

(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
2024年12月12日(12.12.2024)



(10) 国際公開番号
WO 2024/252949 A1

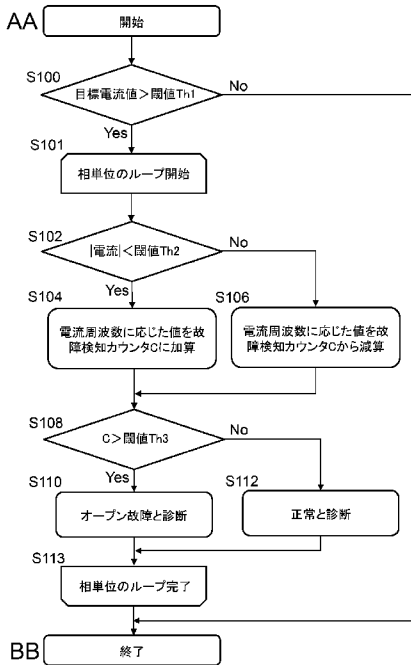
(51) 国際特許分類:
H02M 7/48 (2007.01) *H02P 27/06* (2006.01)
(21) 国際出願番号: PCT/JP2024/019108
(22) 国際出願日: 2024年5月23日(23.05.2024)
(25) 国際出願の言語: 日本語
(26) 国際公開の言語: 日本語
(30) 優先権データ:
特願 2023-095520 2023年6月9日(09.06.2023) JP
(71) 出願人: 日立 A s t e m o 株式会社(HITACHI
ASTEMO, LTD.) [JP/JP]; 〒3128503 茨城県ひ
たちなか市高場 2 5 2 0 番地 Ibaraki (JP).

(72) 発明者: 稲田 遼一(INADA, Ryoichi); 〒1008280
東京都千代田区丸の内一丁目 6 番 6 号 株
式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 中野 洋
(NAKANO, Hiroshi); 〒1008280 東京都千代田
区丸の内一丁目 6 番 6 号 株式会社日立製
作所内 Tokyo (JP). 金川 信康(KANEKAWA,
Nobuyasu); 〒1008280 東京都千代田区丸の内
一丁目 6 番 6 号 株式会社日立製作所内 Tokyo
(JP). 重田 哲(SHIGETA, Satoru); 〒3128503 茨
城県ひたちなか市高場 2 5 2 0 番地 日立 A
s t e m o 株式会社内 Ibaraki (JP).
(74) 代理人: 弁理士法人サンネクスト国際特許
事務所(SUNNEXT INTERNATIONAL PATENT
OFFICE); 〒1400002 東京都品川区東品川二丁

(54) Title: POWER CONVERSION DEVICE AND DRIVE DEVICE

(54) 発明の名称: 電力変換装置および駆動装置

図 5



S100 Target current value > threshold value Th1
S101 Start loop per phase unit
S102 Absolute value of current < threshold value Th2
S104 Add value according to current frequency to failure
detection counter C
S106 Subtract value according to current frequency from
failure detection counter C
S108 C > threshold value Th3
S110 Diagnosed as open failure
S112 Diagnosed as normal
S113 Complete loop per phase unit
AA Start
BB End

(57) Abstract: This power conversion device comprises: a current detection unit that detects the output current of each phase of a three-phase inverter circuit including a switching element; and a failure diagnosis unit that diagnoses an open failure of the switching element on the basis of the output current of each phase. The failure diagnosis unit adds a predetermined addition amount when the value of the output current is within a predetermined range and subtracts a predetermined subtraction amount when the value of the output current is not within the predetermined range, thereby calculat-

目 3 番 1 2 号 シーフォートスクエア センタ
ービルディング 1 6 階 Tokyo (JP).

- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

ing a failure detection counter for each phase and diagnosing the switching element as the open failure when the failure detection counter exceeds a first counter threshold, wherein the lower the frequency of the output current, the smaller the value of the predetermined addition amount and the predetermined subtraction amount are set to, or the first counter threshold is set to a larger value.

(57) 要約: 電力変換装置は、スイッチング素子を備える三相インバータ回路の各相の出力電流を検出する電流検出部と、各相の前記出力電流に基づいて、前記スイッチング素子のオープン故障を診断する故障診断部と、を備え、前記故障診断部は、前記出力電流の値が所定範囲内である場合に所定加算量を加算し、前記出力電流の値が前記所定範囲内でない場合に所定減算量を減算することで相毎の故障検知カウンタを演算すると共に、前記故障検知カウンタが第1カウンタ閾値を超えた場合に前記オープン故障と診断し、前記出力電流の周波数が低いほど、前記所定加算量および前記所定減算量をより小さい値に、または、前記第1カウンタ閾値をより大きい値に設定する。

明 細 書

発明の名称：電力変換装置および駆動装置

技術分野

[0001] 本発明は、電力変換装置および駆動装置に関する。

背景技術

[0002] 電動車両等の駆動装置に設けられた電力変換装置は、直流電源から供給される直流電力を交流電力に変換しモータ等を駆動させる。電力変換装置に設けられている電力変換用のスイッチング素子にオープン故障もしくはオフ固着故障が発生すると、正しい電流制御ができずにモータの出力トルクが変動する。そのため、スイッチング素子のオープン故障を診断する技術が知られている。

[0003] 例えば、特許文献１に記載の故障診断装置では、平滑化後の交流電流の絶対値が所定値以上である場合に、スイッチング素子が故障していると判定している。また、特許文献２に記載の故障診断装置では、電流位相差と磁極位置の和が所定範囲内のときに、電流の絶対値が故障診断値より小さい場合にはスイッチング素子がオープン故障であると診断している。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献１：日本国特開２０１０－２４６３２８号公報

特許文献２：日本国特開２０１０－２４６３２７号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 特許文献１の技術では、平滑化後の電流をもとに故障を判定するため、電流の周波数が低い場合には正常時であっても平滑化後の電流が大きくなり、スイッチング素子が故障していると誤診断する可能性がある。そのため、電流の周波数が低い状態では安定した診断が行えないという課題がある。さらに、特許文献２の技術では、電流位相と磁極位置の総和が所定の範囲内の時

に診断をするため、診断により異常をカウントできる範囲が電流 1 周期内の一部に限られ、安定した診断を行うには電流数周期分の時間が必要である。

課題を解決するための手段

[0006] 本発明の態様による電力変換装置は、スイッチング素子を備える三相インバータ回路の各相の出力電流を検出する電流検出部と、各相の前記出力電流に基づいて、前記スイッチング素子のオープン故障を診断する故障診断部と、を備え、前記故障診断部は、前記出力電流の値が所定範囲内である場合に所定加算量を加算し、前記出力電流の値が前記所定範囲内でない場合に所定減算量を減算することで相毎の故障検知カウンタを演算すると共に、前記故障検知カウンタが第 1 カウンタ閾値を超えた場合に前記オープン故障と診断し、前記出力電流の周波数が低いほど、前記所定加算量および前記所定減算量をより小さい値に、または、前記第 1 カウンタ閾値をより大きい値に設定する。

発明の効果

[0007] 本発明によれば、電流の周波数の高低によらずスイッチング素子のオープン故障を安定して診断できる。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]図 1 は、車両の模式図である。

[図2]図 2 は、駆動装置の概略構成を示す図である。

[図3]図 3 は、電力変換回路の構成の一例を示す図である。

[図4]図 4 は、制御回路の機能の詳細を示す制御ブロック図である。

[図5]図 5 は、オープン故障診断処理の一例を示すフローチャートである。

[図6]図 6 は、オープン故障診断処理におけるタイミングチャートの一例である。

[図7]図 7 は、第 2 の実施形態におけるオープン故障診断処理の一例を示すフローチャートである。

[図8]図 8 は、第 2 の実施形態におけるオープン故障診断処理の一例を示すフローチャートである。

[図9]図 9 は、第 2 の実施形態の場合のオープン故障診断処理におけるタイミングチャートの一例である。

[図10]図 10 は、第 3 の実施形態におけるオープン故障診断処理の一例を示すフローチャートである。

[図11]図 11 は、オープン故障が発生している場合の電流波形を示す図である。

[図12]図 12 は、第 4 の実施形態におけるオープン故障診断処理の一例を示すフローチャートである。

[図13]図 13 は、オープン故障が発生している場合の電流波形を示す図である。

[図14]図 14 は、第 4 の実施形態におけるオープン故障診断処理の一例を示すフローチャートである。

[図15]図 15 は、第 4 の実施形態の場合のオープン故障診断処理におけるタイミングチャートの一例である。

[図16]図 16 は、第 1 の実施形態と第 5 の実施形態とを比較するための信号波形を示したものである。

発明を実施するための形態

[0009] 以下、図を参照して本発明を実施するための形態について説明する。以下の記載および図面は、本発明を説明するための例示であって、説明の明確化のため、適宜、省略および簡略化がなされている。また、以下の説明では、同一または類似の要素および処理には同一の符号を付し、重複説明を省略する場合がある。なお、以下に記載する内容はあくまでも本発明の実施の形態の一例を示すものであって、本発明は下記の実施の形態に限定されるものではなく、他の種々の形態でも実施する事が可能である。

[0010] (第 1 の実施形態)

図 1 ～ 6 を参照して本発明に係る駆動装置の第 1 の実施形態を説明する。

図 1 は、モータ（不図示）で走行する車両の模式図である。車両 1 は直流電源 5 から電力が供給される駆動装置 2 を備える。図示は省略するが、駆動装

置 2 は電力変換装置とモータと減速器を有する。モータの駆動力は、減速器を介して車輪 3 a が設けられた車軸 4 へと伝えられる。

[0011] なお、図 1 に示す例では、前輪（車輪 3 a）の車軸 4 に駆動装置 2 を設置しているが、後輪（車輪 3 b）の車軸に設置してもよい。また、前後輪の車軸 4 に駆動装置 2 をそれぞれ設置してもよいし、車軸ではなく左右の各車輪 3 a, 3 b にそれぞれ独立した駆動装置 2 を設置してもよい。また、車軸 4 に対して図 1 で記載した駆動装置 2 とは別に、内燃機関を用いた駆動装置を駆動装置 2 と並列に設置してもよい。

[0012] 図 2 は、駆動装置 2 の概略構成を示す図である。駆動装置 2 の周辺には、直流電源 5、制御装置 6、故障通知装置 7 が設けられている。制御装置 6 は、駆動装置 2 に対して目標トルク τ_s や動作モード S_m などを送信する。また、制御装置 6 は駆動装置 2 から出力される故障通知信号 S_f を受け取る。本実施形態では、制御装置 6 を 1 つのみ記載しているが、情報の送受信を複数の制御装置が実施してもよい。また、この制御装置 6 は、例えば、上述した内燃機関を用いた駆動装置の制御機能も備えている。

[0013] 直流電源 5 は駆動装置 2 内のモータ 9 を駆動させるための電源であり、例えばバッテリーなどが該当する。故障通知装置 7 は、駆動装置 2 からの故障通知信号 S_f を受け付け、搭乗者に対して故障の発生を通知する。故障の通知方法としては、例えば、ランプを点灯させる、警告音を発生させる、音声で通知するなどの方法が挙げられる。

[0014] 駆動装置 2 は、電力変換装置 8、モータ 9 および不図示の減速機を備えている。減速器はモータ 9 の駆動力を増幅し、車軸 4（もしくは車輪 3 a, 3 b）へ伝える役割を持つ。モータ 9 は内部に 3 個の巻き線を有した 3 相電動機であり、例えば永久磁石を用いた同期モータや永久磁石を用いない誘導モータが該当する。モータ 9 は、モータ角度センサ 9 1 を備えている。モータ角度センサ 9 1 は、モータロータの回転角度を測定し、測定した角度をモータ角度センサ値 θ_m として電力変換装置 8 に出力する。

[0015] 電力変換装置 8 は、制御装置 6 から入力される目標トルク τ_s 等に基づいて

、直流電源 5 から供給される直流電力を交流電力に変換しモータ 9 に供給する。また、電力変換装置 8 は、モータ 9 の動力を直流電力に変換して直流電源 5 を充電する機能も有する。電力変換装置 8 は、制御回路 80、ドライバ回路 81、電力変換回路 82、直流電圧センサ 83 および交流電流センサ 84 を備えている。

[0016] 制御回路 80 は、制御装置 6 からの目標トルク τ_s および動作モード S_m に基づいて、電力変換装置 8 から出力される U、V、W 相の各相の電流を所定の値に制御するための PWM (Pulse Width Modulation) 信号 pwm を生成する。なお、制御回路 80 の詳細は後述する。ドライバ回路 81 は、制御回路 80 が出力する PWM 信号 pwm に基づいて、電力変換回路 82 に設けられた複数のパワー半導体のオン/オフを切り替えるための駆動信号を出力する。

[0017] 直流電圧センサ 83 は、直流電源 5 の出力電圧を測定するセンサであり、測定した電圧値を直流電圧センサ値 V_{dc} として制御回路 80 に出力する。交流電流センサ 84 は、モータ 9 の各相 (U 相、V 相、W 相) に流れる交流電流を測定するセンサである。交流電流センサ 84 が測定した各相の交流電流値は、交流電流センサ値 I_u 、 I_v 、 I_w (以下では、単に電流 I_u 、 I_v 、 I_w と呼ぶことにする) として制御回路 80 に入力される。なお、図 2 に示す例では、交流電流センサ 84 は各相に 1 つずつセンサを備えているが、2 相分のみに設けても良い。「U 相電流 + V 相電流 + W 相電流 = 0」の関係が成り立つので、2 相にセンサを設ける構成の場合には、制御回路 80 において残り 1 相分の交流電流センサ値を計算によって算出する。

[0018] 電力変換回路 82 は、ドライバ回路 81 からの駆動信号を受けて内部のパワー半導体を駆動し、モータ 9 に流れる電流を制御する。図 3 は、電力変換回路 82 の構成の一例を示す図である。電力変換回路 82 は、内部に平滑コンデンサ 821 と 6 つのパワー半導体 822 を有する。相 (U 相、V 相、W 相) ごとに、上アームおよび下アームを構成する 2 つのパワー半導体 822 がそれぞれ設けられている。各相の上下アームの出力端子は、モータ 9 の対応する相の巻き線に接続される。

- [0019] パワー半導体 822 はドライバ回路 81 から入力される駆動信号に応じてオン/オフを切り替え、直流電力と交流電力の変換を行う。このパワー半導体 822 には、例えばパワー MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) や IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) などが該当する。図 3 に示す例では、パワー半導体 822 として IGBT を用いている。
- [0020] 平滑コンデンサ 821 は、パワー半導体 822 のオン/オフによって生じる電流を平滑化し、直流電源 5 から電力変換回路 82 へ供給される直流電流のリップルを抑制するためのコンデンサである。平滑コンデンサ 821 には、例えば電解コンデンサやフィルムコンデンサが使用される。
- [0021] なお、本実施形態では、モータ中性点は浮遊状態であるが、グラウンド(図示せず)と接続しても良い。モータ中性点をグラウンドと接続する方法には、直接接地方式、抵抗接地方式、補償リアクトル接地方式、消弧リアクトル接地方式がある。
- [0022] 図 4 は、制御回路 80 の機能の詳細を示す制御ブロック図である。制御回路 80 は内部に不図示の CPU、RAM、ROM、通信回路等を備えている。CPU は、ROM に格納されているプログラムを RAM に展開して実行することにより後述する各部の機能を実現する。ROM は、電氣的に書き換え可能な EEPROM (Electrically Erasable Programmable ROM) やフラッシュ ROM でも良い。
- [0023] 制御回路 80 は、状態制御部 801、目標電流計算部 802、電流制御部 803、PWM 信号生成部 804、モータ速度計算部 805 および診断部 806 を有する。制御回路 80 は、外部の制御装置 6 と通信を行い、上述した動作モード S_m や目標トルク τ_s を制御装置 6 から受け取る。また、制御回路 80 は、動作モード S_m および目標トルク τ_s に基づいて PWM 信号 pwm を制御し、図 2 に示したドライバ回路 81 を介して電力変換回路 82 を駆動させる。また、制御回路 80 は、内部に故障が発生したと判断した場合、図 2 に示した外部の制御装置 6 および故障通知装置 7 に対して故障通知信号 S_f

を出力する。

[0024] モータ速度計算部805は、モータ角度センサ値 θ_m に基づいてモータ角速度 ω_0 を計算する。計算したモータ角速度 ω_0 は、目標電流計算部802および診断部806に入力される。

[0025] 状態制御部801は、動作モード S_m と診断部806が出力する故障通知信号 S_f とを用いて電力変換装置8の動作状態を遷移させ、現在の動作状態をPWM信号生成部804に出力する。動作状態の例としては、例えばPWM状態、3相短絡状態、3相開放状態などが挙げられる。

[0026] 目標電流計算部802は、目標トルク τ_s 、直流電圧センサ値 V_{dc} およびモータ角速度 ω_0 を用いて、モータ9が目標トルク τ_s と同じトルクを出力するために必要な目標電流値を計算する。目標電流値は電流制御部803に出力される。目標電流値は、例えば、d軸目標電流値とq軸目標電流値の形で表される。

[0027] 電流制御部803は、目標電流値、電流 I_u , I_v , I_w 、モータ角度センサ値 θ_m 、直流電圧センサ値 V_{dc} を用いて、モータ9を流れる交流電流が目標電流値に追従するようにフィードバック制御を行い、PWM制御における3相分のデューティ値 D_u , D_v , D_w を計算する。そして、デューティ値 D_u , D_v , D_w は、PWM信号生成部804に入力される。

[0028] PWM信号生成部804は、状態制御部801から出力される動作状態に応じて、ドライバ回路81に出力する信号を切り替える。PWM信号生成部804は内部にタイマ(図示せず)を有しており、動作状態がPWM状態である場合には、このタイマ値と電流制御部803が出力する各相のデューティ値 D_u , D_v , D_w を用いてPWM信号 pwm を生成する。そして、PWM信号生成部804は、生成したPWM信号 pwm を図2に示すドライバ回路81へ出力する。

[0029] 一方、動作状態が3相開放状態である場合は、電力変換回路82内の6個のパワー半導体822(図3参照)をすべてオフにするPWM信号 pwm を生成する。また、動作状態が3相短絡状態である場合は、電力変換回路82

内の6個のパワー半導体822の内、上アームのパワー半導体822をすべてオフにし、下アームのパワー半導体822をすべてオンにするPWM信号pwm、あるいは、上アームのパワー半導体822をすべてオンにし下アームのパワー半導体822をすべてオフにするPWM信号pwmを生成する。生成されたPWM信号pwmはドライバ回路81へ出力される。

[0030] 診断部806は、電流 I_u 、 I_v 、 I_w 、モータ速度計算部805で算出されたモータ角速度 ω_0 および目標電流計算部802で算出された目標電流値に基づいて、電力変換装置8内部の故障を診断する。診断の結果、故障を検知した場合には、診断部806は、故障箇所の内容を故障通知信号Sfとして状態制御部801や外部の制御装置6および故障通知装置7に出力する。

[0031] (オープン故障診断の処理)

図5は、診断部806により実行されるオープン故障診断処理の一例を示すフローチャートである。診断部806は、図5に示す一連の処理を一定の時間周期で繰り返し実行する。

[0032] ステップS100では、診断部806は、目標電流計算部802から入力された目標電流値が閾値Th1より大きいかなかを判定する。ステップS100において、目標電流値が閾値Th1より大きいと判定されるとステップS101へ進み、目標電流値が閾値Th1以下であると判定されると図5の診断処理を終了する。

[0033] ステップS101では、相毎のループ処理を開始する。図5のフローチャートにおいて、ステップS101からステップS113までのループ処理は、U相、V相、W相の相毎にそれぞれ行われる。以下では、U相に関して説明し、V相およびW相に関する説明は省略する。

[0034] ステップS102では、診断部806は、U相の電流 I_u の絶対値（図5では|電流|と表す）が閾値Th2よりも小さいかなかを判定する。ステップS102において電流 I_u の絶対値が閾値Th2よりも小さいと判定されると、ステップS104へ進む。一方、電流 I_u の絶対値が閾値Th2以上であると判定されると、ステップS106へ進む。

- [0035] 電流 I_u が $|I_u| < Th2$ であってステップ S 1 0 4 へ進んだ場合には、診断部 8 0 6 は、ステップ S 1 0 4 において U 相の故障検知カウンタ C に、電流の周波数に応じた所定加算量を加算する。一方、電流 I_u が $|I_u| \geq Th2$ であってステップ S 1 0 6 へ進んだ場合には、診断部 8 0 6 は、ステップ S 1 0 6 において U 相の故障検知カウンタ C から、電流の周波数に応じた所定減算量を減算する。
- [0036] ここで、ステップ S 1 0 4 の所定加算量およびステップ S 1 0 6 の所定減算量は、電流の周波数に比例した値とする。すなわち、電流の周波数が高いほど、所定加算量および所定減算量を大きく設定する。電流の周波数はモータ速度に比例するので、モータ速度計算部 8 0 5 で算出されたモータ角速度 ω_0 に基づいて所定加算量および所定減算量を設定する。その場合、モータ角速度 ω_0 から電流周波数を算出しても良いし、所定加算量および所定減算量をモータ角速度 ω_0 自体に比例した値としても良い。もちろん、入力された電流 I_u , I_v , I_w から電流の周波数を算出するようにしても良い。
- [0037] ステップ S 1 0 4 およびステップ S 1 0 6 の処理が終了すると、ステップ S 1 0 8 へ進む。ステップ S 1 0 8 では、診断部 8 0 6 は、U 相の故障検知カウンタ C が閾値 $Th3$ を超えているか否かを判定する。故障検知カウンタ C が閾値 $Th3$ を超えている場合には、ステップ S 1 1 0 へ進んで U 相のパワー半導体 8 2 2 がオープン故障していると診断する。一方、故障検知カウンタ C が閾値 $Th3$ を超えていない場合には、ステップ S 1 1 2 へ進んで U 相のパワー半導体 8 2 2 は正常であると診断する。
- [0038] ステップ S 1 1 0 およびステップ S 1 1 2 の処理が終了すると、ステップ S 1 1 3 へ進む。ステップ S 1 1 3 では U 相のループ処理を完了し、その後、ステップ S 1 0 1 へ戻って V 相に関するループ処理を実行する。そして、V 相に関するループ処理が完了したならば、再びステップ S 1 0 1 へ戻って W 相に関するループ処理を実行する。説明は省略するが、V 相および W 相に関しても、U 相の場合と同様の処理がステップ S 1 0 2 ~ S 1 1 2 において実行される。

[0039] 図6は、オープン故障診断処理におけるタイミングチャートの一例であり、U相を例に示した。信号波形(a), (b)は、電流 I_u の周波数が低い場合の例を示したものである。信号波形(a)の実線は電流 I_u の変化を示す。信号波形(b)の実線は故障検知カウンタCの変化を示す。一方、信号波形(c), (d)は電流 I_u の周波数が高い場合の例を示したものである。信号波形(c)の実線は電流 I_u の変化を示す。信号波形(d)の実線は故障検知カウンタCの変化を示す。いずれの信号波形の場合も、横軸は時間 t である。

[0040] 図6に示す例では時刻 t_1 にオープン故障が発生している。時刻 t_1 以前の正常時には、モータ9には正弦波状の電流が流れる。しかし、時刻 t_1 にU相のパワー半導体822にオープン故障が発生すると、U相においては正負いずれかの方向に電流が流れなくなる。図6はU相の上アームのパワー半導体822がオープン故障である場合を示したもので、正方向に電流が流れなくなっている。

[0041] 正常時であっても、信号波形(a), (c)に示すように、電流 I_u の絶対値が閾値 $Th2$ 未満である時間帯は存在する。しかし、閾値 $Th2$ 未満となる時間帯は電流 I_u の1周期に比べて短いので、故障検知カウンタCは閾値 $Th3$ を超えることがない。一方、パワー半導体822のオープン故障が発生すると電流 I_u が正方向に流れなくなり、その状態が続く約1/2周期の間は、電流 I_u の値はほぼ0[A]になる。電流 I_u の値がほぼ0[A]となる状態においては、電流 I_u の絶対値は閾値 $Th2$ 未満であるため、常にステップS102からステップS104へと進み、故障検知カウンタCの加算が繰り返される。そして、故障検知カウンタCが閾値 $Th3$ を超えた($C > Th3$)時点(時刻 t_2)で、診断部806はパワー半導体822がオープン故障していると診断する。

[0042] 本実施形態では、図5のステップS104およびS106で説明したように、電流の周波数が高いほど故障検知カウンタCの加減算量を大きく設定するようにしている。ここで、比較例として、故障検知カウンタCの加減算量

を電流の周波数によらず一定とした場合を考える。図6の信号波形（b），（d）に示す一点鎖線のラインL1，L2は比較例の場合を示している。

[0043] 信号波形（a），（c）に示すように、正常時に閾値Th2未満となる時間帯は電流Iuの周波数が低いほど長い。診断処理は電流Iuの周波数によらず一定周期で実施される。そのため、信号波形（c）のように電流Iuの周波数が高い場合であっても、時刻t1に故障が発生してほぼ1/2周期が経過するまでに故障検知カウンタCが閾値Th3を超えるように、故障検知カウンタCの加減算量を設定する必要がある。このように、加減算量を設定した場合、比較例の場合の加減算量は周波数によらず一定なので、信号波形（a）のように電流Iuの周波数が低い場合には、正常時における故障検知カウンタCはラインL1で示すようになる。その結果、比較例の加減算量設定方法の場合には、正常時においても、パワー半導体822がオープン故障していると誤診断されてしまうことになる。

[0044] 逆に、電流Iuの周波数が低い場合において、オープン故障発生時に1/2周期以内に故障が検知され、正常時にオープン故障の誤診断が発生しないように故障検知カウンタCの加減算量を設定した場合を考える。すなわち、電流Iuの周波数によらず、図6の信号波形（b）の実線で示すように故障検知カウンタCの加減算量に設定する。そのように設定すると、信号波形（c）のように電流Iuの周波数が高い場合には、オープン故障発生後の故障検知カウンタCは信号波形（d）のラインL2で示すようになる。その結果、故障検知カウンタCが閾値Th3に到達できず、パワー半導体822のオープン故障を検知できない可能性がある。

[0045] 一方、第1の実施形態では、電流の周波数が高いほど故障検知カウンタCの加減算量を大きく設定するようにしている。そのため、図6の信号波形（b），（d）の実線で示すように、オープン故障発生時において電流変化の1/2周期内で故障検知カウンタCが閾値Th3に到達し、かつ、正常時において故障検知カウンタCが閾値Th3に到達しないように、故障検知カウンタCの加減算量を設定することが可能となる。その結果、電流の周波数の高低によ

らず安定したオープン故障診断を行うことができる。

[0046] また、ステップS 1 0 0 の処理を行うことにより、目標電流値が閾値 $Th1$ 以下である場合には、オープン故障診断の処理を実施しないようにしている。例えば、ステップS 1 0 0 の処理を設けない場合には、オープン故障が発生していない場合であっても、モータ9を流れる電流の絶対値が閾値 $Th2$ よりも小さい場合には、故障検知カウンタCが閾値 $Th3$ を超えてオープン故障と誤診断されるおそれがある。そのため、本実施形態では、ステップS 1 0 0 の処理を行うことにより、そのような誤診断を回避することができる。

[0047] なお、モータ9に電流をどの程度流すかは、目標トルク τ_s とモータ速度（すなわち、モータ角速度 ω_0 ）によって決まる。そのため、ステップS 1 0 0 の判定処理において、目標電流値を使用する代わりに、目標トルク τ_s とモータ角速度 ω_0 を使用して判定を行っても良い。

[0048] 上述したように、第1の実施形態では、電流の周波数が高いほど故障検知カウンタCの加減算量を大きく設定することにより、モータ回転速度（すなわち、電流の周波数）の高低によらず、パワー半導体822のオープン故障を検知することができる。さらに、第1の実施形態では、モータ回転速度の高低によらず電流 I_u の約1/2周期の期間内でオープン故障が検知されるので、素早い故障検知を行うことができる。

[0049] （第2の実施形態）

図7～9を参照して、本発明の駆動装置の第2の実施形態について説明する。第2の実施形態においても、図1に示す車両1に搭載される駆動装置2を例に説明する。なお、駆動装置2の概略構成、駆動装置2の電力変換装置8に設けられた電力変換回路82の構成、および、電力変換装置8に設けられた制御回路80の構成は、上述した第1の実施形態の図2，3，4に示す構成と同様である。

[0050] 図7，8は、制御回路80の診断部806（図4参照）により実行されるオープン故障診断処理の一例を示すフローチャートである。診断部806は、図7に示す処理および図8に示す処理を、それぞれ一定の時間周期で繰り返す。

返し実行する。なお、図 7, 8 の処理の実行周期は同一でも良いし、異なっても良い。

[0051] まず、図 7 のフローチャートについて説明する。図 7 のフローチャートにおいて、ステップ S 1 0 0, S 1 0 1, S 1 0 2, S 1 0 4, S 1 0 6 および S 1 1 3 の処理は、図 5 に示したフローチャートの同一符号を付したステップと同一の処理を行う。以下では、上述した第 1 の実施形態と異なる部分を主に説明し、第 1 の実施形態と同一の部分については説明を省略する。また、ステップ S 1 0 1 で開始される相単位のループ処理の内、U 相に関する処理について説明する。

[0052] 図 7 のステップ S 1 0 4 またはステップ S 1 0 6 の処理が終了すると、ステップ S 2 0 0 へ進む。ステップ S 2 0 0 では、診断部 8 0 6 は、U 相の故障検知カウンタ C が閾値 T_{h3A} を超えているか否かを判定する。ステップ S 2 0 0 で $C > T_{h3A}$ と判定されると、ステップ S 2 0 2 へ進んで U 相の異常フラグをセットする。一方、ステップ S 2 0 0 で $C \leq T_{h3A}$ と判定されると、ステップ S 2 0 4 へ進んで U 相の故障検知カウンタ C が閾値 T_{h3B} を下回っているか否かを判定する。ステップ S 2 0 4 で $C < T_{h3B}$ と判定されると、ステップ S 2 0 6 へ進んで U 相の異常フラグをリセットする。一方、ステップ S 2 0 4 で $C \geq T_{h3B}$ と判定されるとステップ S 1 1 3 へ進む。なお、閾値 T_{h3B} は $T_{h3B} < T_{h3A}$ のように設定される。

[0053] ステップ S 1 1 3 では U 相のループ処理を完了し、その後、ステップ S 1 0 1 へ戻って V 相に関するループ処理を実行する。そして、V 相に関するループ処理が完了したならば、再びステップ S 1 0 1 へ戻って W 相に関するループ処理を実行する。説明は省略するが、V 相および W 相に関しても、上述した U 相の場合と同様の処理が実行される。

[0054] 次に、図 8 のフローチャートについて説明する。ステップ S 3 0 0 では、診断部 8 0 6 は、各相の内のいずれかの相の異常フラグがセットされているか否かを判定する。ステップ S 3 0 0 でセットされていると判定されると (yes)、ステップ S 3 0 2 へ進みデバウンスカウンタ C d を加算する。一

方、全ての相の異常フラグがリセット状態の場合には、ステップS300でnoと判定されてステップS304へ進み、デバウンスカウンタCdを減算する。

[0055] ステップS306では、診断部806は、デバウンスカウンタCdが閾値Th4を超えているか否かを判定する。ステップS306で $Cd > Th4$ と判定されると、ステップS308へ進んでパワー半導体822がオープン故障していると診断する。一方、ステップS306で $Cd \leq Th4$ と判定されると、パワー半導体822は正常であると診断する。

[0056] 図9は、第2の実施形態におけるオープン故障診断処理のタイミングチャートの一例を示したものであり、U相を例に示した。信号波形(a)の実線は電流Iuの変化を示し、信号波形(b)の実線は故障検知カウンタCの変化し、信号波形(c)の実線は異常フラグの変化を示し、信号波形(d)の実線はデバウンスカウンタCdの変化を示す。いずれの信号波形の場合も、横軸は時間tである。

[0057] 図9の場合も、図6の場合と同様に時刻t1においてオープン故障が発生している。時刻t1にU相の上アームのパワー半導体822にオープン故障が発生し、それ以降、正方向に電流が流れなくなっている。時刻t1以降は電流Iuがゼロの状態がしばらく続くので、故障検知カウンタCは加算されて増加する。そして、時刻t2に故障検知カウンタCが閾値Th3Aを超えると、異常フラグがセットされる。その後、電流Iuが $Iu \leq -Th2$ となると故障検知カウンタCが減算され、 $Th2 > Iu > -Th2$ となると故障検知カウンタCが加算される。その結果、故障検知カウンタCは、信号波形(b)に示すように増加、減少を繰り返す。

[0058] 図9では、区間($Th2 > Iu > -Th2$)における故障検知カウンタCの増加量が区間($Iu \leq -Th2$)における減少量よりも大きくなるように、ステップS104における加算量およびステップS106における減算量が設定されている。その結果、故障検知カウンタCの増加→減少、減少→増加の折り返し点は徐々に図示上方に移動し、故障検知カウンタCは $C \geq Th3$ の状態が維

持されて異常フラグのセット状態が維持される。

- [0059] 異常フラグがセット状態（時刻 t_2 ）となった後の時刻 t_3 に、図 8 のステップ S 300 が実行されると、ステップ S 302 の処理が行われ、信号波形（d）に示すようにデバウンスカウンタ C_d が加算される。その後、一定の時間周期で図 8 の処理が繰り返される度に、デバウンスカウンタ C_d が加算される。そして、時刻 t_4 にデバウンスカウンタ C_d が閾値 Th_4 を超えると、図 8 のステップ 308 が実行されてオープン故障と診断される。
- [0060] 上述したように、第 2 の実施形態では、故障検知カウンタ C が閾値 Th_{3A} を超えた場合に異常フラグをセットし、この異常フラグのセット状態は故障検知カウンタ C が閾値 Th_{3B} を下回るまで継続する。そして、デバウンスカウンタ C_d の加減算を異常フラグの状態に基づいて実行することで、デバウンスカウンタ C_d の処理タイミングによらず安定して故障か正常かの診断を行うことができる。
- [0061] 前述した第 1 の実施形態の場合には、電流 I_u の約 $1/2$ 周期のあいだ電流が流れない状態が発生すると、故障検知カウンタ C が閾値 Th_3 を超えてオープン故障が検知されるので、素早くオープン故障を検知することができる。一方、第 2 の実施形態では、上述のような異常フラグに基づくデバウンスカウンタ C_d を導入することにより、ノイズなどの偶発的影響による誤検知の発生を回避して、オープン故障診断の安定性向上を図っている。図 9 に示す例では、電流 I_u が流れない状態の発生がほぼ 3 周期続いた場合に、 $C_d > Th_4$ となりオープン故障と診断される。このオープン故障と判定されるまでの時間は図 8 の処理の実行周期に依存するので、実行周期をより短くすることで診断処理時間をより短くすることができる。
- [0062] なお、信号波形（b）からも分かるように、パワー半導体 822 のオープン故障発生時は、電流 I_u の 1 周期の内の約 $1/2$ 周期は電流が流れなくなり、約 $1/2$ 周期は電流が流れる。そのため、故障検知カウンタ C の値（すなわち加算量および減算量の積算値）は、加算の後の減算によって 0 に近い値となる場合がある。そのため、閾値 Th_{3B} の設定によっては、パワー半導体 822 の

オープン故障が発生しているにもかかわらず故障検知カウンタCが閾値Th3Bを下回って、異常フラグがリセットされてしまうことがある。

[0063] そこで、故障検知カウンタCが閾値Th3Aを上回って異常フラグがセットされた際（図9の時刻t2）に、故障検知カウンタCをさらに一定数 ΔC だけ加算する。そうすることで、時刻t2以降の故障検知カウンタCのラインが一定数 ΔC だけ図示上方にシフトする。その結果、オープン故障発生時における異常フラグのリセットが防止され、オープン故障を見逃す可能性を低減できる。

[0064] （第3の実施形態）

図10、11を参照して、本発明の駆動装置の第3の実施形態について説明する。第3の実施形態においても、図1に示す車両1に搭載される駆動装置2を例に説明する。なお、駆動装置2の概略構成、駆動装置2の電力変換装置8に設けられた電力変換回路82の構成、および、電力変換装置8に設けられた制御回路80の構成は、上述した図2、3、4に示す構成と同様である。

[0065] 図10は、診断部806により実行されるオープン故障診断処理の一例を示すフローチャートである。診断部806は、図10に示す一連の処理を一定の時間周期で繰り返し実行する。図10のフローチャートは、図5に示したフローチャートにステップS400を追加したものである。以下では、上述した第1の実施形態と異なる部分を主に説明し、第1の実施形態と同一の部分については説明を省略する。また、ステップS101で開始される相単位のループ処理の内、U相に関する処理について説明する。

[0066] 図10のステップS400では、診断部806は、閾値Th2を電流Iuの周波数に応じた値に設定する。具体的には、電流Iuの周波数が高いほど、閾値Th2を大きく設定する。なお、電流の周波数はモータ速度に比例するので、ここでは、モータ速度計算部805で算出されたモータ角速度 ω_0 に基づいて閾値Th2を設定する。その場合、モータ角速度 ω_0 から電流周波数を算出しても良いし、閾値Th2をモータ角速度 ω_0 自体に比例した値としても良い。もち

ろん、入力された電流 I_u , I_v , I_w から電流の周波数を算出するようにしても良い。

[0067] ステップ S 1 0 2 では、ステップ S 4 0 0 で設定した閾値 Th_2 を用いて、電流 I_u の絶対値が閾値 Th_2 を超えているか否かを判定する。ステップ S 1 0 2 以降の処理は図 5 に示したフローチャートの場合と同様であり、説明を省略する。また、V 相および W 相に関する処理も、U 相の場合と同様に行われる。

[0068] 図 1 1 は、パワー半導体 8 2 2 のオープン故障が発生している場合の電流波形を示したものであり、電流波形 (a) はモータ速度が低い場合の波形を示し、電流波形 (b) はモータ速度が高い場合の波形を示す。いずれの場合も、横軸は時間である。パワー半導体 8 2 2 のオープン故障が発生すると、電流の約 $1/2$ 周期の区間においては故障した相に電流が流れなくなる。

[0069] ところが、モータ速度が高い場合には、モータ 9 が発生する逆起電力の影響により電流 (リップル電流) が流れることがある。そのため、オープン故障診断において電流の大小を判定する閾値 Th_2 が常に一定であると、モータ速度が高い場合にオープン故障を正しく診断できないおそれがある。第 3 の実施形態では、図 1 1 の電流波形 (a), (b) に示すように、モータ速度が高いほど閾値 Th_2 を大きく設定することで誤診断を回避し、モータ速度の高低によらず安定したオープン故障診断を行うことができる。

[0070] (第 4 の実施形態)

図 1 2, 1 3 を参照して、本発明の駆動装置の第 4 の実施形態について説明する。第 4 の実施形態においても、図 1 に示す車両 1 に搭載される駆動装置 2 を例に説明する。なお、駆動装置 2 の概略構成、駆動装置 2 の電力変換装置 8 に設けられた電力変換回路 8 2 の構成、および、電力変換装置 8 に設けられた制御回路 8 0 の構成は、上述した図 2, 3, 4 に示す構成と同様である。

[0071] 図 1 2 は、診断部 8 0 6 により実行されるオープン故障診断処理の一例を示すフローチャートである。診断部 8 0 6 は、図 1 2 に示す一連の処理を一

定の時間周期で繰り返し実行する。図12のフローチャートは、第1の実施形態の図5に示したフローチャートのステップS102に代えてステップS500、S502を追加したものである。以下では、上述した第1の実施形態と異なる部分を主に説明し、第1の実施形態と同一の部分については説明を省略する。また、ステップS101で開始される相単位のループ処理の内、U相に関する処理について説明する。

[0072] ステップS500では、診断部806は、正常時の電流が流れる向きすなわち電流方向が正方向か負方向かに応じて、図13に示すように上限側の閾値 T_{h2A} および下限側の閾値 T_{h2B} を設定する。図13は、オープン故障が発生している場合の電流 I_u の波形を示す図であり、破線で閾値 T_{h2A} のラインを示し、一点鎖線で閾値 T_{h2B} のラインを示した。なお、図13では、図11の電流波形(b)に示すモータ速度が高い場合の電流波形を示した。正常時に正の電流が流れる期間R1において、0[A]付近の電流もしくは負の電流が流れている。

[0073] 図13の図示右側に示した実線ラインが、第1の実施の形態における閾値 T_{h2} 、 $-T_{h2}$ である。正常時に正方向の電流が流れる期間R1では、閾値 T_{h2A} は $T_{h2A} = T_{h2}$ と設定され、閾値 T_{h2B} は $-T_{h2}$ よりもマイナス方向に大きな値($T_{h2B} < -T_{h2} < 0$)に設定される。一方、正常時に負方向の電流が流れる期間R2では、閾値 T_{h2A} は T_{h2} よりもプラス方向に大きな値($T_{h2A} > T_{h2} > 0$)に設定され、閾値 T_{h2B} は $T_{h2A} = -T_{h2}$ と設定される。

[0074] 正常時の各相の電流値(I_u 、 I_v 、 I_w)は、電流目標値(I_d 、 I_q)と電気角(θ)から式(1)を用いて計算することができる。式(1)において、 I_d はd軸目標電流値、 I_q はq軸目標電流値、 θ は電気角、 I_u はU相電流、 I_v はV相電流、 I_w はW相電流を示す。電気角 θ はモータ角度センサ値 θ_m にモータ9の極対数を掛けることで計算できる。ここで計算した各相の電流値(I_u 、 I_v 、 I_w)の正負から、各相の電流の方向を判断する。

[数1]

$$\begin{bmatrix} I_u \\ I_v \\ I_w \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) \\ \cos(\theta - \frac{2}{3}\pi) & -\sin(\theta - \frac{2}{3}\pi) \\ \cos(\theta + \frac{2}{3}\pi) & -\sin(\theta + \frac{2}{3}\pi) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_d \\ I_q \end{bmatrix}$$

・・・(1)

[0075] ステップS502では、診断部806は、電流 I_u が「閾値 $Th2A > \text{電流 } I_u > \text{閾値 } Th2B$ 」を満たしているか否かを判定する。ステップS502で「閾値 $Th2A > \text{電流 } I_u > \text{閾値 } Th2B$ 」であると判定されると、ステップS104に進んでU相の故障検知カウンタCを所定加算量だけ加算する。一方、ステップS502で「閾値 $Th2A > \text{電流 } I_u > \text{閾値 } Th2B$ 」でないと判定されると、ステップS106に進んで故障検知カウンタCから所定減算量だけ減算する。なお、ステップS108以降の処理は図5に示したフローチャートの場合と同様であり、説明を省略する。また、V相およびW相に関する処理も、U相の場合と同様に行われる。

[0076] 前述した第3の実施形態では、図11の電流波形(a)，(b)に示すように、モータ速度が高いほど閾値 $Th2$ を大きく設定することで誤診断を回避した。一方、第4の実施形態では、図13に示すように期間R1でマイナス方向のリプル電流が生じていても、この期間R1（正常時に正方向の電流が流れる期間）において、閾値 $Th2B$ がマイナス方向に大きく設定されているので誤診断を回避することができる。その結果、モータ速度の高低によらず安定したオープン故障診断を行うことができる。

[0077] (第5の実施形態)

図14，15を参照して、本発明の駆動装置の第5の実施形態について説明する。第5の実施形態においても、図1に示す車両1に搭載される駆動装置2を例に説明する。なお、駆動装置2の概略構成、駆動装置2の電力変換装置8に設けられた電力変換回路82の構成、および、電力変換装置8に設けられた制御回路80の構成は、上述した図2，3，4に示す構成と同様で

ある。

[0078] 図14は、診断部806により実行されるオープン故障診断処理の一例を示すフローチャートである。診断部806は、図14に示す一連の処理を一定の時間周期で繰り返し実行する。図14のフローチャートは、第1の実施形態の図5に示したフローチャートのステップS104, S106に代えてステップS600, S602を追加し、さらに、ステップS604を新たに加えたものである。以下では、上述した第1の実施形態と異なる部分を主に説明し、第1の実施形態と同一の部分については説明を省略する。また、ステップS101で開始される相単位のループ処理の内、U相に関する処理について説明する。

[0079] ステップS102において電流 I_u の絶対値が閾値 $Th2$ よりも小さいと判定されると、ステップS600へ進んでU相の故障検知カウンタCに一定値の加算量を加算する。一方、ステップS102において電流 I_u の絶対値が閾値 $Th2$ 以上であると判定されると、ステップS602へ進んでU相の故障検知カウンタCから一定値の減算量を減算する。

[0080] ステップS604では、電流の周波数に応じた閾値 $Th3$ を設定する。詳細は後述するが、電流の周波数が高いほど閾値 $Th3$ を小さく設定する。前述した第1の実施形態で記載したように、電流の周波数はモータ速度に比例するので、モータ速度計算部805で算出されたモータ角速度 ω_0 に基づいて閾値 $Th3$ を設定する。その場合、モータ角速度 ω_0 から電流周波数を算出しても良いし、閾値 $Th3$ をモータ角速度 ω_0 自体に比例した値としても良い。もちろん、入力された電流 I_u , I_v , I_w から電流の周波数を算出するようにしても良い。

[0081] なお、ステップS108以降の処理は図5に示したフローチャートの場合と同様であり、説明を省略する。また、V相およびW相に関する処理も、U相の場合と同様に行われる。

[0082] 図15は、第1の実施形態の図6に相当するタイミングチャートである。信号波形(a), (b), (c)は図6に示した信号波形(a), (b),

(c) と同一のものであり、信号波形 (d) は図 6 の信号波形 (d) と異なる。信号波形 (a), (b) は電流 I_u の周波数が低い場合の例を示したもので、信号波形 (a) の実線は電流 I_u の変化を示し、信号波形 (b) の実線は故障検知カウンタ C の変化を示す。一方、信号波形 (c), (d) は電流 I_u の周波数が高い場合の例を示したもので、信号波形 (c) の実線は電流 I_u の変化を示し、信号波形 (d) の実線は故障検知カウンタ C の変化を示す。

[0083] 第 5 の実施形態では、故障検知カウンタ C の加算量および減算量を一定値に設定しているので、信号波形 (b) における故障検知カウンタ C のラインの傾きも、信号波形 (d) における故障検知カウンタ C のラインの傾きも同じになっている。一方、信号波形 (a) と信号波形 (c) とを比較すると、電流周波数が高い信号波形 (c) の方が 1 周期当たりの故障検知カウンタ C の加算期間および減算期間が短いので、その間の故障検知カウンタ C の増加量および減少量も小さい。

[0084] そこで、電流周波数が低い場合は、正常時でも電流 I_u の絶対値が閾値 $Th2$ の範囲内に入っている時間が長くなるので、誤診断を防止するために閾値 $Th3$ の値を大きく設定する。一方、電流周波数が高い場合では、オープン故障時に電流 I_u が流れなくなる期間が短くなる。その場合でも故障検知が可能なように、閾値 $Th3$ の値を電流 I_u の周波数が高い場合よりも小さく設定する。その際、加算量とオープン故障時における約 $1/2$ 周期の期間内における加算回数とを考慮して、約 $1/2$ 周期の期間内において故障検知カウンタ C が閾値 $Th3$ に到達するように、閾値 $Th3$ の大きさを設定する。

[0085] このように、加算量および減算量を一定値に設定する第 5 の実施形態では、閾値 $Th3$ の大きさを電流周波数に応じて変化させることで、モータ速度の大小（電流周波数の高低）に関わらずパワー半導体 822 のオープン故障を検知することができるとともに、正常時における誤検知を防止することができる。

[0086] 前述した第 1 の実施形態では、電流周波数に応じて故障検知カウンタ C の加算量・減算量を変化させることで、電流周波数の高低によらずオープン故

障を検知することを可能とした。一方、第5の実施形態では、電流周波数に応じて閾値 T_{h3} の大きさを変化させることで、電流周波数の高低によらずオープン故障を検知することを可能とした。

[0087] 図16は、第1の実施形態と第5の実施形態とを比較するための信号波形を示したものである。図16において、信号波形(a)はモータ速度の変化を表し、信号波形(b)は正常時の電流波形を表し、信号波形(c)は第5の実施形態における故障検知カウンタCの変化を表し、信号波形(d)は第1の実施形態における故障検知カウンタCの変化を表す。信号波形(c)、(d)においては、各実施形態における閾値 T_{h3} も示した。なお、図16に示す例では、モータ速度が低い状態で電流の絶対値が閾値 T_{h2} 未満の状態が長時間継続し、その後、モータ速度が高くなり電流値が閾値 T_{h2} 以上になった場合を示している。

[0088] 第1の実施形態の場合には、モータ速度が低い状態で電流値が閾値 T_{h2} 未満の状態が継続しても、信号波形(d)に示すように故障検知カウンタCは少しずつしか加算されない。一方、モータ速度が高くなると、閾値 T_{h2} 以上になる期間は電流値が閾値 T_{h2} 未満となる期間よりも長くなり、故障検知カウンタCが大きく減算される。そのため、故障検知カウンタは閾値 T_{h3} に到達せず、オープン故障と誤診断することは無い。

[0089] 第5の実施形態の場合には、モータ速度が低い状態（電流周波数が低い状態）では閾値 T_{h3} が大きく設定され、モータ速度の増加に従って急激に減少している。また、電流値が閾値 T_{h2} 未満の状態における故障検知カウンタCの増加は、加算量を低周波数では大きく設定する第1の実施形態に比べて大きい。電流振幅が閾値 T_{h2} を超える状態になると、故障検知カウンタCの減算期間は加算期間よりも長いので、大局的には故障検知カウンタCは減少傾向となる。

[0090] その場合、信号波形(c)に示すように、故障検知カウンタCは減少量よりも閾値 T_{h3} の減少量の方が大きい。そのため、モータ速度が増加すると故障検知カウンタCが閾値 T_{h3} よりも大きい状態となり、オープン故障と誤診

断されてしまう。このように、第1の実施形態の診断方法の方が、第5の実施形態の診断方法と比べて、モータ速度が変化した場合の誤診断の発生を低く抑えることができる。

[0091] 以上説明した本発明の実施形態によれば、以下の作用効果を奏する。

[0092] (C1) 図2～6, 14, 15等に応示するように、スイッチング素子（パワー半導体822）を備える三相インバータ回路（電力変換回路82）の各相の出力電流を検出する電流検出部（交流電流センサ84）と、各相の出力電流に基づいて、パワー半導体822のオープン故障を診断する故障診断部（診断部806）と、を備え、診断部806は、出力電流の値が所定範囲内（ $| \text{電流} | < \text{閾値 } Th2$ ）である場合に所定加算量を加算し、出力電流の値が所定範囲内でない場合に所定減算量を減算することで相毎の故障検知カウンタCを演算し、故障検知カウンタCが第1カウンタ閾値（閾値 $Th3$ ）を超えた場合にオープン故障と診断する。そして、診断部806は、出力電流の周波数が低いほど所定加算量および所定減算量をより小さい値に設定、または、出力電流の周波数が低いほど第1カウンタ閾値（閾値 $Th3$ ）をより大きい値に設定する。

[0093] 上述した第1の実施形態のように、出力電流の周波数が低いほど所定加算量および所定減算量をより小さい値に設定することで、周波数の高低によらずオープン故障を検知することができる。また、第5の実施形態のように、出力電流の周波数が低いほど第1カウンタ閾値（閾値 $Th3$ ）をより大きい値に設定することで、周波数の高低によらずオープン故障を検知することができる。さらに、出力電流の周波数（モータ回転速度）の高低によらず電流の約1/2周期の期間内でオープン故障の検知が可能となるので、素早い故障検知を行うことができる。

[0094] (C2) 上記(C1)において、図7～9等に応示するように、診断部806は、出力電流の周波数が低いほど、所定加算量および所定減算量をより小さい値に設定し、故障検知カウンタCが所定のセット閾値（閾値 $Th3A$ ）を上回る場合に故障フラグをセットし、前記故障検知カウンタが所定のリセット閾値

(閾値 $Th3B$) を下回る場合に故障フラグをリセットする。そして、診断部 806 は、故障フラグがセットされた状態ではデバウンスカウンタ Cd を加算し、故障フラグがリセットされた状態ではデバウンスカウンタ Cd を減算し、デバウンスカウンタ Cd が第 2 カウンタ閾値 (閾値 $Th4$) を超えた場合にオープン故障と診断する。

[0095] 上述のような異常フラグに基づくデバウンスカウンタ Cd を導入することにより、ノイズなどの偶発的影響による誤検知の発生を回避して、オープン故障診断の安定性向上を図ることができる。

[0096] (C3) 上記 (C1) において、図 10, 11 等を示すように、診断部 806 は、出力電流の周波数が低いほど所定加算量および所定減算量をより小さい値に設定し、出力電流の周波数が高いほど所定範囲を、すなわち、図 11 の $Th2$ から $-Th2$ までの幅を、より広く設定する。

[0097] 出力電流の周波数 (すなわち、モータ速度) が高い場合には、モータ 9 が発生する逆起電力の影響によりリップル電流が発生しやすい。そのため、モータ速度が高いほど閾値 $Th2$ を大きく設定することで誤診断を回避し、モータ速度の高低によらず安定したオープン故障診断を行うことができる。

[0098] (C4) なお、上記 (C1) において、出力電流が入力される回転電機 (モータ 9) の回転速度 (モータ速度) を検出する回転速度検出部 (モータ角度センサ 91) をさらに備え、回転速度が低いほど、所定加算量および所定減算量をより小さい値に設定し、回転速度が高いほど所定範囲の幅をより広く設定するようにしても良い。上述した (C3) の場合と同様の作用効果を奏することができる。

[0099] (5) 上記 (C1) において、図 12, 13 等を示すように、診断部 806 は、出力電流の周波数が低いほど、所定加算量および所定減算量をより小さい値に設定し、交流電流センサ 84 で検出された出力電流に基づいて、オープン故障が生じていない正常な場合の電流の正負を推定する。そして、診断部 806 の推定結果が正の場合には、所定範囲 ($Th2B < \text{所定範囲} < Th2A$) の内の負値側の範囲 ($Th2A \sim 0$) を正值側の範囲 ($0 \sim Th2B$) よりも大き

く設定し、診断部 806 の推定結果が負の場合には、所定範囲 ($Th2B < \text{所定範囲} < Th2A$) の内の正值側の範囲 ($0 \sim Th2B$) を負値側の範囲 ($Th2A \sim 0$) よりも大きく設定する。

[0100] その結果、図 13 に示すように期間 R1 でマイナス方向のリプル電流が生じていても、この期間 R1 においては閾値 $Th2B$ がマイナス方向に大きく設定されているので誤診断を回避することができる。その結果、モータ速度の高低（すなわち、出力電流の周波数の高低）によらず安定したオープン故障診断を行うことができる。

[0101] なお、本発明は上記した実施形態に限定されるものではなく、様々な変形例が含まれる。例えば、上記した実施形態は本発明を分かりやすく説明するために詳細に説明したものであり、必ずしも説明した全ての構成を備えるものに限定されるものではない。また、ある実施形態の構成の一部を他の実施形態の構成に置き換えることが可能であり、また、ある実施形態の構成に他の実施形態の構成を加えることも可能である。また、各実施形態の構成の一部について、他の構成の追加、削除、置換をすることが可能である。

[0102] また、上記の各構成、機能、処理部、処理手段等は、それらの一部又は全部を、例えば集積回路で設計する等によりハードウェアで実現してもよい。また、上記の各構成、機能等は、プロセッサがそれぞれの機能を実現するプログラムを解釈し、実行することによりソフトウェアで実現してもよい。各機能を実現するプログラム、テーブル、ファイル等の情報は、メモリや、ハードディスク、SSD(Solid State Drive)等の記録装置、または、ICカード、DVD等の記録媒体に置くことができる。

符号の説明

[0103] 1…車両、2…駆動装置、5…直流電源、6…制御装置、7…故障通知装置、8…電力変換装置、9…モータ、80…制御回路、81…ドライバ回路、82…電力変換回路、83…直流電圧センサ、84…交流電流センサ、91…モータ角度センサ、801…状態制御部、802…目標電流計算部、803…電流制御部、804…PWM信号生成部、805…モータ速度計算部

、806…診断部、822…パワー半導体、Sf…故障通知信号、Sm…動作モード、 θ_m …モータ角度センサ値、 τ_s …目標トルク、 ω_0 …モータ角速度

請求の範囲

- [請求項1] スイッチング素子を備える三相インバータ回路の各相の出力電流を検出する電流検出部と、
- 各相の前記出力電流に基づいて、前記スイッチング素子のオープン故障を診断する故障診断部と、を備え、
- 前記故障診断部は、
- 前記出力電流の値が所定範囲内である場合に所定加算量を加算し、前記出力電流の値が前記所定範囲内でない場合に所定減算量を減算することで相毎の故障検知カウンタを演算すると共に、前記故障検知カウンタが第1カウンタ閾値を超えた場合に前記オープン故障と診断し、
- 前記出力電流の周波数が低いほど、前記所定加算量および前記所定減算量をより小さい値に、または、前記第1カウンタ閾値をより大きい値に設定する、
- 電力変換装置。
- [請求項2] 請求項1に記載の電力変換装置において、
- 前記故障診断部は、
- 前記出力電流の周波数が低いほど、前記所定加算量および前記所定減算量をより小さい値に設定し、
- 前記故障検知カウンタが所定のセット閾値を上回る場合に故障フラグをセットし、前記故障検知カウンタが所定のリセット閾値を下回る場合に前記故障フラグをリセットし、
- 前記故障フラグがセットされた状態ではデバウンスカウンタを加算し、前記故障フラグがリセットされた状態ではデバウンスカウンタを減算し、
- 前記故障検知カウンタが前記第1カウンタ閾値を超えた場合に前記オープン故障と判定するのに代えて、前記デバウンスカウンタが第2カウンタ閾値を超えた場合に前記オープン故障と診断する、

電力変換装置。

[請求項3]

請求項1に記載の電力変換装置において、

前記故障診断部は、

前記出力電流の周波数が低いほど、前記所定加算量および前記所定減算量をより小さい値に設定し、

前記出力電流の周波数が高いほど前記所定範囲の幅をより広く設定する、

電力変換装置。

[請求項4]

請求項1に記載の電力変換装置において、

前記出力電流が入力される回転電機の回転速度を検出する回転速度検出部をさらに備え、

前記故障診断部は、

前記回転速度が低いほど、前記所定加算量および前記所定減算量をより小さい値に設定し、

前記回転速度が高いほど前記所定範囲の幅をより広く設定する、
電力変換装置。

[請求項5]

請求項1に記載の電力変換装置において、

前記故障診断部は、

前記出力電流の周波数が低いほど、前記所定加算量および前記所定減算量をより小さい値に設定し、

前記電流検出部で検出された前記出力電流に基づいて、前記オープン故障が生じていない正常な場合の電流の正負を推定し、

前記故障診断部の推定結果が正の場合には、前記所定範囲の内の負値側の範囲を正值側の範囲よりも大きく設定し、

前記故障診断部の推定結果が負の場合には、前記所定範囲の内の正值側の範囲を負値側の範囲よりも大きく設定する、

電力変換装置。

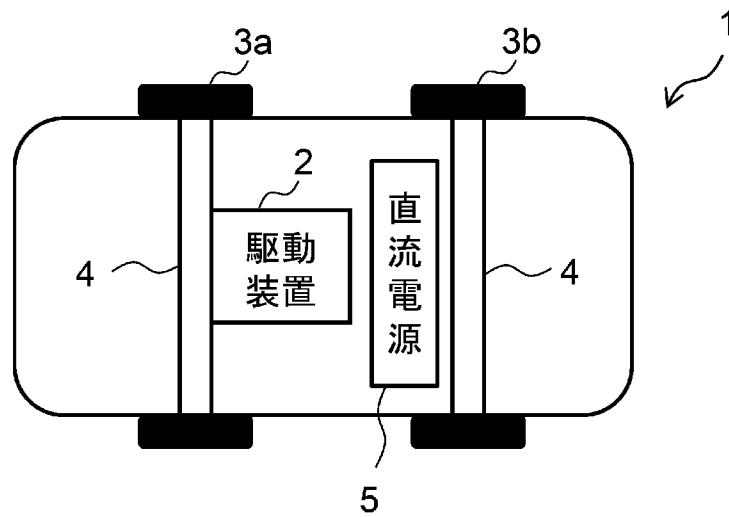
[請求項6]

請求項1に記載の電力変換装置と、

前記電力変換装置の前記三相インバータ回路の前記出力電流が入力される回転電機と、を備える、駆動装置。

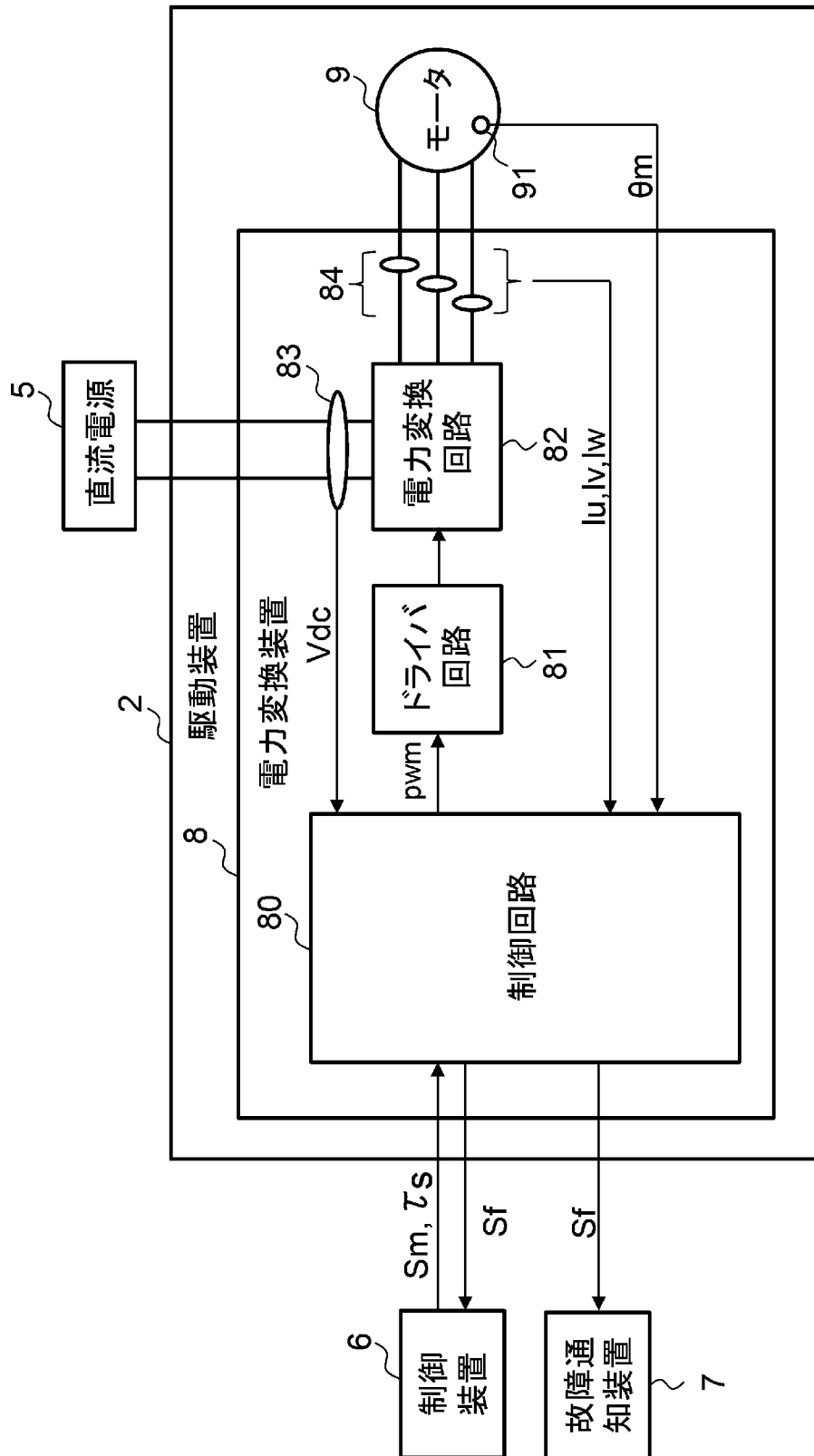
[図1]

図 1

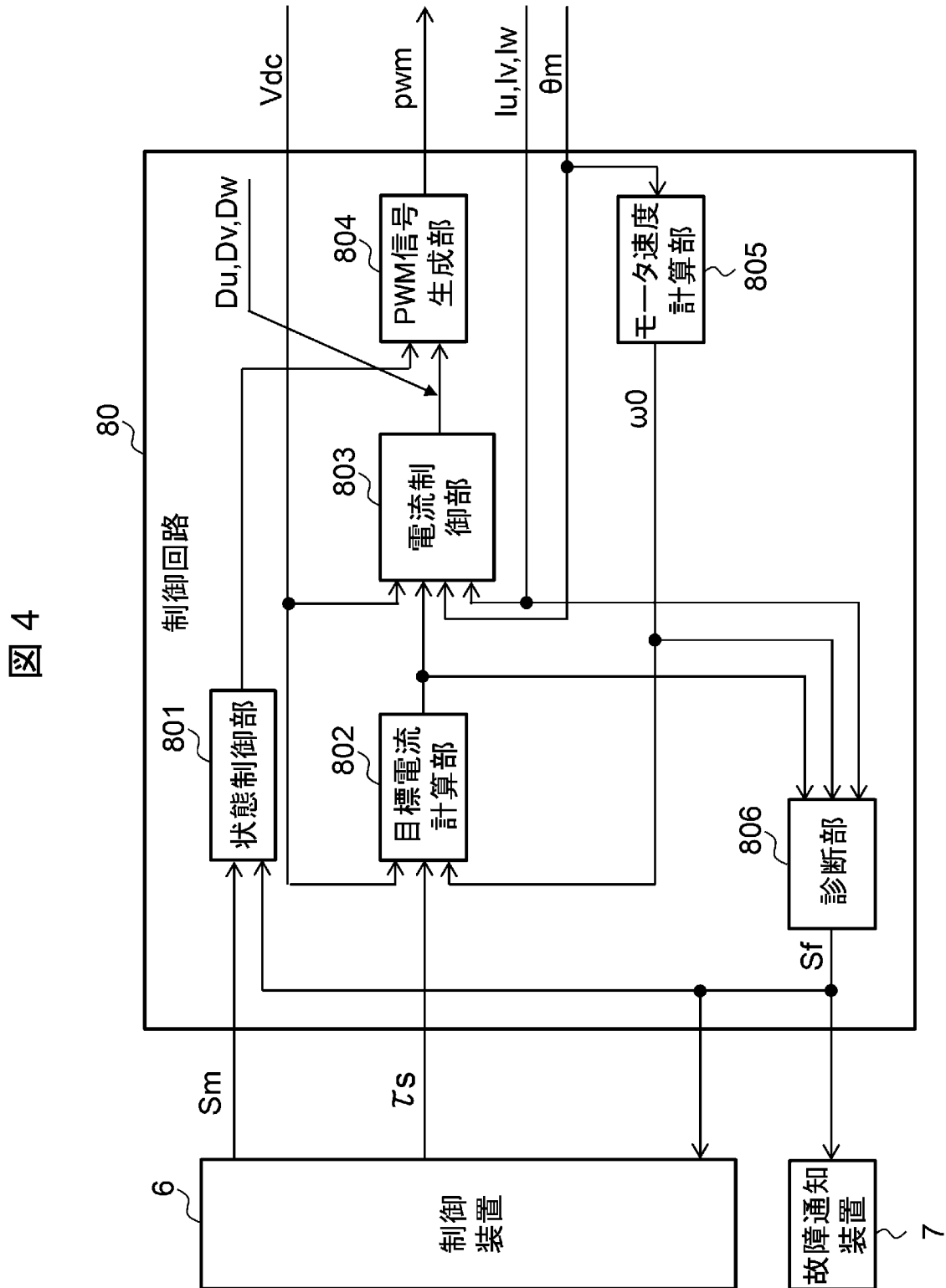


[図2]

図 2

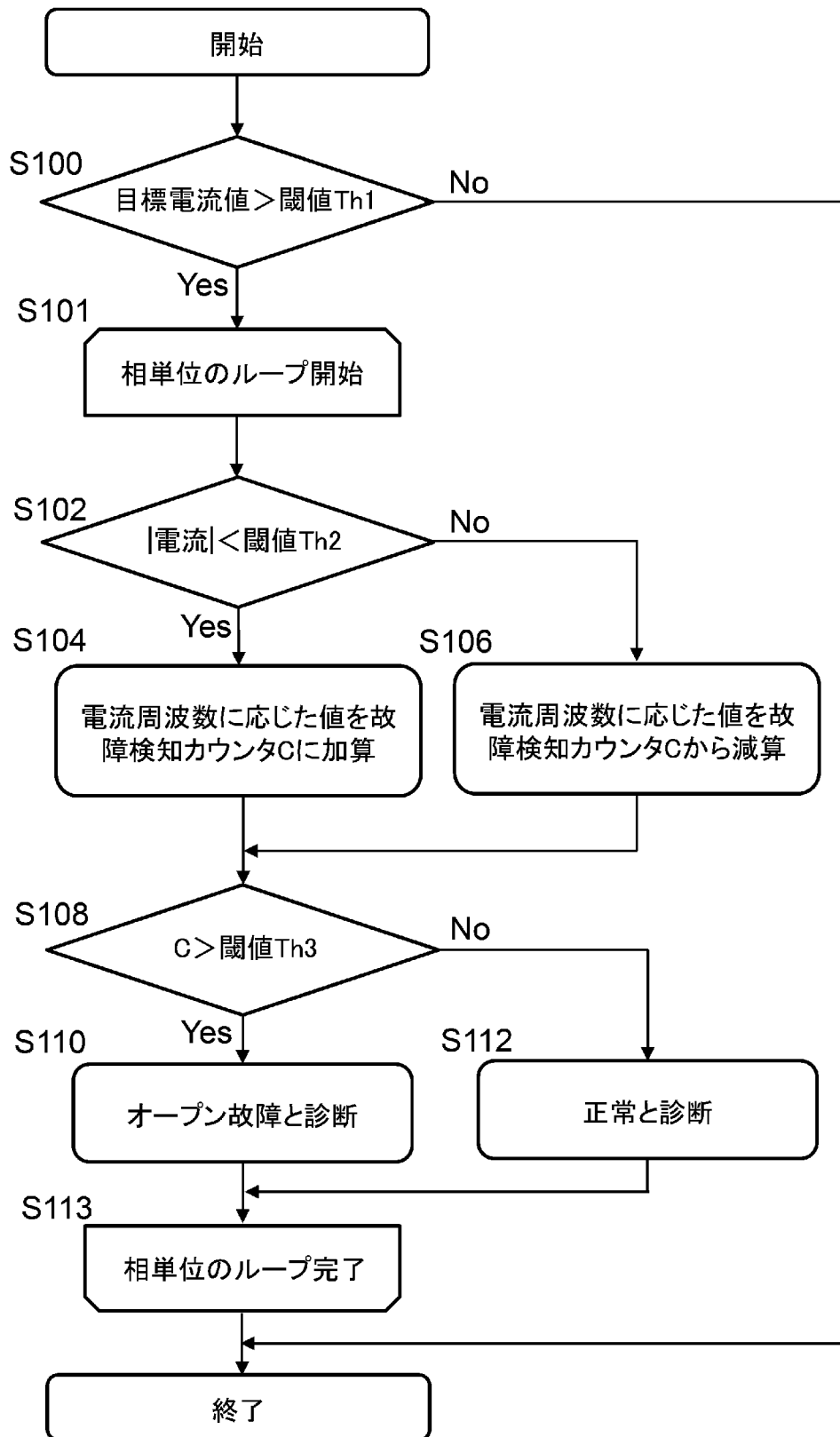


[図4]



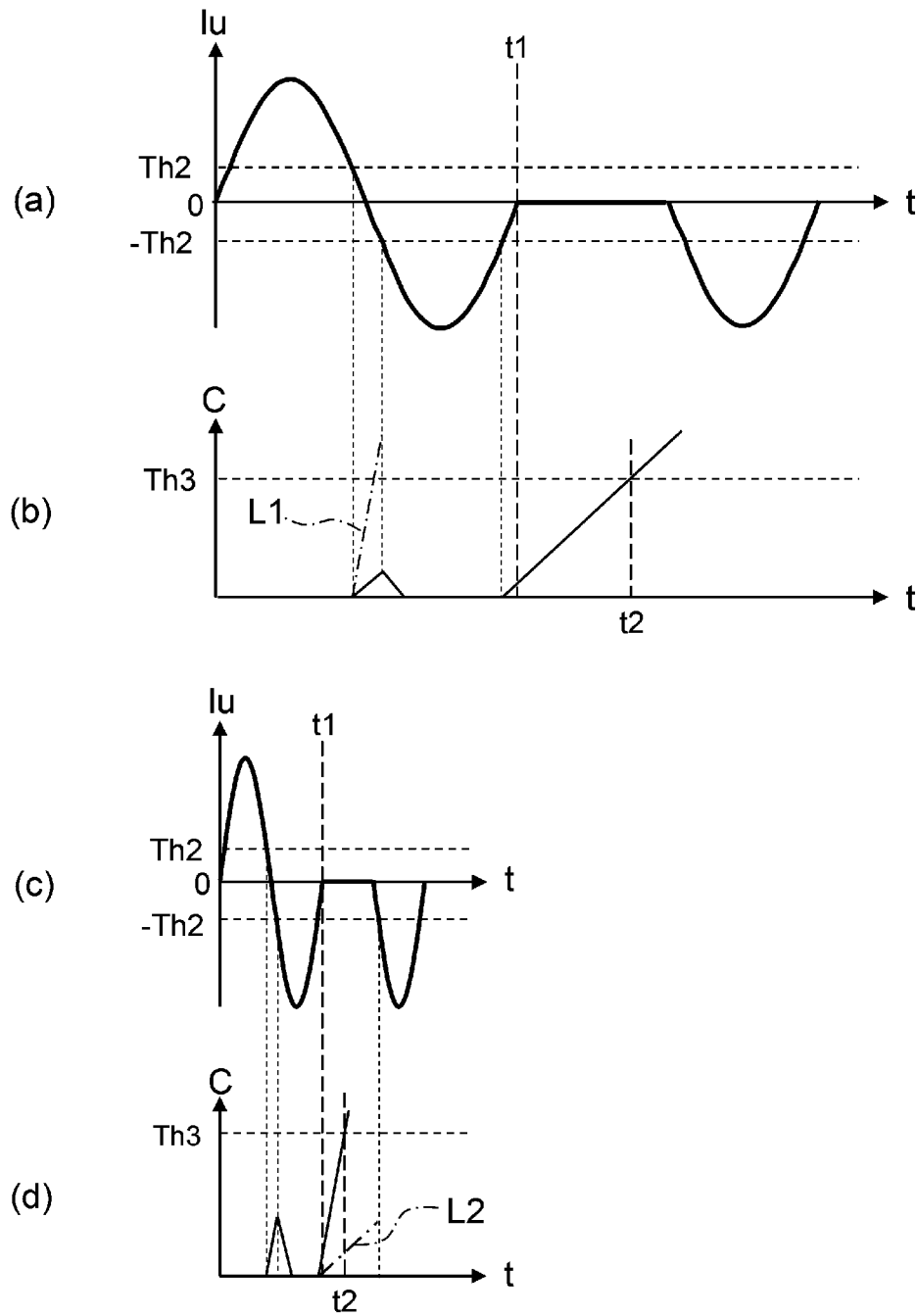
[図5]

図 5



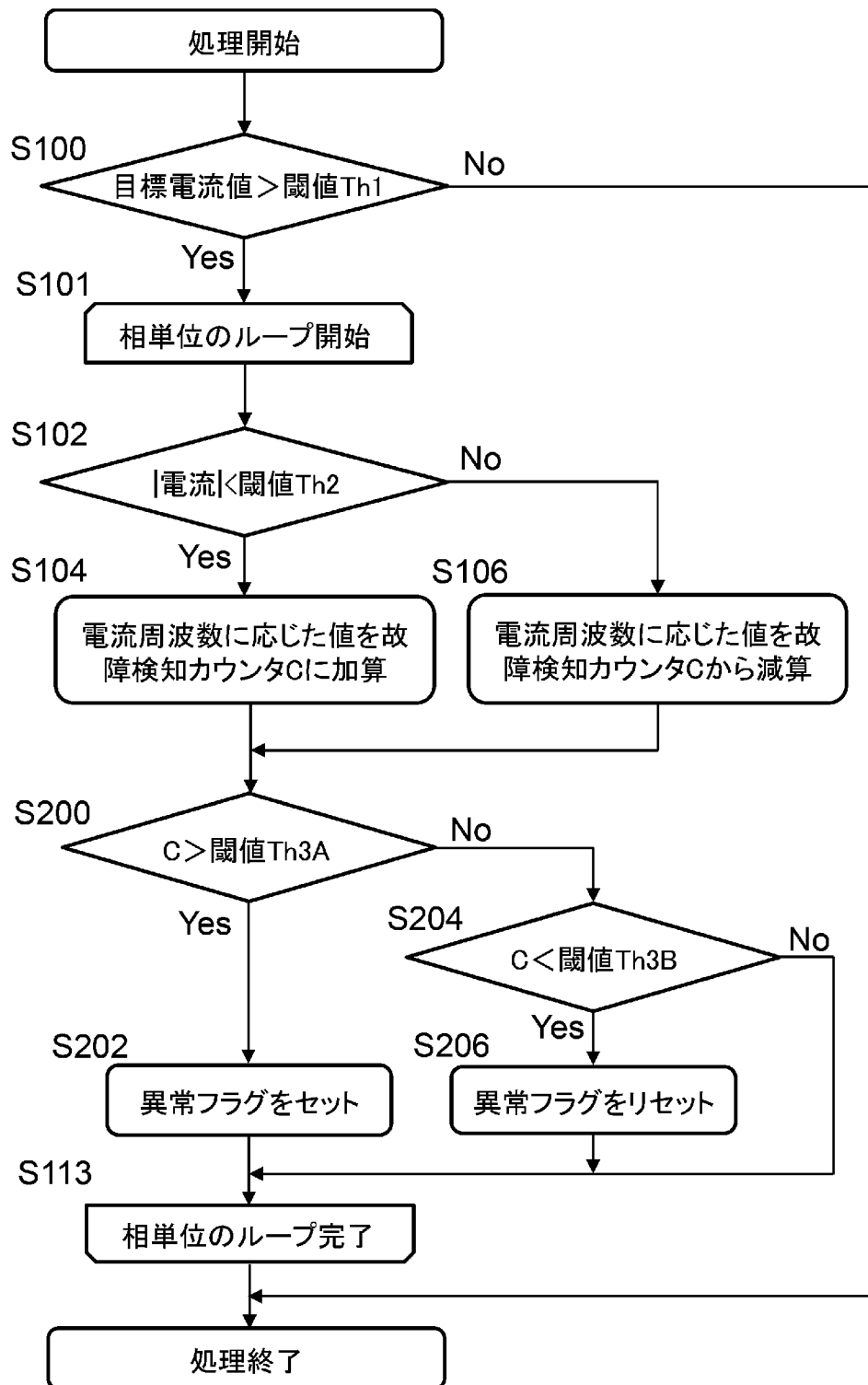
[図6]

図 6



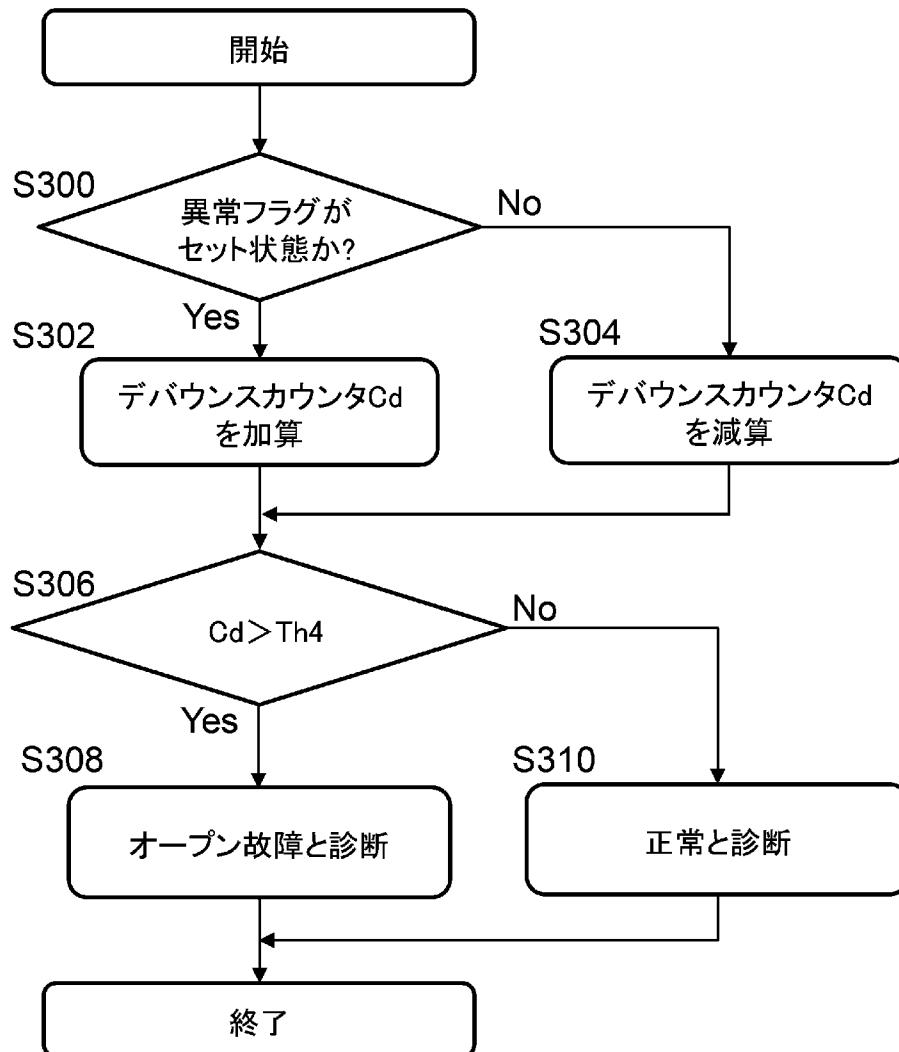
[図7]

図 7



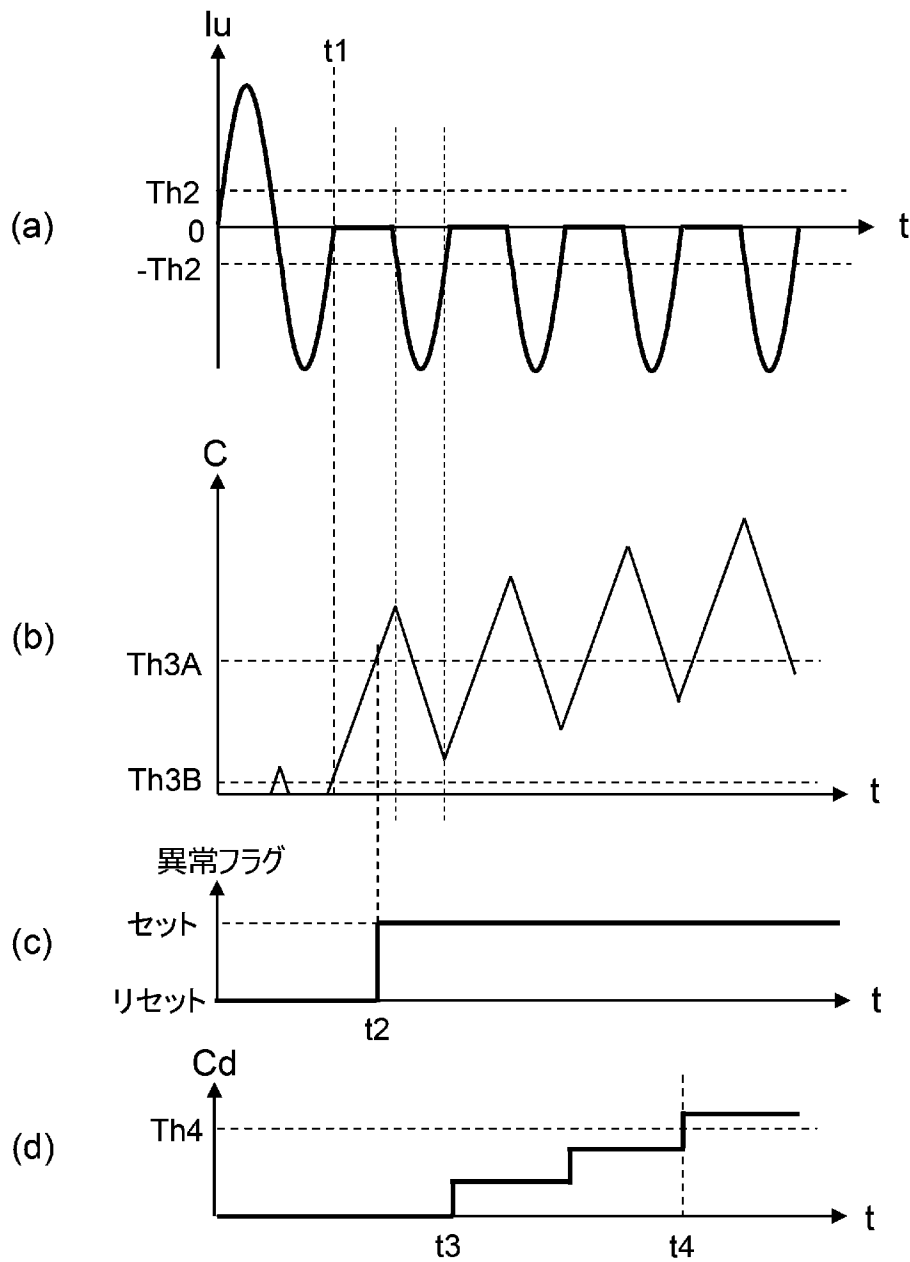
[図8]

図 8



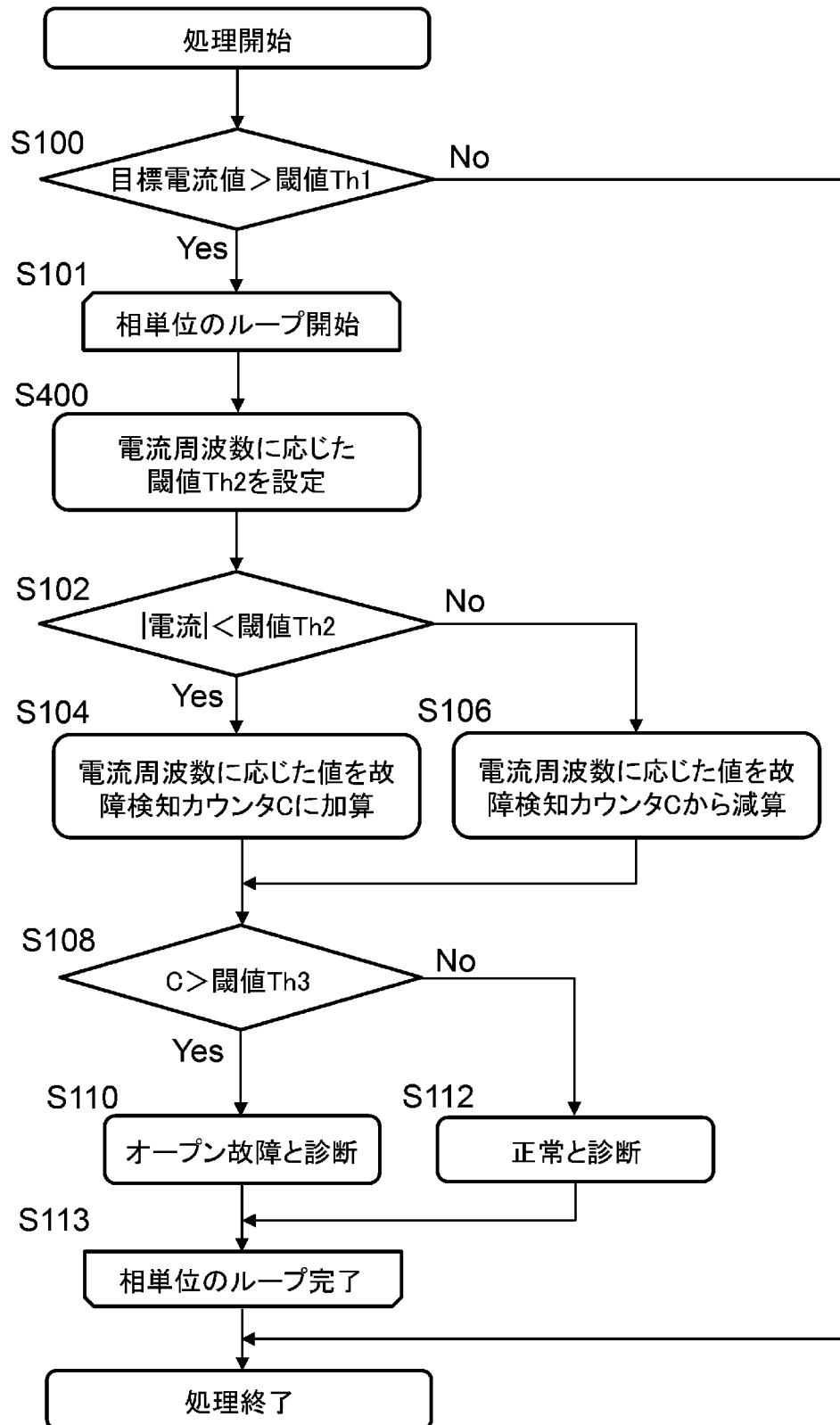
[図9]

図 9



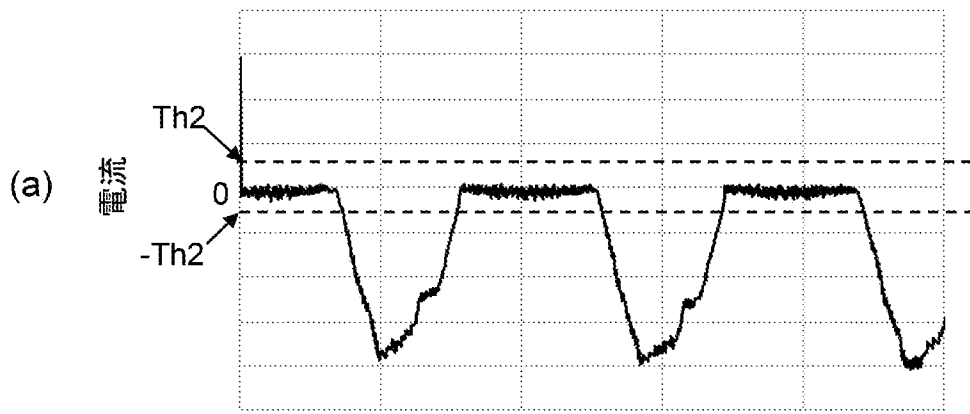
[図10]

図 10

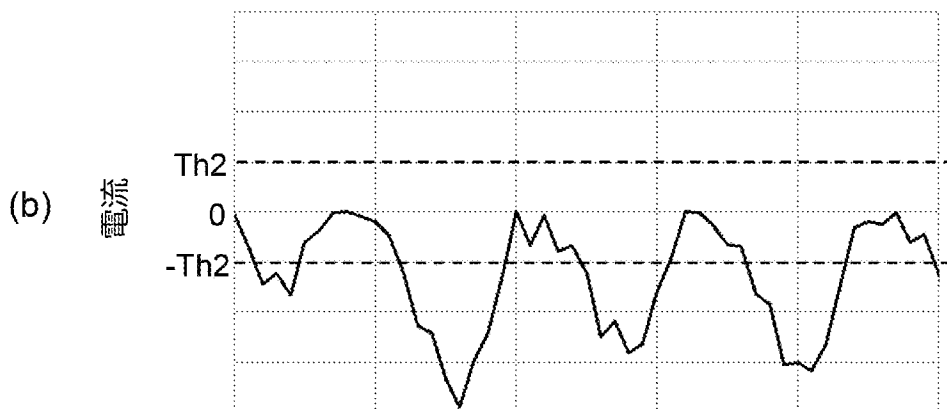


[図11]

図 11



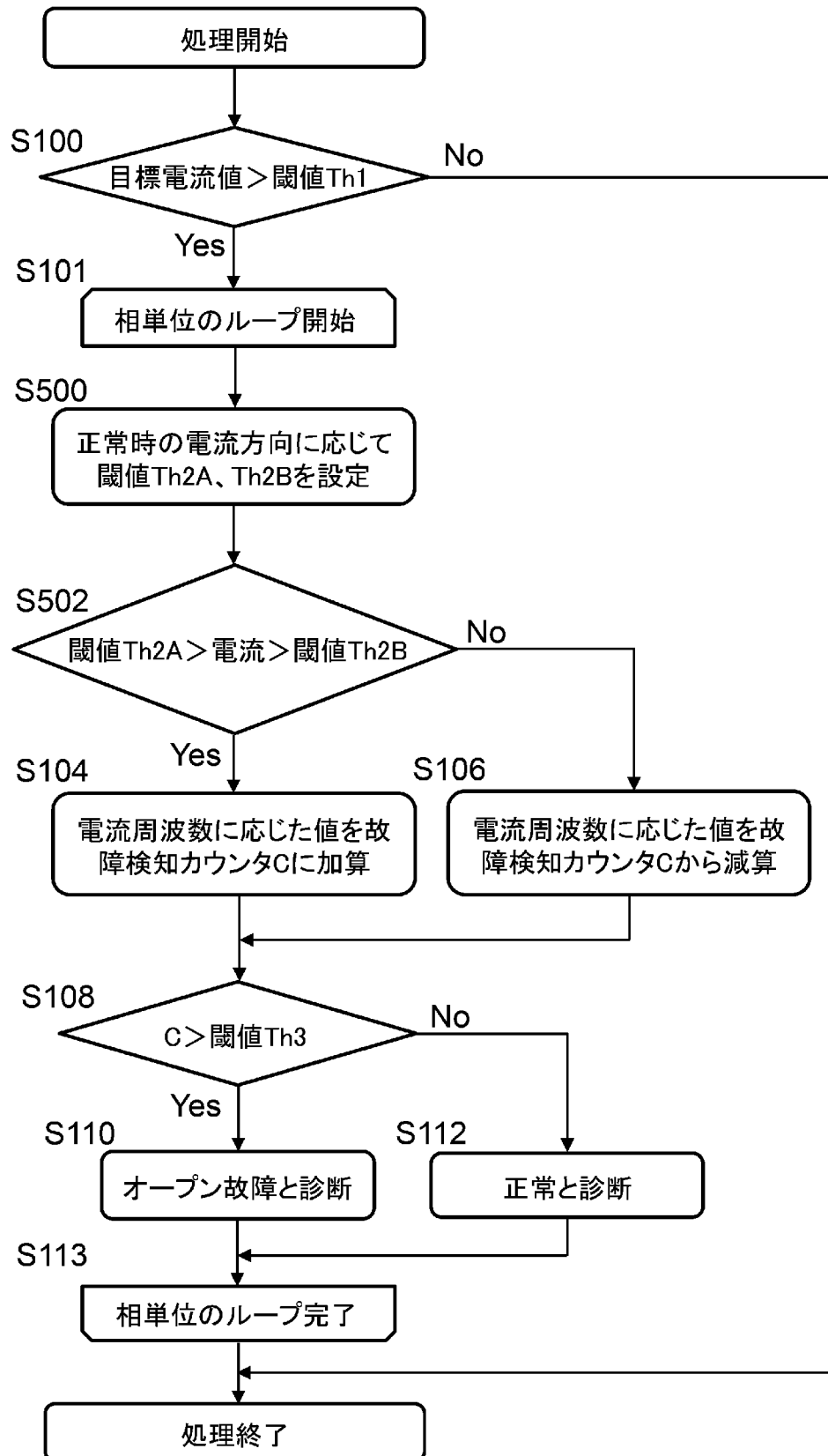
モータ速度が低い場合



モータ速度が高い場合

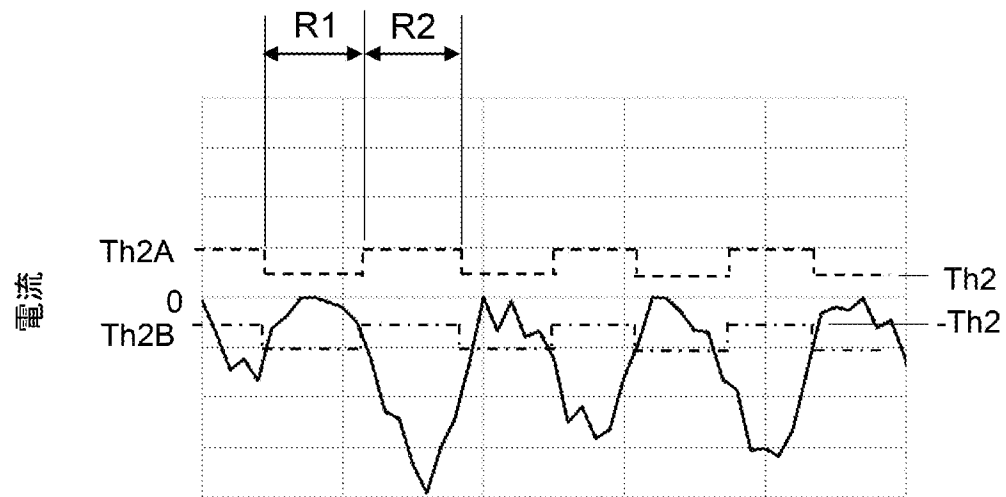
[図12]

図 12



[図13]

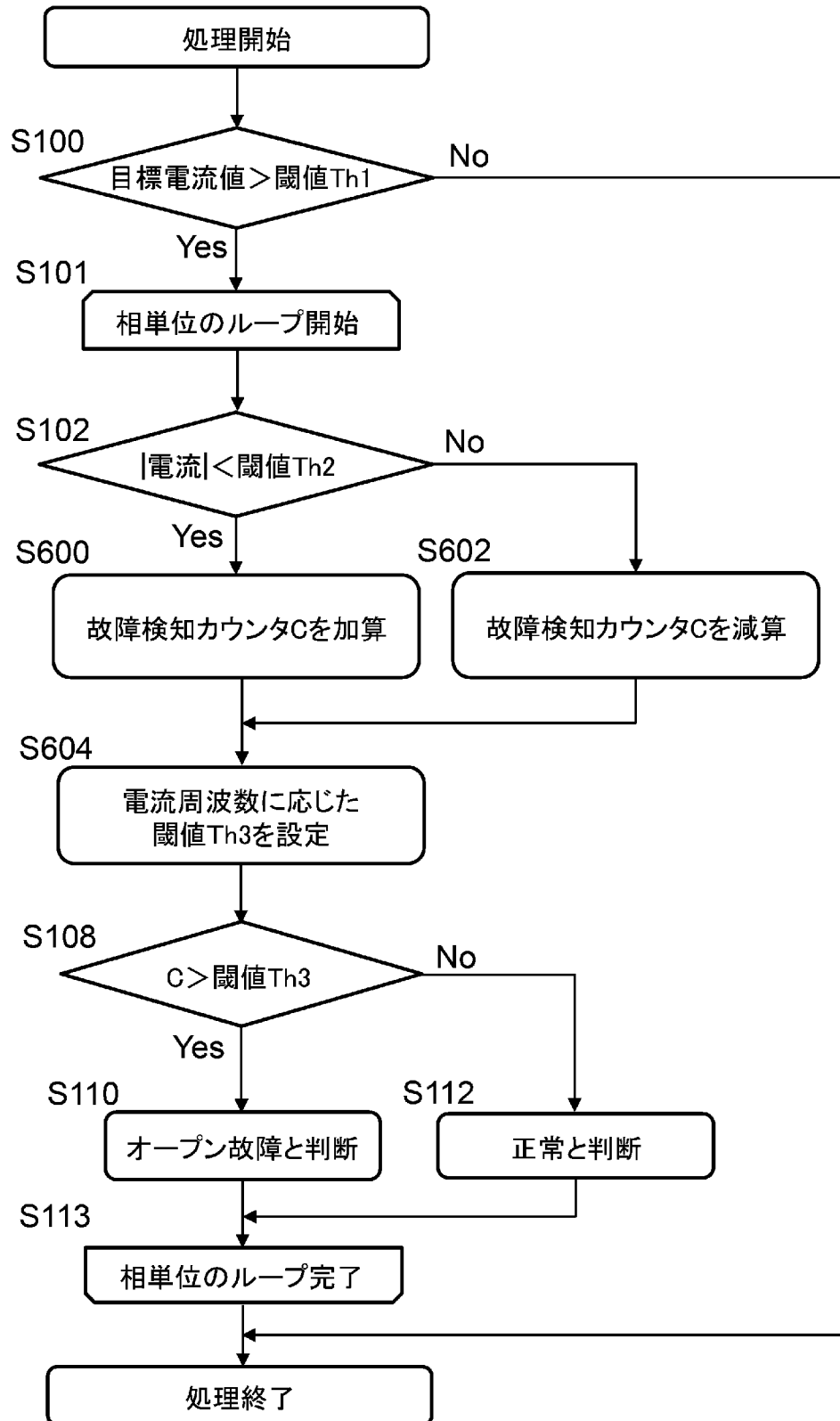
図 13



(モータ速度が高い場合)

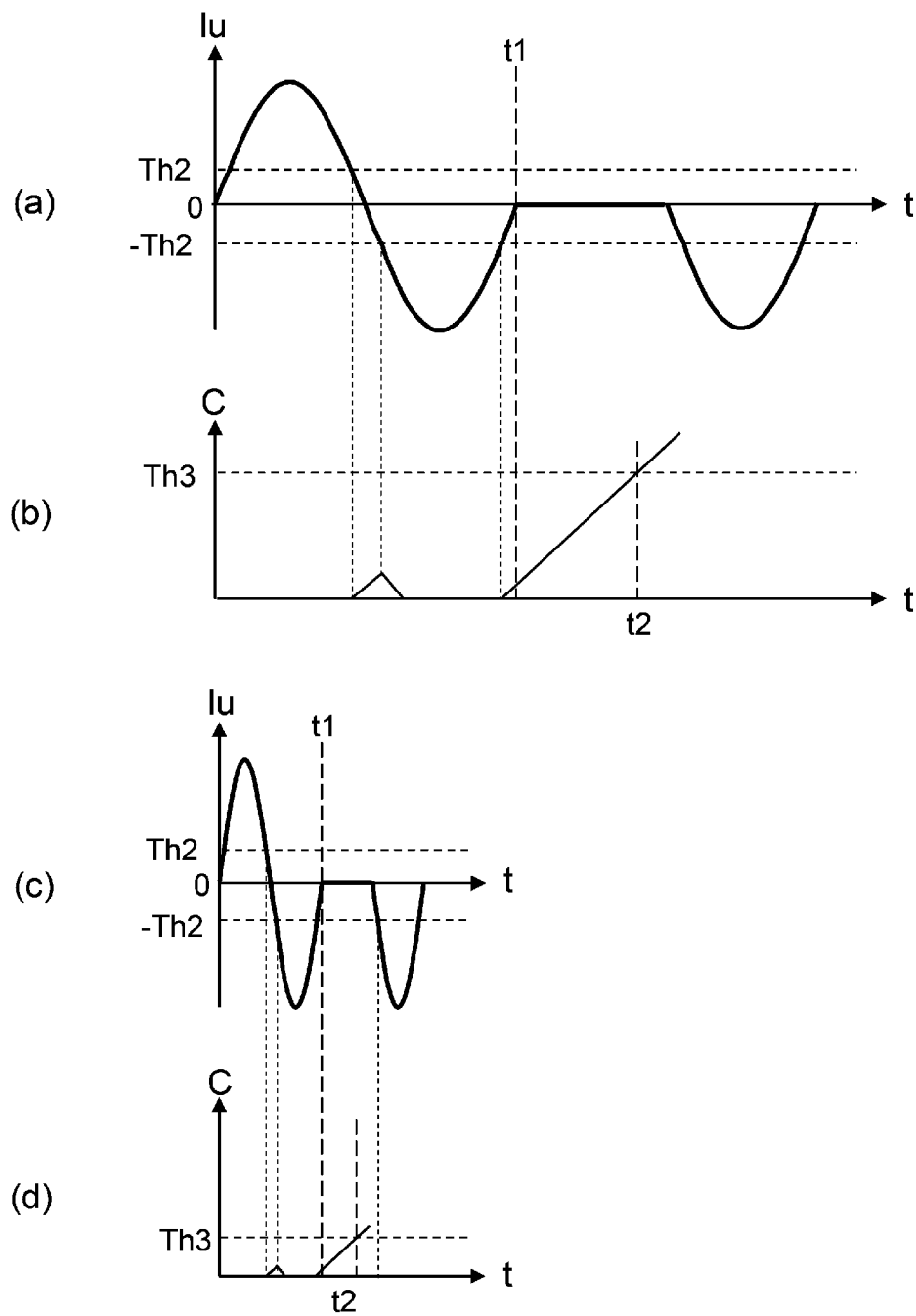
[図14]

図 14



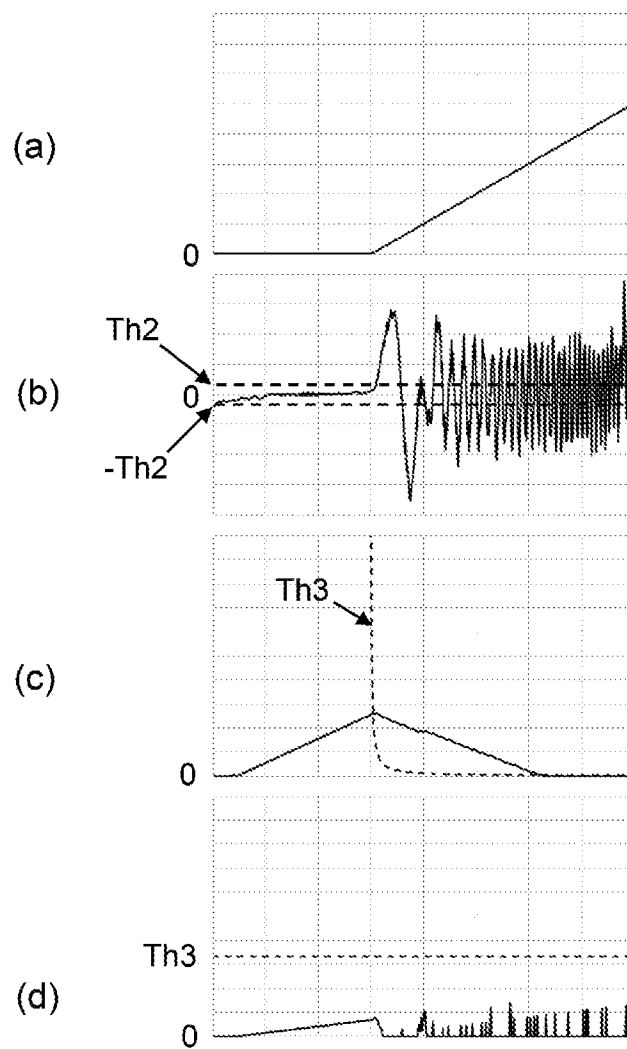
[図15]

図 15



[図16]

図 16



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2024/019108

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**H02M 7/48**(2007.01)i; **H02P 27/06**(2006.01)i

FI: H02M7/48 M; H02P27/06

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)

H02M7/48; H02P27/06

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2024
Registered utility model specifications of Japan 1996-2024
Published registered utility model applications of Japan 1994-2024

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 2011-19302 A (TOYOTA JIDOSHA KABUSHIKI KAISHA) 27 January 2011 (2011-01-27) paragraphs [0027]-[0029], [0068]-[0078], fig. 1, 5-7	1-6
A	CN 113489344 A (NORTHWESTERN POLYTECHNICAL UNIVERSITY) 08 October 2021 (2021-10-08) paragraphs [0035]-[0040], fig. 2	1-6
A	JP 2010-246182 A (TOYOTA JIDOSHA KABUSHIKI KAISHA) 28 October 2010 (2010-10-28) claims 1-2, paragraphs [0023]-[0043], fig. 1-5	1-6



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
“D” document cited by the applicant in the international application
“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

02 August 2024

Date of mailing of the international search report

13 August 2024

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)
3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2024/019108

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2011-19302	A	27 January 2011	(Family: none)	
CN	113489344	A	08 October 2021	(Family: none)	
JP	2010-246182	A	28 October 2010	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

H02M 7/48(2007.01)i; H02P 27/06(2006.01)i

FI: H02M7/48 M; H02P27/06

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））

H02M7/48; H02P27/06

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 - 2024年

日本国実用新案登録公報

1996 - 2024年

日本国登録実用新案公報

1994 - 2024年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2011-19302 A（トヨタ自動車株式会社）27.01.2011（2011 - 01 - 27） 段落 [0027] - [0029] , [0068] - [0078]、図1,5-7	1-6
A	CN 113489344 A（NORTHWESTERN POLYTECHNICAL UNIVERSITY）08.10.2021（2021 - 10 - 08） 段落 [0035] - [0040]、図2	1-6
A	JP 2010-246182 A（トヨタ自動車株式会社）28.10.2010（2010 - 10 - 28） 請求項1-2、段落 [0023] - [0043]、図1-5	1-6

☐ 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、一般的技术水準を示すもの

“D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献

“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献

“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

“&” 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

02.08.2024

国際調査報告の発送日

13.08.2024

名称及びあて先

日本国特許庁(ISA/JP)

〒100-8915

日本国

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

権限のある職員（特許庁審査官）

清水 康 3H 3732

電話番号 03-3581-1101 内線 3316

様式 PCT/ISA/210（第2ページ）（2022年7月）

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2024/019108

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2011-19302	A	27.01.2011	(ファミリーなし)	
CN	113489344	A	08.10.2021	(ファミリーなし)	
JP	2010-246182	A	28.10.2010	(ファミリーなし)	