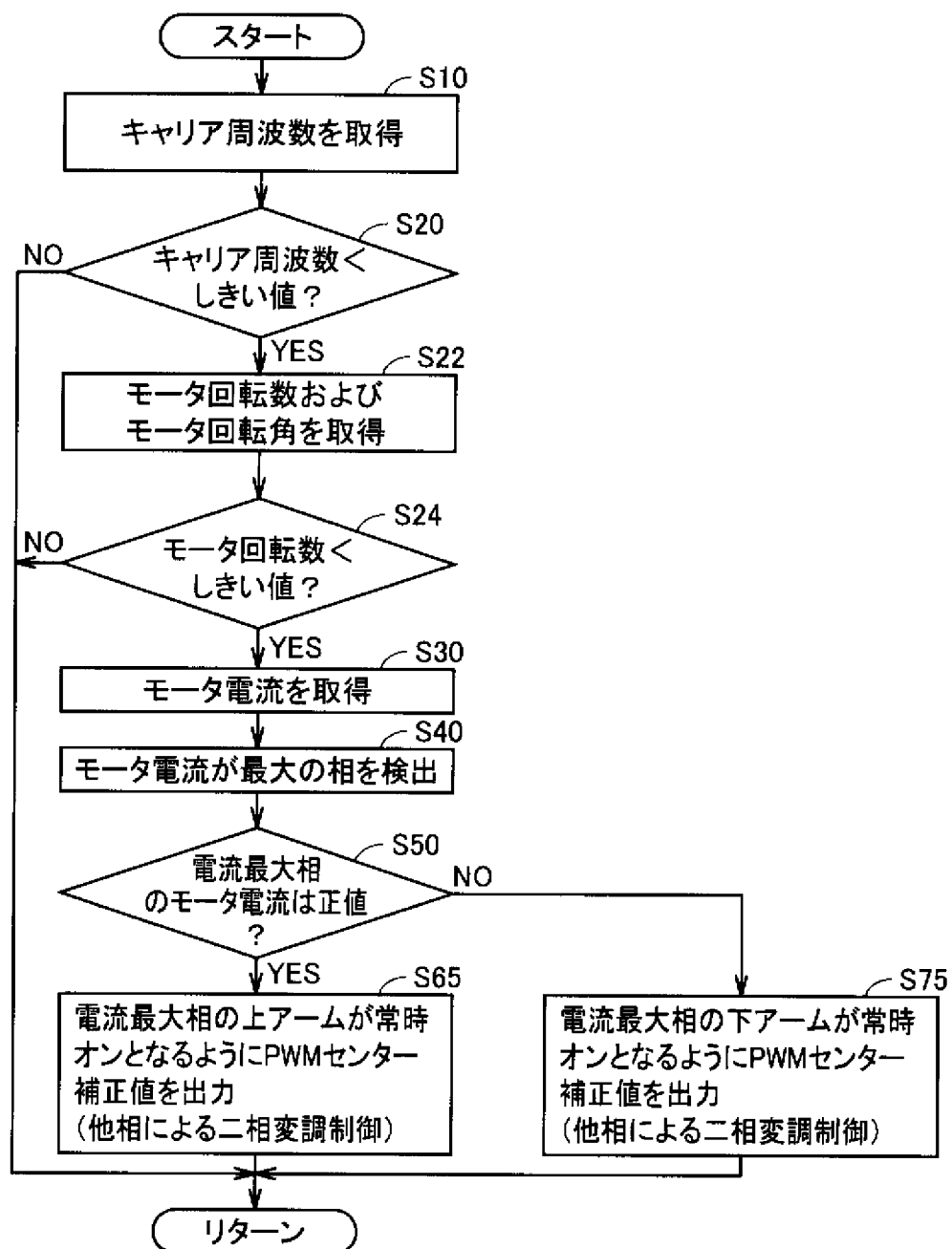
[図15]



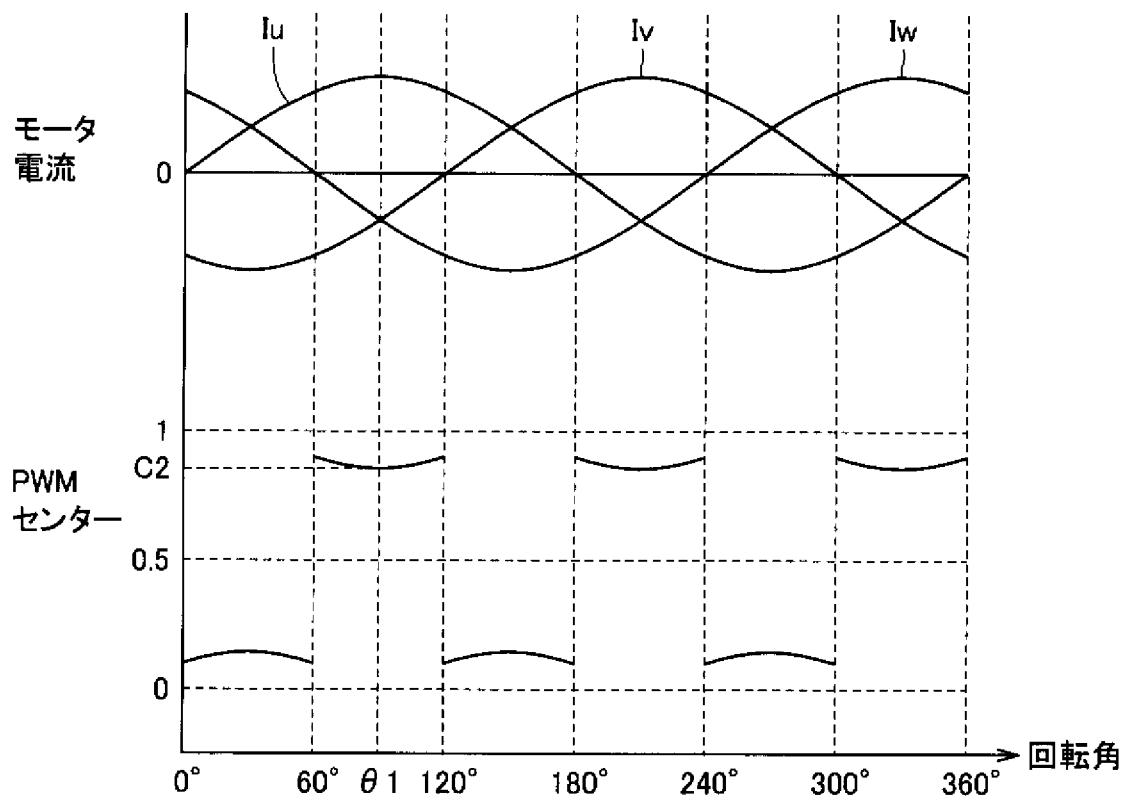
[図16]



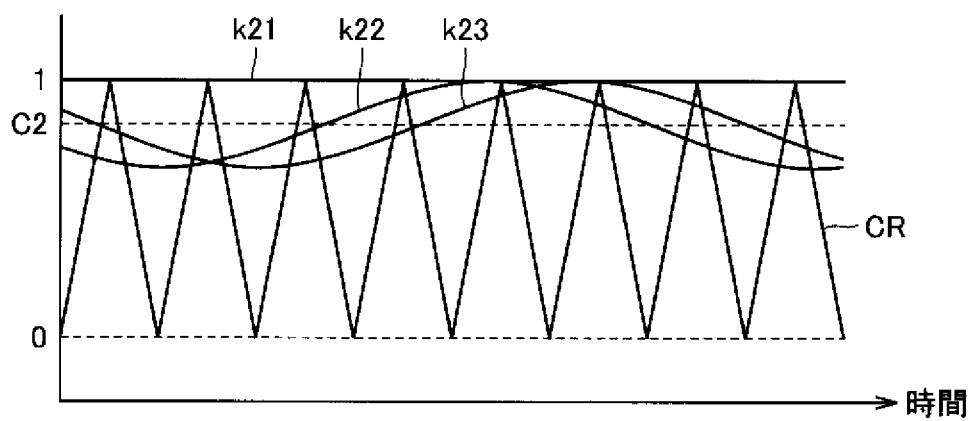
[図17]



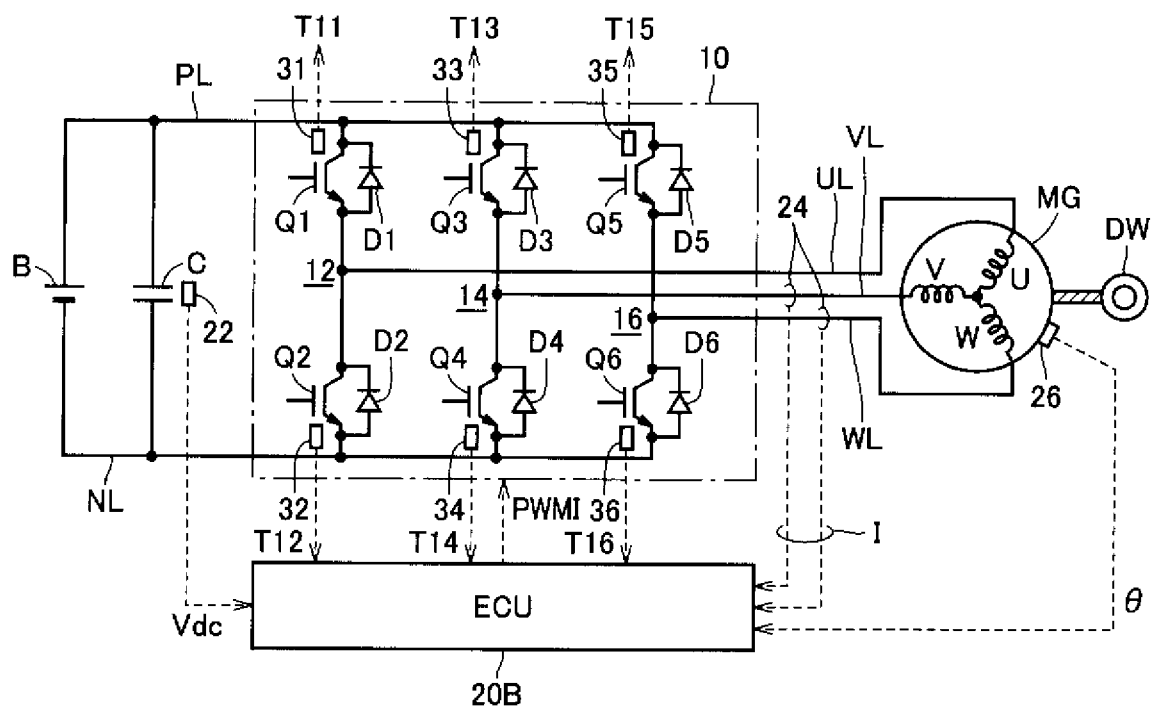
[図18]



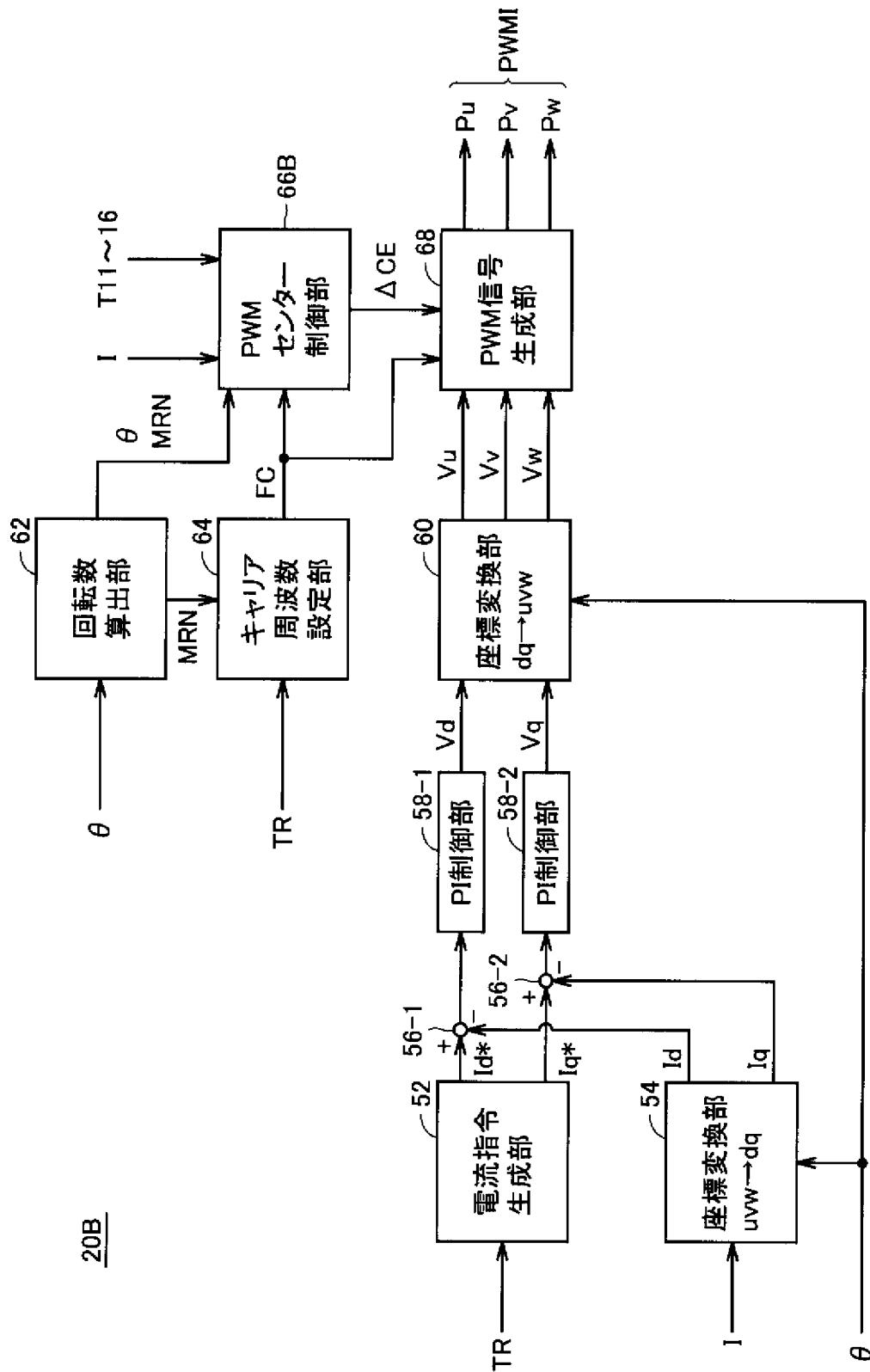
[図19]



[図20]

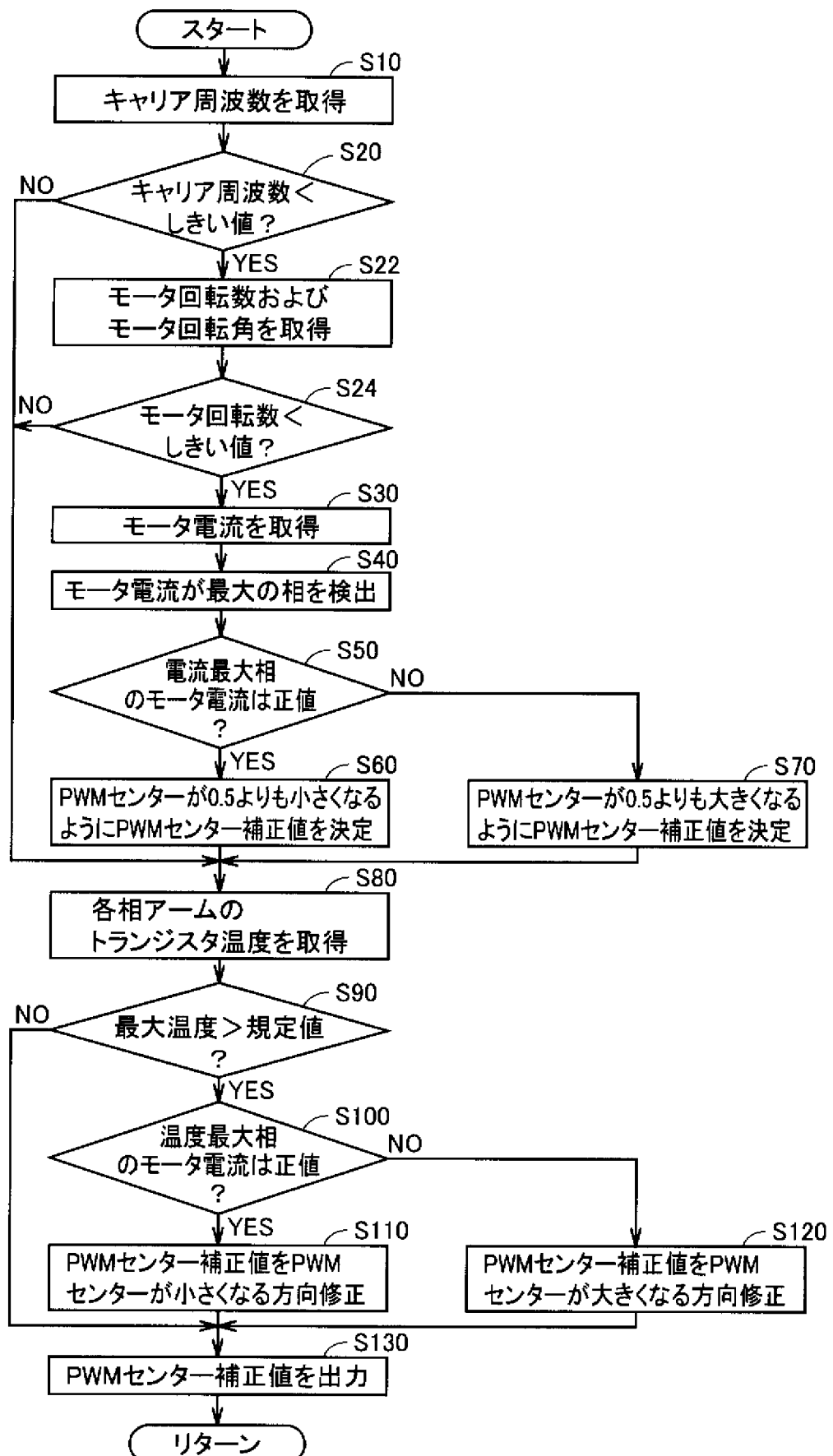
100A

[図21]



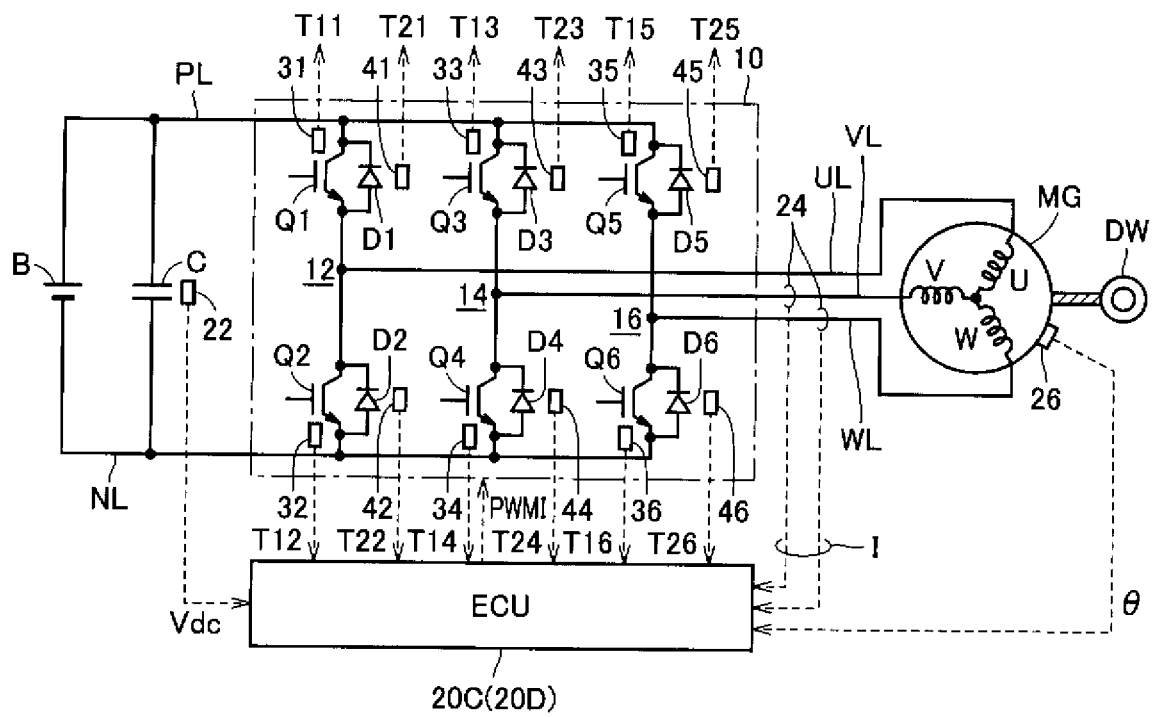
20B

[図22]

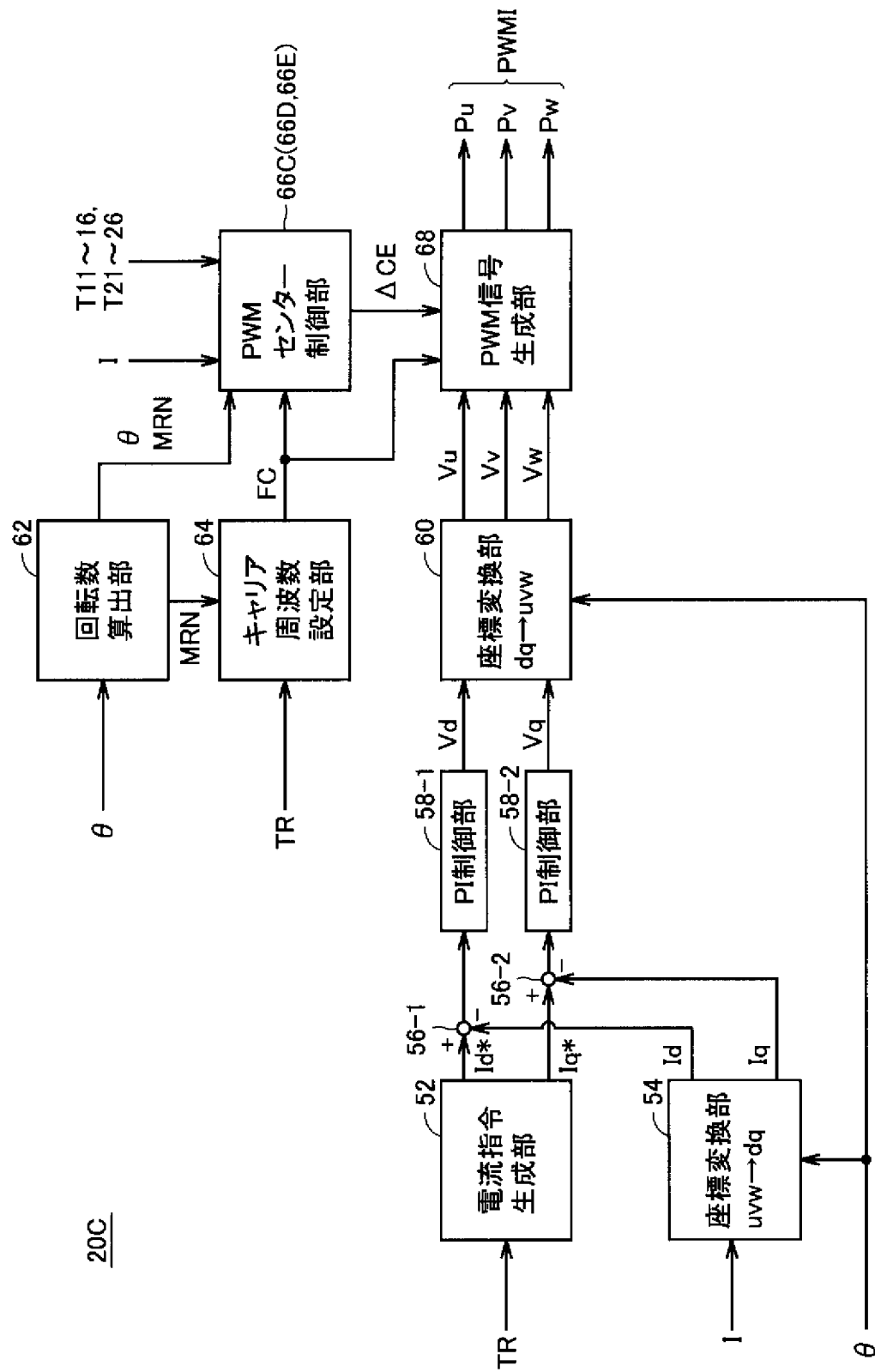


[図23]

100B

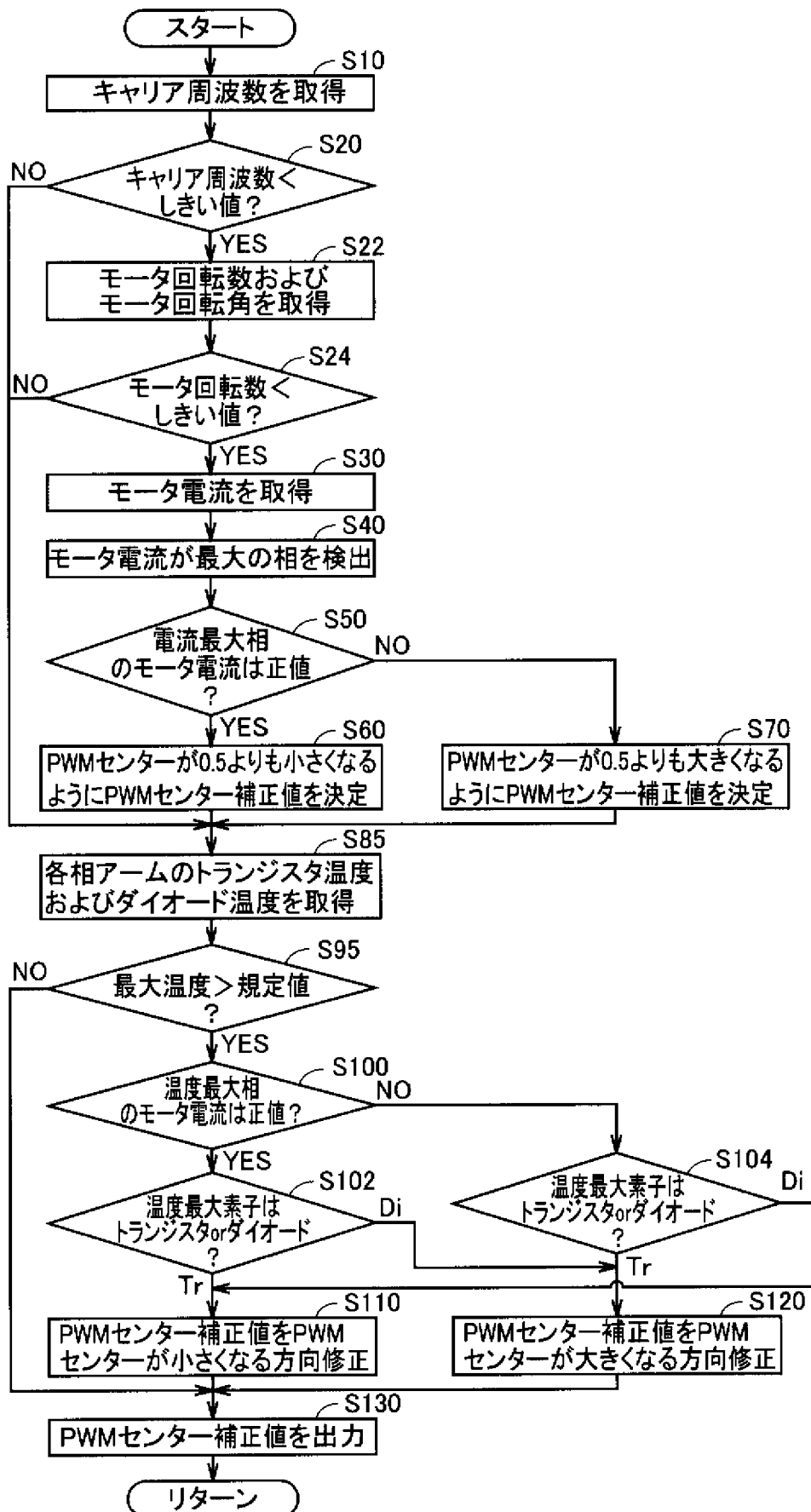


[図24]

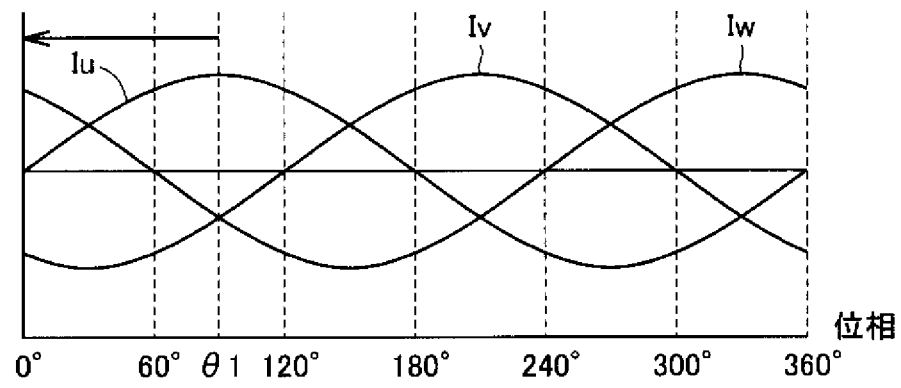


20C

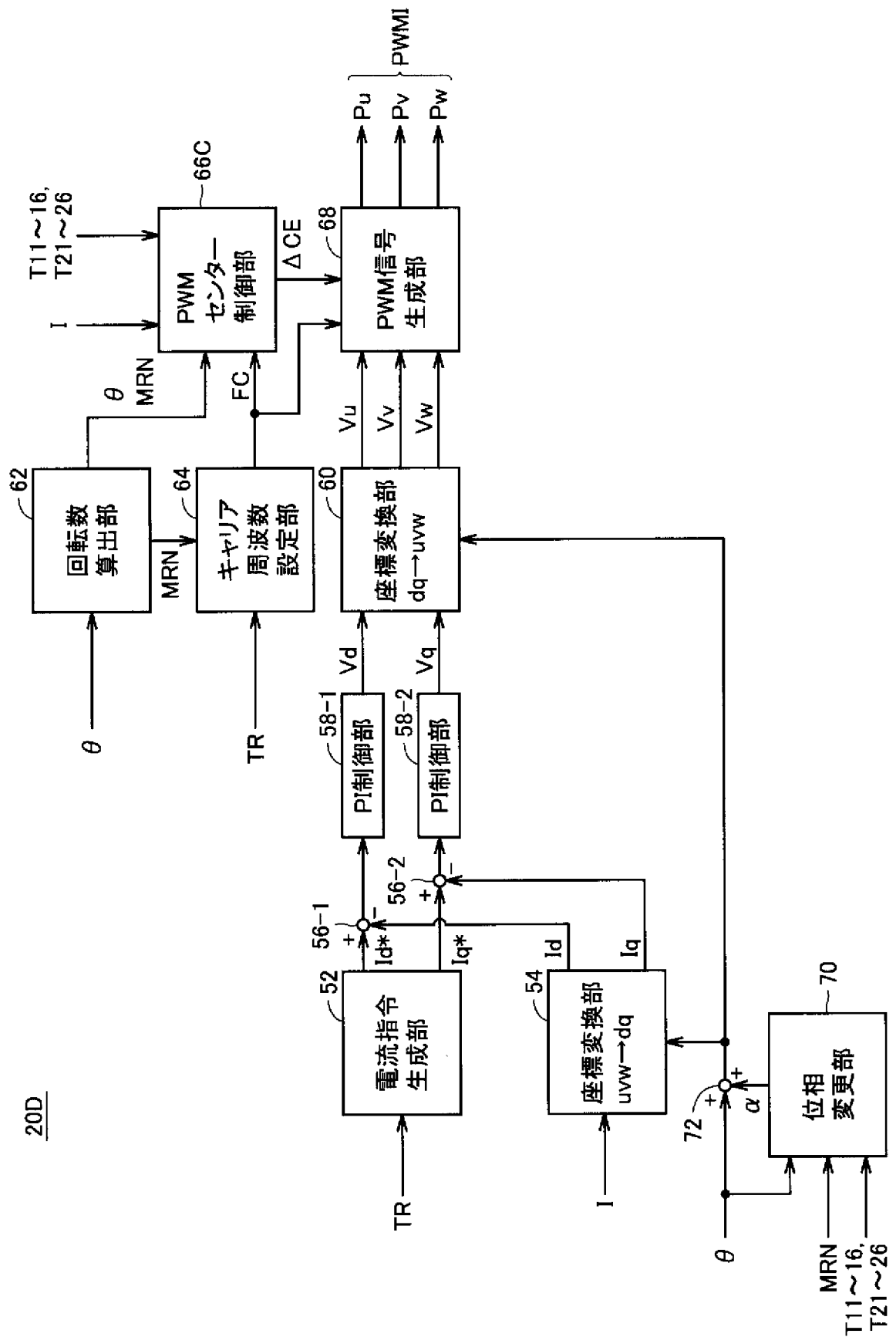
[図25]



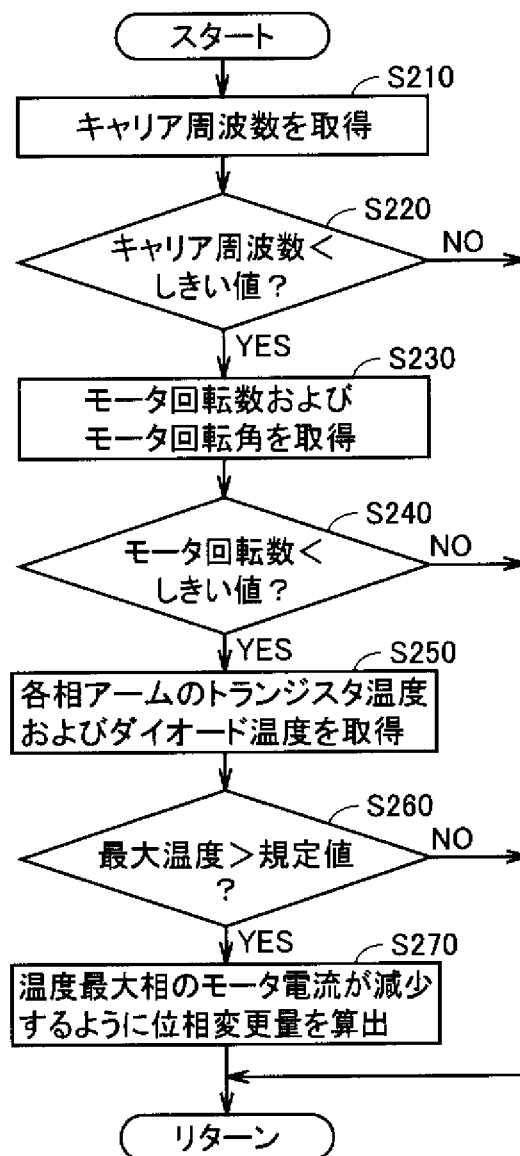
[図26]



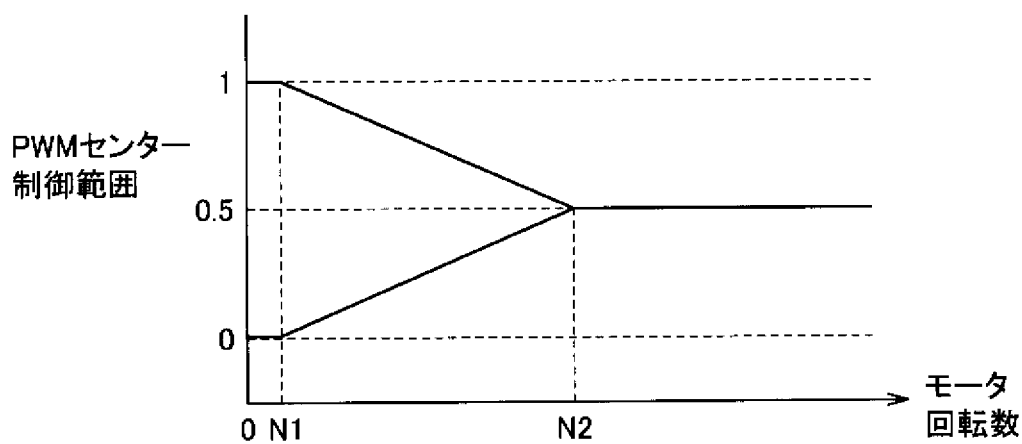
[図27]



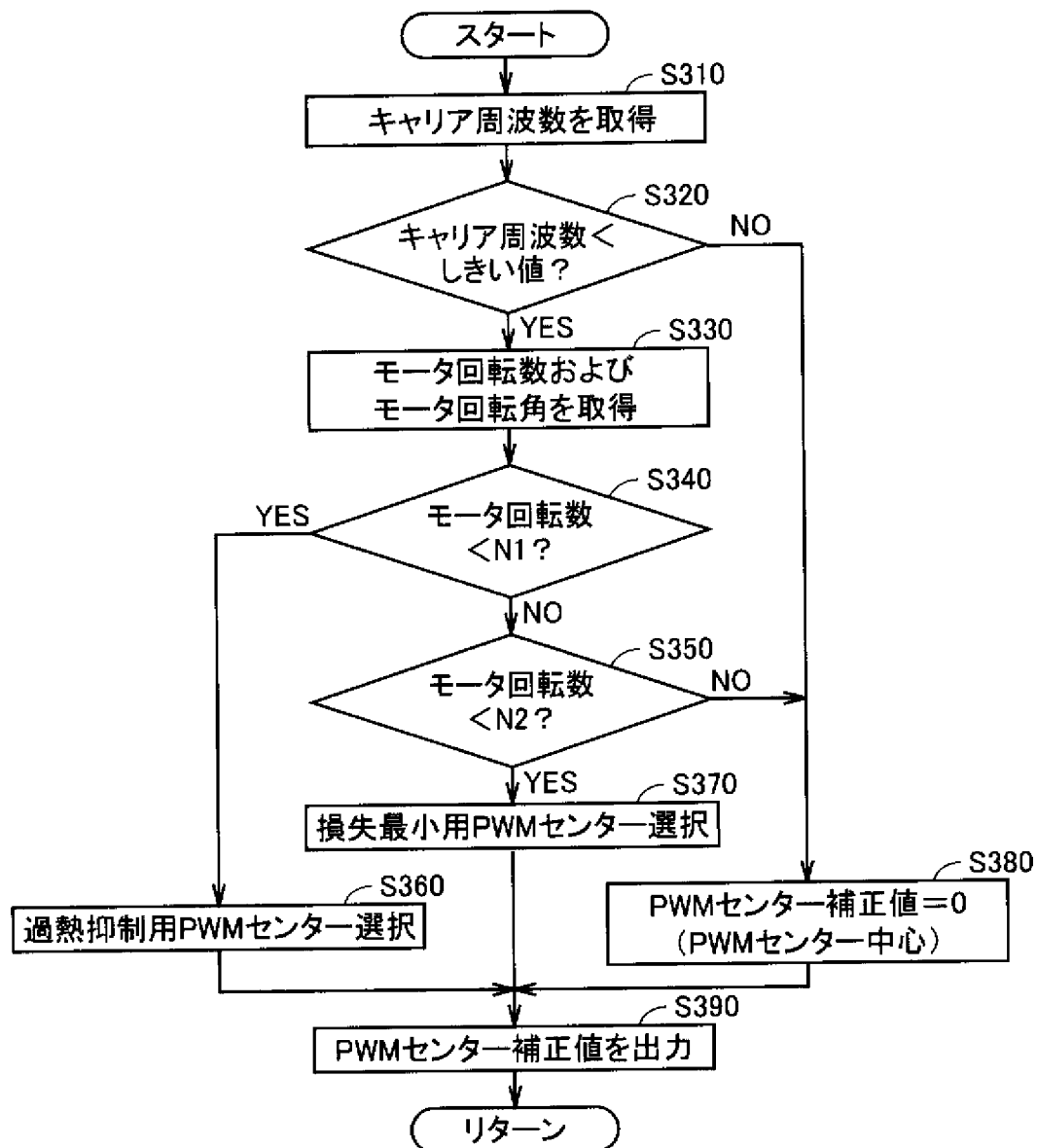
[図28]



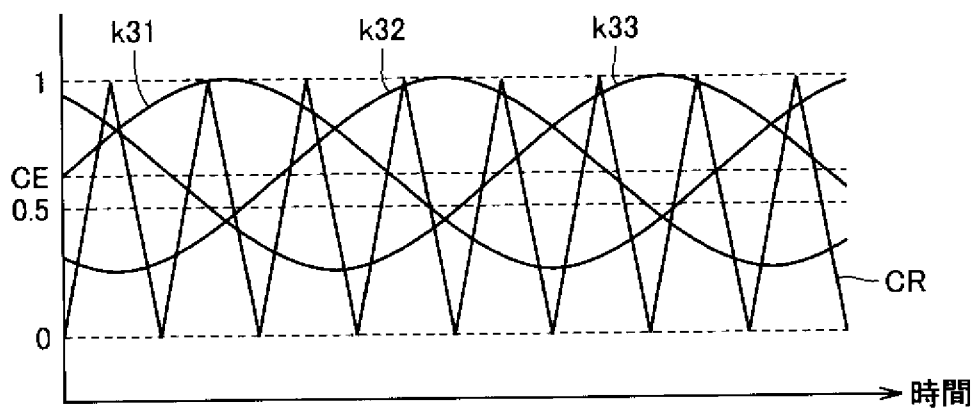
[図29]



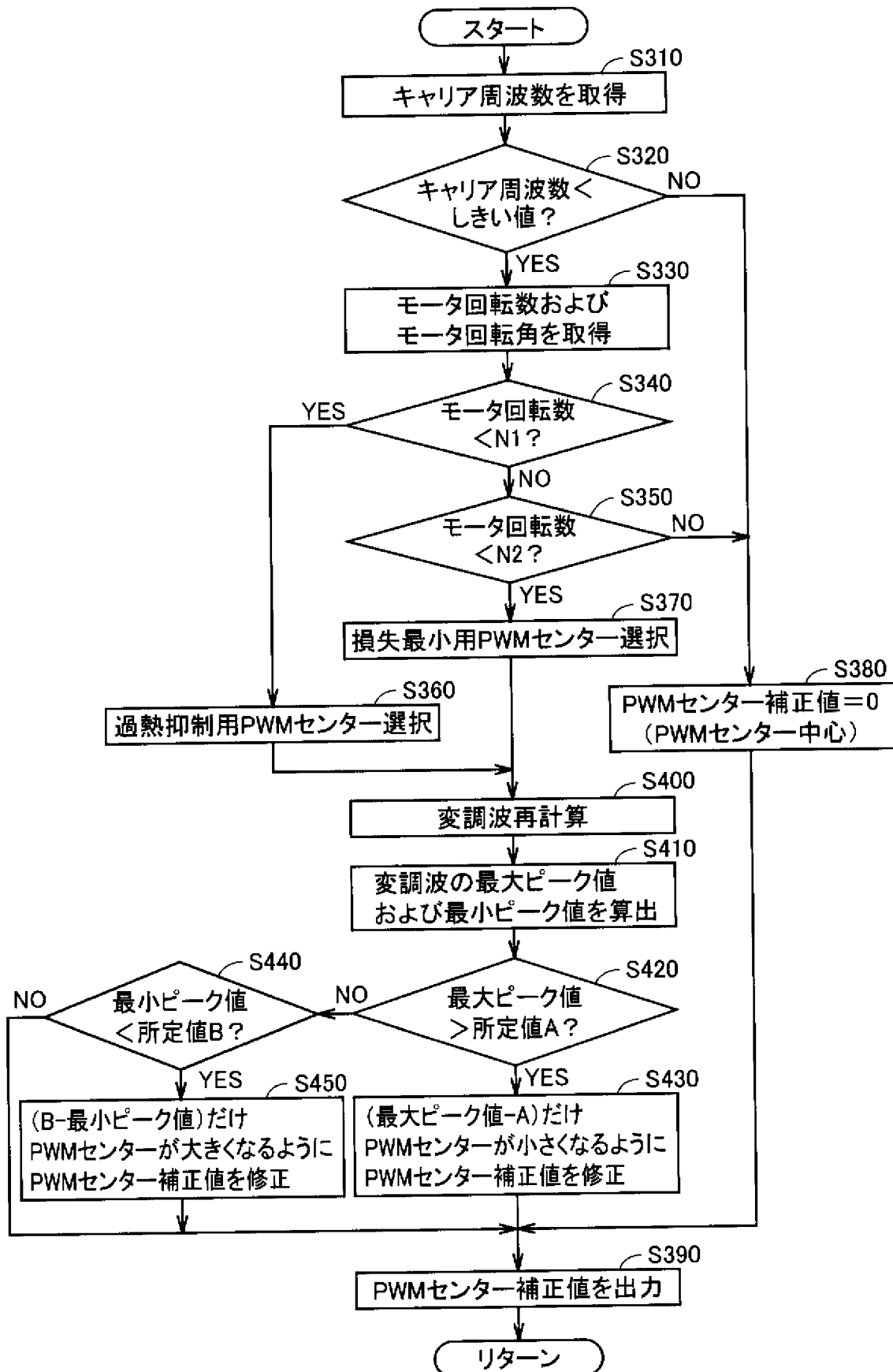
[図30]



[図31]



[図32]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2008/073316

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02P6/08(2006.01)i, B60L3/00(2006.01)i, B60L9/18(2006.01)i, H02M7/48
(2007.01)i, H02P6/12(2006.01)i, H02P27/06(2006.01)i, B60W10/08(2006.01)n,
B60W20/00(2006.01)n

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)

H02P6/08, B60L3/00, B60L9/18, H02M7/48, H02P6/12, H02P27/06, B60W10/08,
B60W20/00

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	1996-2009
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2009	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2009

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 8-23698 A (Nippondenso Co., Ltd.), 23 January, 1996 (23.01.96), Full text; all drawings & US 5614803 A & EP 691730 A2	1-24
A	JP 8-340691 A (Denso Corp.), 24 December, 1996 (24.12.96), Full text; all drawings & US 5699240 A	1-24
A	WO 1997/025766 A1 (Hitachi, Ltd.), 17 July, 1997 (17.07.97), Full text; all drawings & EP 874448 A1	1-24

☒ 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
19 March, 2009 (19.03.09)

Date of mailing of the international search report
31 March, 2009 (31.03.09)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2008/073316

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 5-184156 A (Mitsubishi Electric Corp.), 23 July, 1993 (23.07.93), Full text; all drawings (Family: none)	1-24

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H02P6/08(2006.01)i, B60L3/00(2006.01)i, B60L9/18(2006.01)i, H02M7/48(2007.01)i, H02P6/12(2006.01)i, H02P27/06(2006.01)i, B60W10/08(2006.01)n, B60W20/00(2006.01)n

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H02P6/08, B60L3/00, B60L9/18, H02M7/48, H02P6/12, H02P27/06, B60W10/08, B60W20/00

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 0 9 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 0 9 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 0 9 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 請求の範囲の番号
A	JP 8-23698 A（日本電装株式会社） 1996.01.23, 全文, 全図 & US 5614803 A & EP 691730 A2	1-24
A	JP 8-340691 A（株式会社デンソー） 1996.12.24, 全文, 全図 & US 5699240 A	1-24
A	WO 1997/025766 A1（株式会社日立製作所） 1997.07.17, 全文, 全図 & EP 874448 A1	1-24

☒ 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

1 9 . 0 3 . 2 0 0 9

国際調査報告の発送日

3 1 . 0 3 . 2 0 0 9

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）
郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5
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）

山村 和人

3 V

3 2 2 1

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 3 5 8

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 請求の範囲の番号
A	JP 5-184156 A (三菱電機株式会社) 1993.07.23, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-24