

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局

(43) 国際公開日  
2022年6月9日(09.06.2022)



(10) 国際公開番号  
**WO 2022/118822 A1**

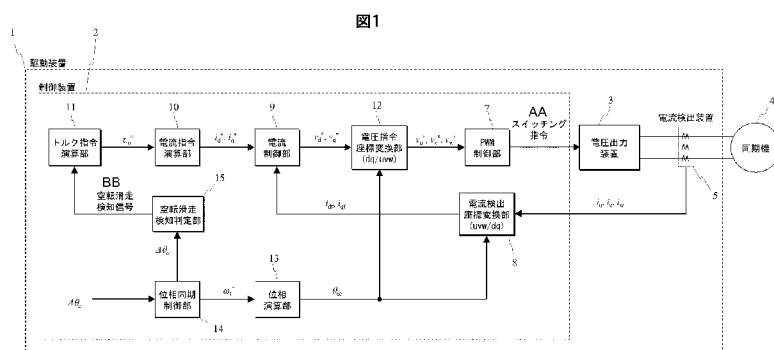
- (51) 国際特許分類:  
*H02P 29/024* (2016.01) *B60L 15/20* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2021/043765
- (22) 国際出願日: 2021年11月30日(30.11.2021)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2020-201959 2020年12月4日(04.12.2020) JP
- (71) 出願人: 株式会社日立製作所(HITACHI, LTD.)  
[JP/JP]; 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 國廣 直希 (KUNIHIRO, Naoki);  
〒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). 初瀬 渉 (HATSUSE, Wataru); 〒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). 金沢 友美(KANAZAWA, Tomomi);

〒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).

- (74) 代理人: 特許業務法人第一国際特許事務所 (PATENT CORPORATE BODY DAI-ICHI KOKUSAI TOKKYO JIMUSHO); 〒1010032 東京都千代田区岩本町三丁目5番12号 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, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, 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.

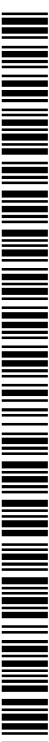
(54) Title: DRIVE DEVICE AND DRIVE METHOD FOR ROTARY ELECTRIC MACHINE, AND RAILWAY VEHICLE

(54) 発明の名称: 回転電機の駆動装置、駆動方法および鉄道車両



- 1 Drive device
- 2 Control device
- 3 Voltage output device
- 4 Synchronous machine
- 5 Current detection device
- 7 PWM control unit
- 8 Current detection coordinate conversion unit (uvw/dq)
- 9 Current control unit
- 10 Current command calculation unit
- 11 Torque command calculation unit
- 12 Voltage command coordinate conversion unit (dq/uvw)
- 13 the phase calculation unit
- 14 Phase synchronization control unit
- 15 Slip/slide detection determination unit
- AA Switching command
- BB Slip/slide detection signal

(57) Abstract: A railway vehicle on which a rotary electric machine is mounted, the railway vehicle comprising, in order to detect slip or slide in an early stage while stabilizing a control system even at the time of slip or slide: a voltage output device for outputting a drive voltage to the rotary electric machine; a current detector for detecting a current flowing through the rotary electric machine; and a control device for estimating and calculating the angular velocity of a rotor of the rotary electric machine. The control device calculates a compensation value for correcting a quantity of state to be used as input for estimating and calculating the angular velocity in order to suppress a steady-state deviation generated in the quantity of state to substantially zero while the rotary electric machine is being accelerated or decelerated, and when the compensation value exceeds a predetermined value, detects the slip or slide of a drive wheel driven by the rotary electric machine.



WO 2022/118822 A1

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類 :

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

---

(57) 要約 : 回転電機を搭載する鉄道車両にあって、空転または滑走時においても制御系を安定化しつつ、空転または滑走を早期に検知するために、回転電機へ駆動電圧を出力する電圧出力装置と、回転電機に流れる電流を検出する電流検出器と、回転電機の回転子の角速度を推定演算する制御装置とを備え、制御装置は、回転電機の加減速中に角速度を推定演算するための入力となる状態量に生じる定常偏差を略ゼロに抑制するために当該状態量を補正する補償値を演算し、補償値が所定値を超えた場合に回転電機により駆動される駆動輪の空転または滑走を検知する。

## 明 細 書

発明の名称：回転電機の駆動装置、駆動方法および鉄道車両

### 技術分野

[0001] 本発明は、回転電機の駆動装置、駆動方法および当該回転電機を搭載した鉄道車両に関する。

### 背景技術

[0002] 鉄道車両は、回転電機のトルクによって駆動輪である車輪を回転させ、車輪踏面がレールから受ける反力として、車輪に生じる接線力によって車両を加速させている。

この接線力は、車輪とレール間の粘着状態を表す接線力係数 $\mu$ によって変動し、車輪のトルクが接線力よりも過大となった場合、車両を加速させる力は小さいまま、車輪を回転させる力のみが大きくなり、その結果、車輪の空転または滑走（以下、「空転滑走」と略す）が生じる。特に、雨天時や降雪時には、粘着係数が大きく低下するため、空転滑走が発生し易くなる。

[0003] この空転滑走が拡大した場合、車両の加減速性能が低下する問題や、接線力が大きく変動することで車体振動が発生して乗り心地を低下させる問題も生じる。このため、車輪とレール間で生じる空転滑走を速やかに検知し、回転電機のトルクを絞り込むことで、車輪をレールに再粘着させる空転再粘着制御が広く用いられている。

[0004] この空転滑走時には、回転電機の回転子の角速度が急変することから、センサレス制御が不安定化し易い課題もあり、制御系を安定化しつつ、空転滑走を早期に検知する技術が求められている。この課題に対しては、様々な改良技術が提案されている。

[0005] 例えば、特許文献1には、速度センサを用いずとも、また各誘導電動機の相対速度が小さい場合であっても、誘導電動機の駆動軸の空転又は滑走の検知等を可能とするために、制御装置の周波数指令値の時間変化（微分値）から加速度推定値 $\alpha_i$ を算出し、所定閾値を超えたと判断した場合に、空転滑

走が生じたと判定する技術が開示されている。

[0006] 特許文献2には、 $\gamma$ 、 $\delta$ 軸電流や機械系の振動に起因した加速度推定の遅れ、ひいては空転滑走制御の遅れを低減可能とするために、永久磁石同期電動機の位置誤差推定値に比例する項と、位置誤差推定値に比例する項の微分値とを加算して加速度推定値を演算する技術が開示されている。

[0007] 特許文献3には、空転時等の速度急変に対して、定常時に制御ゲインが大き過ぎることによって制御が不安定になることを抑制すると共に、過渡時に脱調の耐量を向上するという2点を両立するために、回転位相角誤差に応じてセンサレス制御ゲインを可変とする技術が開示されている。

## 先行技術文献

### 特許文献

[0008] 特許文献1：特開2004-80936号公報

特許文献2：特許第5515885号公報

特許文献3：特許第5908205号公報

## 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

[0009] 本願発明者らは、空転滑走の検知手段の更なる高速化を目的に鋭意検討した結果、次の知見を得るに至った。

特許文献1に記載の技術は、速度センサレスで、複数台の誘導電動機を並列駆動する制御装置の周波数指令値の時間変化（微分値）から加速度推定値 $\alpha_i$ を算出している。しかし、特許文献1の段落[0027]に記載のように、ノイズを除去するために、算出した出力周波数について3Hz以下を通過域とする低域通過フィルタ（LPF）演算を行った後、一階微分を行うことで加速度推定値 $\alpha_i$ を算出している。この低域通過フィルタ演算によって、空転滑走の検知が遅れる課題がある。

[0010] 特許文献2に記載の技術は、永久磁石同期電動機の位置誤差推定値を微分して、加速度推定値を算出し、空転滑走の検知遅れを低減する方法を提案し

ている。この方法は、一般的によく用いられる周波数の微分値から加速度推定値を算出する方法と同様に、微分処理から加速度を算出する構成であり、微分値の振動を平滑化するための処理（ローパスフィルタ等）が必要となる。そのため、特許文献2の段落〔0028〕から〔0031〕に記載のように、振動低減対策部54、55として時定数 $T_a$ 、 $T_b$ のローパスフィルタを構成しているため、このローパスフィルタの影響により、空転滑走の検知の遅れは十分に改善できない課題がある。

[0011] 特許文献3に記載の技術は、速度の急変時にセンサレス制御を安定化させるために、推定される位相ずれの絶対値が大きくなるほど、センサレス制御ゲインを大きく変化させる方法を提案している。しかし、定常時に安定的なゲインで動作させることはできても、結局のところ、位相ずれが拡大した状態でセンサレス制御ゲインを大きくした時に不安定化する可能性があることには変わりはない。本来は、空転時のような高い加速度で速度が変化した時においても、安定して位置センサレス制御が追従できるような制御系にすることが望ましい。

[0012] 以上によれば、制御系を安定化しつつ、空転滑走を早期に検知することを考えると、特許文献1や特許文献2のように、周波数推定値や位置誤差推定値に微分処理を用いた場合、微分値が振動的になるため、微分値に含まれる振動成分を十分に減衰するローパスフィルタの処理を合わせて設ける必要が生じ、空転滑走の検知の遅れを改善することは難しい。さらに、特許文献3のように、過渡的にセンサレス制御ゲインを高める方法では制御が不安定化する可能性もある。

[0013] そこで、本発明は、上記の点を考慮してなされたものであり、空転滑走時にセンサレス制御が不安定化しないように、センサレス制御の速度推定値に加速度成分による偏差量を補償する項を設け、さらに、この補償量の大きさに基づいて微分処理を用いることなく空転滑走を検知することで、制御系を安定化しつつ、空転滑走検知の高速化を実現する技術を提供することを目的とする。

## 課題を解決するための手段

[0014] かかる課題を解決するために、代表的な本発明に係る回転電機の駆動装置の一つは、回転電機へ駆動電圧を出力する電圧出力装置と、回転電機に流れる電流を検出する電流検出器と、回転電機の回転子の角速度を推定演算する制御装置とを備え、制御装置は、回転電機の加減速中に角速度を推定演算するための入力となる状態量に生じる定常偏差を略ゼロに抑制するために当該状態量を補正する補償値を演算し、補償値が所定値を超えた場合に回転電機により駆動される駆動輪の空転または滑走を検知するものである。

## 発明の効果

[0015] 本発明によれば、例えば、鉄道車両が搭載する回転電機により駆動される駆動輪の空転滑走時の制御系を安定化しつつ、空転滑走の検知の高速化を実現することができる。

上記した以外の課題、構成および効果は、以下の実施をするための形態における説明により明らかにされる。

## 図面の簡単な説明

[0016] [図1]実施形態1に係る回転電機の駆動装置の機能ブロックの一例を示す図である。

[図2]鉄道車両用の台車の概略構成を示す図である。

[図3]鉄道車両用の車両と動輪軸の運動方程式の機能ブロックの一例を示す図である。

[図4]車輪とレール間のスリップ速度と接線力係数との関係を示す図である。

[図5]鉄道車両の力行・回生時における空転滑走を示す図である。

[図6]鉄道車両の加減速中に発生する位相偏差を示す図である。

[図7]回転子位相と制御の位相推定値との間に位相偏差が生じた場合の電流ベクトルを示す図である。

[図8]実施形態1に係る位相同期制御部の機能ブロックの一例を示す図である。

[図9]一定速時位相偏差収束部の機能ブロックの一例を示す図である。

[図10]加減速時位相偏差収束部の機能ブロックの一例を示す図である。

[図11]加減速時位相偏差収束部による補償を加えた効果の一例を示す図である。

[図12]空転発生時に加減速時位相偏差収束部の出力によって空転を検知する方法を示す図である。

[図13]空転滑走検知判定部の機能ブロックの一例を示す図である。

[図14]空転滑走を検知するための従来の構成と本発明の構成との比較を示す図である。

[図15]実施形態1の変形例である位相同期制御部の機能ブロックの一例を示す図である。

[図16]実施形態1の変形例である一定速時位相偏差収束部の機能ブロックの一例を示す図である。

[図17]実施形態1の変形例である加減速時位相偏差収束部の機能ブロックの一例を示す図である。

[図18]誘導機の駆動装置に実施形態1を適用した場合の周波数推定制御部の機能ブロックの一例を示す図である。

[図19]周波数推定制御部内の一定速時 $q$ 軸電流偏差収束部の機能ブロックの一例を示す図である。

[図20]周波数推定制御部内の加減速時 $q$ 軸電流偏差収束部の機能ブロックの一例を示す図である。

[図21]実施形態2に係る回転電機の駆動装置の機能ブロックの一例を示す図である。

[図22]実施形態2に係る空転滑走検知判定部の機能ブロックの一例を示す図である。

[図23]実施形態3に係る回転電機の駆動装置の機能ブロックの一例を示す図である。

[図24]実施形態3に係る空転滑走検知判定部の機能ブロックの一例を示す図である。

[図25]実施形態3に係る加減速時位相偏差収束部の機能ブロックの一例を示す図である。

[図26]加減速時位相偏差収束部に設けた上下限リミッタの有無による効果の比較を示す図である。

### 発明を実施するための形態

[0017] 以下、本発明を実施するための形態として、実施形態1～3について、それぞれ図面に従い詳細に説明する。

各実施形態において参照番号が同一のものは、同一の構成要件または類似の機能を備えた構成要件として示している。また、後出の実施形態において、既出の実施形態と同一または類似の構成要件の説明を省略する場合がある。

#### [実施形態1]

[0018] 図1は、本発明の実施形態1に係る回転電機の駆動装置の機能ブロックの一例を示す図である。

図1では、実施形態1に必要最小限の機能ブロックのみを示し、IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) 等の駆動用トランジスタやダイオード等のパワーデバイスから構成される電力変換器およびこの電力変換器に対する制御構成については、電圧出力装置3としたブロック図で示し、詳細な図示を省略している。

[0019] また、回転電機としては、図1では、同期機4を用いた構成であるが、後述する図18から図20に示すように、同期機以外の誘導機などであっても構わない。

[0020] 図1に示すように、駆動装置1では、電圧出力装置3が、制御装置2からのスイッチング指令に基づき、駆動回路および主回路（図示しないが、電圧出力装置3に含まれる）を介して、3相交流電圧を同期機4に印加する。

[0021] 同期機4には、電圧出力装置3からの3相交流電圧の印加により駆動電流が流れ、回転トルクを発生する。

[0022] 電流検出器5は、ホールCT (Current Transformer

)等から構成され、同期機4に流れるU相、V相およびW相の3相電流 $i_u$ 、 $i_v$ および $i_w$ の波形をそれぞれ検出する。ただし、電流検出器5によって必ずしも3相全ての電流を検出する必要はなく、3相の内のいずれか2相を検出し、残る1相は3相電流が平衡状態であると仮定して演算により求める構成としてもよい。

[0023] 制御装置2には、負荷として接続する同期機4を駆動制御するための制御プログラムが実装されている。以下に、制御装置2が備える各構成要素の機能態様について説明する。

[0024] トルク指令演算部11は、上位装置からの運転指令に応じて、トルク指令値 $\tau_m^*$ を出力する。

[0025] 電流指令演算部10は、トルク指令値 $\tau_m^*$ に対して、所定のトルクを得るためのd-q軸の電流指令値 $i_d^*$ 、 $i_q^*$ を出力する。

[0026] 電流検出座標変換部8は、電流検出器5で検出した同期機4の3相電流 $i_u$ 、 $i_v$ および $i_w$ を、制御装置2が認識するd軸推定位相 $\theta_{dc}$ を用いて回転座標系のd-q座標に変換し、d-q軸電流検出値( $i_{df}$ および $i_{qf}$ )として電流制御部9に出力する。

[0027] 電流制御部9では、電流検出座標変換部8が出力したd-q軸電流検出値と電流指令演算部10が出力したd-q軸電流指令値との電流偏差がゼロになるように、PI(Proportional-Integral)制御等によりd-q電圧指令値 $v_d^*$ 、 $v_q^*$ を生成して出力する。

[0028] 電圧指令座標変換部12は、電流制御部9が出力したd-q軸電圧指令値とd軸推定位相 $\theta_{dc}$ とを用いて、3相交流電圧指令値 $v_u^*$ 、 $v_v^*$ および $v_w^*$ を出力する。

[0029] PWM制御部7は、電圧指令座標変換部12が出力した3相交流電圧指令値 $v_u^*$ 、 $v_v^*$ および $v_w^*$ に基づき、電圧出力装置3にPWM電圧(Pulse Width Modulation)のスイッチング指令を出力する。

[0030] 位相同期制御部14は、位相偏差情報 $\Delta\theta_c$ に基づき、この位相偏差情報 $\Delta\theta_c$ をゼロにするように角速度推定値 $\omega_1^*$ を出力する。それと共に、詳細は後

述するが、加減速分位相偏差補償量 $\Delta\theta_\alpha$ を出力する。

[0031] なお、位相偏差情報 $\Delta\theta_c$ は、位相推定値 $\theta_{dc}$ と同期機4の回転子位相 $\theta_d$ の差を示すものである。ここで、位相偏差情報 $\Delta\theta_c$ は、センサレス制御による位相偏差の推定値 $\Delta\theta_{est}$ や、図示は省略しているが、レゾルバ等による位相検出値 $\theta_r$ の情報を用いて、位相推定値 $\theta_{dc}$ との差分を演算して位相偏差情報 $\Delta\theta_c$ とする構成のどちらでもよい。

[0032] また、位相偏差推定値 $\Delta\theta_{est}$ を求める方法としては、例えば、低速度域では高周波電圧を重畳した時の高周波電流検出値に基づいて推定する方法や、高速度域では回転電機の誘起電圧を用いて推定する方法を用いる。

[0033] 空転滑走検知判定部15は、位相同期制御部14から出力された加減速分位相偏差補償量 $\Delta\theta_\alpha$ に基づき、空転滑走の検知判定を行い、空転滑走検知信号をトルク指令演算部11に出力する。トルク指令演算部11は、空転滑走検知信号を受信した時、速やかにトルク指令値 $\tau_m^*$ を絞り込むことで、駆動輪である車輪とレール間で発生した空転滑走を収束させて、車輪をレールに再粘着させる。

[0034] 位相演算部13は、位相同期制御部14から出力された角速度推定値 $\omega_1^*$ を積分処理して、位相推定値 $\theta_{dc}$ を出力する。

[0035] 以下に、鉄道車両における空転滑走と再粘着制御について説明する。

図2は、鉄道車両用の台車の概略構成を示す図である。

台車31には、同期機4が備え付けられており、同期機4の回転子シャフト30が、継手34を介して小歯車32に動力を伝達する。小歯車32と大歯車33とから構成される減速ギアによって車軸35を回転させ、車軸35に接続された車輪27を回転させる。車輪27は、車輪踏面がレール36から受ける反力として車輪27に生じる接線力によって、台車31に力を伝達して車両を加速させる。

[0036] 図3は、車両と1動輪軸の運動方程式の機能ブロックを示す図である。

モータトルクによって、駆動輪である車輪とレール間の接線力係数 $\mu$ による粘着を考慮し、車体とモータの運動方程式をブロック図で示している。車

輪を回転させる力は、車輪トルクと接線力トルクの差によって決まり、車両を加速させる力は、接線力と走行抵抗の差によって決まり、これらは接線力係数 $\mu$ に応じて変化することになる。

[0037] 図4は、車輪とレール間のスリップ速度と接線力係数 $\mu$ との関係を示す図である。

接線力係数 $\mu$ は、車輪周速度と車体速度との差となるスリップ速度に応じて変化する。また、雨天時は、晴天時に対して接線力係数 $\mu$ が低下し、空転滑走が発生し易くなる。また、接線力係数 $\mu$ は、雨天だけではなく、レール面における油分や落ち葉や塵埃によっても変化することや、車両速度によっても変化することが知られている。

[0038] 図5は、鉄道車両の力行・回生時における空転滑走を示す図である。

図4に示すように、雨天等の影響で接線力係数 $\mu$ が低下した場合、図3の車両を加速させる力は小さいまま、車輪を回転させる力のみが大きくなり、スリップ速度が増加する。その上で、図4に示す接線力係数 $\mu$ の変曲点を越えた場合に、空転が生じる。接線力係数 $\mu$ が、スリップ速度に対して負の傾きを持つため、一度空転が発生すると、空転は拡大する方向に増加し続けることとなる。以上は、力行時についてであるが、回生時には、図5に示すように、同様に滑走が生じる。

[0039] この空転滑走が拡大した場合、車両の加減速性能を低下させる問題や、接線力が大きく変動することで、図3に示す車両を加速させる力が大きく変動し、車体振動が発生して乗り心地を低下させる問題も生じる。このため、車輪とレール間で生じる空転滑走を速やかに検知し回転電機のトルクを絞り込むことで、車輪をレールに再粘着させる必要がある。

[0040] 以下に、鉄道車両の加減速中に発生する位相偏差について説明する。

図6は、車両の加減速中に発生する位相偏差を示す図である。

まず、加減速時に発生する位相偏差 $\Delta\theta$ について説明する。位相偏差 $\Delta\theta$ を、同期機4の回転子位相 $\theta_r$ と制御の位相推定値 $\theta_d$ との偏差として、次式(数1)で定義する。ただし、 $s$ はラプラス演算子で、 $\omega_r$ は同期機4の回転

子角速度とする。

[数1]

$$\begin{aligned}\Delta\theta &= \theta_{dc} - \theta_d \\ &= (\hat{\omega}_1 - \omega_r) \cdot \frac{1}{s}\end{aligned}$$

[0041]

次に、位相同期制

御部 1 4 を、一般的な P I 制御で構成する場合を例に挙げて説明する。位相同期制御部 1 4 における比例ゲイン、積分ゲインをそれぞれ  $K_p$ 、 $K_i$  とすると、位相偏差情報  $\Delta\theta_c$  を基に、角速度推定値  $\hat{\omega}_1$  は次式（数 2）で算出できる。

[数2]

$$\hat{\omega}_1 = \left( K_p + \frac{K_i}{s} \right) \cdot (-\Delta\theta_c)$$

[0042]

同期機 4 の回転子角速度  $\omega_r$  は、モータトルク  $\tau_m$  と慣性モーメント  $J$  から次式（数 3）で算出できる。ここで、 $P_m$  は同期機 4 の極対数とする。また、慣性モーメント  $J$  は、説明の簡略化のために、図 3 に示すモータ軸から見て、車両質量や接線力係数  $\mu$  による粘着までを合成した等価的な慣性モーメントとして扱う。車輪とレール間が粘着している状態では慣性モーメント  $J$  は大きく、車輪とレール間で空転滑走が発生した場合には、モータ軸から見て慣性モーメント  $J$  が小さくなったように見えるものとして扱う。

[数3]

$$\omega_r = \frac{\tau_m \cdot P_m}{J \cdot s}$$

[0043]

（数 1）から（数 3）により、位相偏差  $\Delta\theta$  は次式（数 4）で表せる。

[数4]

$$\Delta\theta = \left\{ \left( K_p + \frac{K_i}{s} \right) \cdot (-\Delta\theta_c) - \frac{\tau_m \cdot P_m}{J \cdot s} \right\} \cdot \frac{1}{s}$$

[0044]

制御装置 2 で認識する位相偏差情報  $\Delta\theta_c$  が、位相偏差  $\Delta\theta$  と一致すると仮定すると、次式（数 5）となる。

[数5]

$$\Delta\theta = -\frac{\tau_m \cdot P_m}{J \cdot (s^2 + K_p \cdot s + K_I)}$$

[0045] モータがトルク  $\tau_m$  を出力して加減速運転している場合には、位相偏差  $\Delta\theta$  は定常的に以下（数6）のようになる。

[数6]

$$\lim_{s \rightarrow 0}(\Delta\theta) = -\frac{\tau_m \cdot P_m}{J \cdot K_I}$$

[0046] すなわち、位相同期制御部14を一般的なPI制御で構成した場合、（数1）から（数6）を用いて説明したように、トルク  $\tau_m$ 、慣性モーメント  $J$  および積分ゲイン  $K_I$  に応じて、加減速運転時には定常的に、図6に示すような推定位相偏差  $\Delta\theta$  ( $= -(\tau_m \cdot P_m) / (J \cdot K_I)$ ) が残ることになる。

[0047] （数6）から明らかなように、積分ゲイン  $K_I$  が十分に大きく、加減速が緩やかな場合は、位相偏差  $\Delta\theta$  も小さい。しかし、空転滑走のような条件においては、等価的な慣性モーメント  $J$  が小さくなり、トルクを絞り込んで小さくしない限り、位相偏差  $\Delta\theta$  が大きく発生する。

[0048] 図7は、回転子位相 ( $\theta_d$ ) と制御の位相推定値 ( $\theta_{dc}$ ) との間に位相偏差  $\Delta\theta$  が生じた場合の電流ベクトルを示す図である。

同期機4の回転子の基準位相をd軸として、制御装置2が推定する回転子の基準位相をdc軸とし、位相偏差  $\Delta\theta$  が発生した場合には、電流指令値  $i_d^*$ 、 $i_q^*$  となるように電流制御するが、実際に流れる電流は、 $i_d$ 、 $i_q$  となり、トルク指令値  $\tau_m^*$  に対して、モータが実際に出力するトルク  $\tau_m$  は、大きな誤差を持つ。

[0049] このように、制御の不安定化のみではなく、トルク精度の低下にもつながるため、空転滑走時のような高加速度で速度変化する状態に限らず、粘着状態における通常の加減速時においても、加速度に応じた位相偏差  $\Delta\theta$  を発生させないことが望ましい。

[0050] 以下に、本発明の要点となる、空転発生による速度急変時にも制御系を安

定化しつつ、空転滑走検知の高速化を目的として、センサレス制御に加速度成分による偏差量を補償する項を設け、この加速度成分を補償する項の出力値を用いて、微分処理を用いることなく空転滑走を検知する構成について説明する。

[0051] 図8は、実施形態1に係る位相同期制御部14の機能ブロックの一例を示す図である。

位相同期制御部14は、一定速時に位相偏差をゼロに収束できる一定速時位相偏差収束部20と、加減速中に位相偏差を収束できる加減速時位相偏差収束部21とから構成される。

[0052] 加減速時位相偏差収束部21は、位相偏差情報 $\Delta\theta_c$ と位相偏差目標値との差となる位相偏差量（補償前） $\Delta\theta_{c0}$ を入力とし、加減速分位相偏差補償量 $\Delta\theta_\alpha$ を出力する。

[0053] 一定速時位相偏差収束部20は、位相偏差量（補償前） $\Delta\theta_{c0}$ と加減速分位相偏差補償量 $\Delta\theta_\alpha$ との加算値である位相偏差量（補償後） $\Delta\theta_{c'}$ を入力とし、角速度推定値 $\omega_1'$ を出力する。

[0054] 図9は、上記の一定速時位相偏差収束部20の機能ブロックの一例を示す図である。比例ゲイン $K_P$ と積分ゲイン $K_I$ を用いたPI制御となっている。

[0055] 図10は、上記の加減速時位相偏差収束部21の機能ブロックの一例を示す図である。積分ゲイン $K_{II}$ により積分する構成となっている。

[0056] （数6）に示す加減速中の位相の定常偏差を発生させないようにするためには、実施形態1のように、位相同期制御部14で位相偏差 $\Delta\theta_c$ から角速度推定値 $\omega_1'$ を演算する伝達関数の次数を、次式（数7）に示すように二次以上で構成すればよい。

[数7]

$$\omega_1' = \left( K_P + \frac{K_I}{s} \right) \left( 1 + \frac{K_{II}}{s} \right) (-\Delta\theta_c)$$

[0057] （数5）と同様に、実施形態1での位相偏差 $\Delta\theta'$ について式を整理すると、次式（数8）となる。

[数8]

$$\Delta\theta' = -\frac{\tau_m \cdot P_m}{J \cdot \left\{ s^2 + K_p \cdot s + K_I + \frac{K_{II}}{s} (K_p \cdot s + K_I) \right\}}$$

[0058] 車両が加減速運転している場合に、定常的に発生する位相偏差 $\Delta\theta'$ は、次式(数9)のようにゼロに収束できる。

[数9]

$$\lim_{s \rightarrow 0} (\Delta\theta') = 0$$

[0059] このとき、加減速時位相偏差収束部21では、 $K_{II}/s$ が(数6)の位相偏差 $\Delta\theta$ の定常偏差をゼロにするように補償量を出力するように動作するため、出力(加減速分位相偏差補償量) $\Delta\theta_\alpha$ は、次式(数10)の関係となる。

[数10]

$$\Delta\theta_\alpha = \frac{K_{II}}{s} = \frac{\tau_m \cdot P_m}{J \cdot K_I}$$

[0060] 図11は、加減速時位相偏差収束部21による補償を加えた効果の一例を示す図である。

加減速時位相偏差収束部21の出力である加減速分位相偏差補償量 $\Delta\theta_\alpha$ によって、図11に示すように、加減速中の位相の定常偏差をゼロに収束できる。空転滑走が発生して、加減速度が高くなった場合でも、位相偏差の拡大を防止し、制御不安定化やトルク精度の低下を防ぐことができる。

[0061] この加減速時位相偏差収束部21の出力である加減速分位相偏差補償量 $\Delta\theta_\alpha$ は、トルク $\tau_m$ 、積分ゲイン $K_I$ が既知とした場合に、モータ軸から見て、車両質量や接線力係数 $\mu$ を含めた等価的な慣性モーメント $J$ に応じて変化することとなる。

[0062] 発明者らは、この加減速時位相偏差収束部21の出力である加減速分位相偏差補償量 $\Delta\theta_\alpha$ に着目することで、微分処理を用いることなく、位相の偏差情報から加速度相当の情報を得ることができることを見出し、この情報によって空転滑走を検知する方法を考案した。

[0063] 図12は、空転発生時に加減速時位相偏差収束部の出力によって空転を検知する方法を示す図である。

通常の粘着状態での位相偏差 $\Delta\theta$ に対し、空転時には、慣性モーメント $J$ が急激に小さくなったように見えるため、(数10)で表される加減速時位相偏差収束部21の出力値の $\Delta\theta_\alpha$ も増加する。

[0064] 図13は、空転滑走検知判定部15の機能ブロックの一例を示す図である。

位相同期制御部14が出力する加減速分位相偏差補償量 $\Delta\theta_\alpha$ が、通常の粘着状態で想定される位相偏差の加速度成分の判定値(空転判定閾値または滑走判定閾値)を超過した場合に、空転滑走が発生したと見なし、空転滑走検知信号をトルク指令演算部11に出力する。

[0065] ここで、空転判定閾値または滑走判定閾値は、粘着状態における加減速時の補償量よりも大きく、かつ、位相偏差情報に含まれる振動成分に応じて、誤検知しない程度に設定する。

[0066] 図14は、空転滑走を検知するための従来構成と本発明の構成との比較を示す図である。

以下に、従来と本発明との構成・効果の違いを、図14を基に記載する。

[0067] <従来構成>

先の特許文献1に記載の従来方式では、従来位相同期制御部16のPI制御等によって積分処理を実施して周波数推定値を算出した後に、この周波数推定値を微分処理にて微分することによって加速度推定値( $df_r/dt$ )を算出する構成が、一般的によく用いられる。

[0068] このような方式は、PI制御で積分処理( $1/s$ )を実施した後に、微分処理( $s$ )を実施していることから、演算処理自体を考えても改善の余地があることは明らかであり、微分処理を用いることなく加速度成分を抽出できることがわかる。

[0069] また、従来位相同期制御部16がカットオフ周波数を持つことから、空転滑走の検知が遅れる問題も避けられない。さらに、加速度を算出するため

に微分処理を用いた場合には、ノイズ対策として、先の特許文献1や特許文献2のようなローパスフィルタ処理を設ける必要が生じ、空転滑走の検知が遅くなることは明らかである。

[0070] <本発明の構成・効果>

一方で、本発明では、周波数推定値を演算する前の位相偏差推定値 $\Delta\theta_{est}$ の加速度成分を抽出して空転滑走を検知する構成である。そのため、従来の構成よりも早期に空転滑走を検知できる。

[0071] そして、空転滑走が生じて高い加速度で速度変化した場合においても、加速度による位相偏差 $\Delta\theta$ を、加減速時位相偏差収束部21の出力 $\Delta\theta_\alpha$ によって補償するため、空転滑走の検知の高速化に併せて、空転滑走発生時のセンサレス制御を安定化する効果も得られる。

[0072] また、空転滑走が生じていない粘着状態においても、(数6)に示す位相偏差 $\Delta\theta$ を抑制するため、図7を用いて説明したような位相偏差によるトルク誤差も発生させることなく、センサレス制御の安定化やトルク精度を改善する効果も得られる。

[0073] 一方で、先の特許文献3のように、センサレス制御ゲインを大きくすれば、(数6)からもわかるように、この位相偏差 $\Delta\theta$ を小さくすることができる。しかし、制御装置の演算周期や、電圧出力の遅延や電流検出の遅延の関係で、ゲインを大きくするには限界があり、単にゲインを大きくする方法では、制御が不安定化する可能性がある。

[0074] さらに、図14に示す従来の構成や、先の特許文献1や特許文献2に記載されるような、空転滑走検知のためだけに用いる微分処理(加速度演算)を不要にすることができ、制御装置2に搭載されるマイコンの演算負荷を低減する効果も得られる。

以上が、従来技術と本発明の構成・効果の違いである。

[0075] 次に、実施形態1の変形例について説明する。

図15は、実施形態1の変形例である位相同期制御部14aの機能ブロックの一例を示す図、図16は、位相同期制御部14a内の一定速時位相偏差

収束部 20 a の機能ブロックの一例を示す図、図 17 は、位相同期制御部 14 a 内の加減速時位相偏差収束部 21 a の機能ブロックの一例を示す図、である。

- [0076] 位相同期制御部 14 a は、図 8 に示す位相同期制御部 14 と異なり、一定速時位相偏差収束部 20 a および加減速時位相偏差収束部 21 a に、位相偏差量（補償前） $\Delta\theta_0$  が並列に入力される。この時、加減速時位相偏差収束部 21 a は、図 10 とは異なり、図 17 に示すように、 $1/s$  の二乗項を設けることで、位相偏差  $\Delta\theta_0$  から角速度推定値  $\omega_1^*$  を演算する伝達関数の分母の次数を二次にする。これにより、加減速時の位相偏差  $\Delta\theta$  を抑制する効果が得られる。
- [0077] 伝達関数の分母の次数を二次以上とすれば同様の効果が得られるため、二次以上の項を含めるのであれば次数は何次でもよく、位相同期制御部 14 は、先の図 8 から図 10、または図 15 から図 17 に示す構成に、必ずしも限定されるものではない。
- [0078] また、レゾルバ等による位相検出値  $\theta_r$  の情報を用いて、位相推定値  $\theta_d$  との差分を演算して位相偏差情報  $\Delta\theta_0$  として位相同期制御部 14 を構成した場合でも、車両の加減速中には、同様に定常偏差が残るため、レゾルバ付制御や速度センサ付制御の構成であっても適用することができる。
- [0079] 以上で説明した実施形態 1 では、回転電機として同期機 4 を例に説明したが、同期機に限定されるものではなく、誘導機のような他の回転電機にも適用できる。
- [0080] 図 18 は、誘導機の駆動装置に実施形態 1 を適用した場合の周波数推定制御部 40 の機能ブロックの一例を示す図、図 19 は、周波数推定制御部 40 内の一定速時 q 軸電流偏差収束部 41 の機能ブロックの一例を示す図、図 20 は、周波数推定制御部 40 内の加減速時 q 軸電流偏差収束部 42 の機能ブロックの一例を示す図、である。
- [0081] 例えば、q 軸電流指令値と q 軸電流検出値との偏差量から回転子の角速度を推定する構成とした場合においても、加減速時 q 軸電流偏差収束部 42 と

して、加速度による q 軸電流偏差量を補償する構成とする。すなわち、加減速時 q 軸電流偏差収束部 4 2 の出力である加減速分 q 軸電流偏差補償量  $\Delta i_{q,\alpha}$  に基づいて空転滑走を検知する構成にすれば、速度推定制御を安定化しつつ、空転滑走を早期に検知する効果が得られる。

[0082] 図 1 8 から図 2 0 に示す構成においても、(数 6) と同様に、加速度分の補償を加えない場合に次式 (数 1 1) の偏差量が残り、補償量は、(数 1 0) と同様に、次式 (数 1 2) となる。

[数11]

$$\lim_{s \rightarrow 0} (i_q^* - i_{qf}) = -\frac{\tau_m \cdot P_m}{J \cdot K_I}$$

[数12]

$$\Delta i_{q,\alpha} = \frac{K_{II}}{s} = \frac{\tau_m \cdot P_m}{J \cdot K_I}$$

[0083] つまり、回転電機の種類によらず、回転電機に加減速中に、角速度推定値の演算の入力に用いる状態量（同期機の場合は回転子の推定位相、誘導機の場合は該誘導機に流れる電流）に生じる偏差量を略ゼロに抑制するために当該状態量を補正する補償値を出力し、当該補償値が所定値を超えた場合に空転滑走を検知する構成にすれば、本発明による効果を得ることができる。

[0084] 上記のとおり、実施形態 1 に係る回転電機の駆動装置は、同期機 4 へ電圧を出力する電圧出力装置 3 と、トルク指令値  $\tau_m^*$  に基づいて電圧出力装置 3 の出力電圧を制御する制御装置 2 とを有し、制御装置 2 は、回転子の位相偏差情報から角速度推定値  $\omega_r$  を出力する位相同期制御部 1 4 を備える。位相同期制御部 1 4 は、加減速時の推定位相の定常偏差を抑制する加減速時位相偏差収束部 2 1 を有し、この加減速時位相偏差収束部 2 1 の出力に基づいて同期機 4 により駆動される車輪の空転滑走状態を検知する空転滑走検知判定部 1 5 を備える。これにより、空転滑走時においても制御系を安定化しつつ、空転滑走検知の高速化を実現することが可能となる。また、誘導機の場合においても、位相偏差を q 軸電流偏差に置き換えることにより、同様の効果

を奏する。

[実施形態2]

[0085] 本発明に係る実施形態2は、先の実施形態1と比べて、空転滑走検知判定部15で空転滑走を検知する判定閾値を、車両の動作状態や周囲環境に応じて可変にする点で異なる。

[0086] これにより、回転電機の動作や周囲環境（トルク、乗車率、天候、編成状態および走行抵抗）が変わった場合においても、適切な空転滑走判定閾値を設定でき、実施形態1よりも、空転滑走の誤検知を防止しつつ、空転滑走の検知を更に高速化できる。

[0087] 図21は、実施形態2に係る回転電機の駆動装置の機能ブロックの一例を示す図である。

実施形態2では、空転滑走検知判定部15に、トルク指令値 $\tau_m^*$ 、乗車率情報、天候情報、編成内位置情報および角速度推定値 $\omega_r^*$ を入力し、空転滑走判定閾値を可変にする。

[0088] 図22は、実施形態2に係る空転滑走検知判定部15の機能ブロックの一例を示す図である。

[0089] (1) トルク（トルク指令値 $\tau_m^*$ ）に関して

（数10）からわかるように、例えば、トルク $\tau_m$ が小さくなれば、加減速度も低くなり、通常の粘着状態における補償量 $\Delta\theta_a$ も小さくなる。つまり、トルク指令値 $\tau_m^*$ が大きくなった場合には判定閾値を高くし、トルク指令値 $\tau_m^*$ が小さくなった場合には判定閾値を低くするように調整することで、トルクの状態に対しても適切な判定閾値をセットすることができ、空転滑走の誤検知を防ぎつつ、更なる高速な検知を実現できる。

[0090] (2) 乗車率情報に関して

接線力（ $=\mu \cdot W \cdot g$ ）は、図3からわかるように、1軸あたりに掛かる重量 $W$ に比例する。重量 $W$ は、乗客の乗車率に応じて変化するため、例えば、乗車率が低くなった場合には空転滑走し易くなるので判定閾値を低くし、乗車率が高くなった場合には空転滑走し難くなるので判定閾値を高くする。

このようにすることで、乗車率に応じた適切な判定閾値を設定でき、空転滑走の誤検知を防ぎつつ、更なる高速な検知を実現できる。

[0091] 図22では、(数10)の演算式に則り、トルク指令値 $\tau_m^*$ を積分ゲイン $K_i$ と慣性モーメント $J$ とで除算した値を、空転滑走判定閾値としている。ここで、乗車率情報は、等価慣性モーメント演算部50により、等価な慣性モーメント $J$ に演算される。

[0092] (3) 天候情報に関して

図4からわかるように、雨天時は、晴天時に対して接線力係数 $\mu$ が小さくなり、接線力( $=\mu \cdot W \cdot g$ )が小さくなる。そのため、例えば、ワイパー動作や天気情報などで外部機器から雨天や降雪の情報を検知した場合には、空転滑走し易くなるので判定閾値を低くする。このようにすることで、雨天や降雪のような天候の変化で路面(レール面)の状況が滑りやすくなった場合においても、更なる高速な検知を実現できる。

[0093] 図22では、天候情報を入力とする天候情報補正ゲイン演算部51が、天候情報補正ゲインを演算して、空転滑走判定閾値の補正ゲインの一つとして出力する。

[0094] (4) 編成内位置情報に関して

図4で、天候すなわち路面(レール面)の状態に応じて接線力係数 $\mu$ が変化する原理と同様に、回転電機が接続される車軸35が、進行方向に対して先頭側に位置する場合には、レール面の雨滴や塵埃等が捌けられておらず、空転滑走が生じやすい傾向にある。一方、回転電機が接続される車軸35が、進行方向に対して後方側に位置する場合には、雨天時などにおいても、空転滑走が比較的生じにくい傾向にある。

[0095] そこで、編成自体の進行方向と、回転電機が接続される車軸35が搭載されている号車とを判別することができれば、適切な空転滑走の判定閾値に調整することができる。例えば、進行方向に対して先头号車側に位置する場合には、空転滑走し易くなるので判定閾値を低くし、進行方向に対して後方号車側に位置する場合には、空転滑走し難くなるので判定閾値を高くする。こ

のようにすることで、編成内で車軸を有する車両位置に応じた適切な判定閾値を設定でき、空転滑走の誤検知を防ぎつつ、更なる高速な検知を実現できる。

[0096] 図22では、編成内位置情報を入力とする編成内位置情報補正ゲイン演算部52が、編成内位置情報補正ゲインを演算して、空転滑走判定閾値の補正ゲインの一つとして出力する。

[0097] (5) 角速度推定値 $\omega_1^*$ に関して

接線力係数 $\mu$ は、車両速度に対して依存性を持ち（図3に示す接線力係数テーブル、参照）、車両速度が高くなるに従い、接線力係数 $\mu$ は小さくなる。また、走行抵抗も速度が高くなるに従って増加し、車輪の空転滑走が発生しやすくなる。そのため、例えば、角速度推定値 $\omega_1^*$ が高くなった場合には、空転滑走し易くなるので判定閾値を低くし、角速度推定値 $\omega_1^*$ が低くなった場合には、空転滑走し難くなるので判定閾値を高くする。また、角速度推定値 $\omega_1^*$ に替えて、回転電機の周波数または車両速度を直接用いるようにしてもよい。このようにすることで、車両速度に応じた適切な判定閾値を設定でき、空転滑走の誤検知を防ぎつつ、更なる高速な検知を実現できる。

[0098] 図22では、角速度推定値 $\omega_1^*$ を入力とする速度補正ゲイン演算部53が、走行抵抗補正ゲインを演算して、空転滑走判定閾値の補正ゲインの一つとして出力する。

[0099] また、これらの判定閾値の調整手段は、演算式や各パラメータに対するテーブルなど、各パラメータに応じて空転滑走判定閾値を変化させる構成とすれば、どのような方法であってもよい。

[0100] 更に、図22では、空転と滑走とでは、符号を反転させた値を判定閾値としているが、空転と滑走とで個別に補正ゲイン演算を設ける構成としてもよい。

[0101] 上記のとおり、実施形態2は、空転滑走検知判定部15に、トルク指令値 $\tau_m^*$ 、乗車率情報、天候情報、編成内位置情報および角速度推定値 $\omega_1^*$ を取り込み、これらの情報に応じて、空転滑走を検知する判定閾値を可変にする

ものである。これにより、空転滑走の誤検知を防止しつつ、空転滑走検知の更なる高速化を実現できる。

[実施形態3]

[0102] 本発明に係る実施形態3は、先の実施形態2と比べて、加減速時位相偏差収束部21の出力に対して上下限リミッタを設ける点で異なる。

[0103] これにより、空転滑走検知が遅れた場合や、回転子加速度が正負に大きく変動して位相偏差情報 $\Delta\theta_a$ が急激に振動し、加減速時位相偏差収束部21の出力 $\Delta\theta_a$ が過大になった場合でも、位相同期制御部14の追従性を低下させることなく、制御系を安定化する効果が得られる。

[0104] 図23は、実施形態3に係る回転電機の駆動装置の機能ブロックの一例を示す図である。

実施形態3では、空転滑走判定閾値が、空転滑走検知判定部15から出力され、位相同期制御14に入力され、加減速時位相偏差収束部21の出力に対して上限および下限のリミット値の演算に用いられる。

[0105] 図24は、実施形態3に係る空転滑走検知判定部15の機能ブロックの一例を示す図である。

図22に示す実施形態2に係る空転滑走検知判定部15に、空転滑走を検知する判定閾値を出力する機能が追加されている。

[0106] 図25は、実施形態3に係る加減速時位相偏差収束部21の機能ブロックの一例を示す図である。

実施形態3では、加減速分位相偏差補償量 $\Delta\theta_a$ の出力に上下限リミッタ22を設ける。この上下限リミッタ22のセット値としては、空転滑走判定閾値に判定閾値調整ゲインを乗算することにより、空転検知と判定するレベルよりも僅かに大きい値になるように設定する。

[0107] また、上下限リミッタ22の上限値は、空転時の判定閾値を基に設定し、上下限リミッタ22の下限値は、滑走時の判定閾値を基に設定するものとする。

[0108] 図26は、加減速時位相偏差収束部21に設けた上下限リミッタ22の有

無による効果の比較を示す図である。

- [0109] リミッタなしでは、空転を検知してトルクの絞り込みを開始した後、空転が収束されるまでの間に、加減速分位相偏差補償量 $\Delta\theta_\alpha$ は溜まり続けることになる。このため、再粘着後も加減速分位相偏差補償量 $\Delta\theta_\alpha$ が定常値に戻るまで時間を要する。
- [0110] 一方で、実施形態3によるリミッタありの構成では、空転滑走検知レベルよりも僅かに大きい値にリミットした場合、加減速分位相偏差補償量 $\Delta\theta_\alpha$ の行き過ぎを防止して、再粘着後の加減速分位相偏差補償量 $\Delta\theta_\alpha$ の定常値への収束を早める効果を得ることができる。
- [0111] また、行き過ぎ量を防止することで、空転滑走の検知タイミングのON時間が、実際に空転している時間に近くなり、適正化される効果もあり、再粘着後に空転滑走を誤検知するリスクも低減することができる。
- [0112] 上記のとおり、実施形態3は、加減速時位相偏差収束部21の出力に上下限リミッタ22を設けることで、トルク操作による再粘着制御後において、加減速分位相偏差補償量 $\Delta\theta_\alpha$ の定常値への収束性を早めるものである。これにより、再粘着後の空転滑走の誤検知の防止を実現できる。
- [0113] 以上、本発明に係る実施形態について説明したが、本発明は、上記した実施形態に限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲において種々の変更が可能である。

## 符号の説明

- [0114] 1…駆動装置、2…制御装置、3…電圧出力装置、4…同期機、5…電流検出器、7…PWM制御部、8…電流検出座標変換部、9…電流制御部、10…電流指令演算部、11…トルク指令演算部、12…電圧指令座標変換部、13…位相演算部、14、14a…位相同期制御部、15…空転滑走検知判定部、16…従来の位相同期制御部、20、20a…一定速時位相偏差収束部、21、21a…加減速時位相偏差収束部、22…上下限リミッタ、27…車輪、30…回転子シャフト、31…台車、32…小歯車、33…大歯車、34…継手、35…車軸、36…レール、40…周波数推定制御部、41

…一定速時  $q$  軸電流偏差収束部、4 2 …加減速時  $q$  軸電流偏差収束部、5 0  
…等価慣性モーメント演算部、5 1 …天候情報補正ゲイン演算部、5 2 …編  
成内位置情報補正ゲイン演算部、5 3 …速度補正ゲイン演算部

## 請求の範囲

- [請求項1] 回転電機へ駆動電圧を出力する電圧出力装置と、  
前記回転電機に流れる電流を検出する電流検出器と、  
前記回転電機の回転子の角速度を推定演算する角速度推定機能と  
を備え、  
前記制御装置は、  
前記回転電機の加減速中に前記角速度を推定演算するための入力となる状態量に生じる定常偏差を略ゼロに抑制するために当該状態量を補正する補償値を演算し、  
前記補償値が、所定値を超えた場合に前記回転電機により駆動される駆動輪の空転または滑走を検知することを特徴とする回転電機の駆動装置。
- [請求項2] 請求項1に記載の回転電機の駆動装置であって、  
前記制御装置は、前記空転または前記滑走を検知すると前記回転電機に対するトルク指令値を絞り込むことを特徴とする回転電機の駆動装置。
- [請求項3] 請求項1または2に記載の回転電機の駆動装置であって、  
前記回転電機は、同期電動機であり、  
前記状態量は、前記回転子の位相と前記制御装置で推定する前記回転子の位相推定値との差を示す位相偏差推定値であり、  
前記制御装置は、  
前記位相偏差推定値に対して、前記同期電動機の加減速中に定常的に発生する当該位相偏差推定値の前記定常偏差を略ゼロに抑制するための前記補償値として演算した位相偏差補償値を加算し、当該位相偏差補償値を加算した前記位相偏差推定値に基づいて前記角速度推定値を演算すると共に、  
前記位相偏差補償値に基づいて前記同期電動機により駆動される駆動輪の空転または滑走を検知する

ことを特徴とする回転電機の駆動装置。

[請求項4]

請求項 1 または 2 に記載の回転電機の駆動装置であって、

前記回転電機は、誘導電動機であり、

前記状態量は、前記誘導電動機に流れる電流の電流検出値であり、

前記制御装置は、

前記電流検出値と電流指令値との電流偏差に対して、前記誘導電動機の加減速中に定常的に発生する当該電流偏差の前記定常偏差を略ゼロに抑制するための前記補償値として演算した電流偏差補償値を加算し、当該電流偏差補償値を加算した前記電流偏差に基づいて前記角速度推定値を演算すると共に、

前記電流偏差補償値に基づいて前記誘導電動機により駆動される駆動輪の空転または滑走を検知する

ことを特徴とする回転電機の駆動装置。

[請求項5]

請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の回転電機の駆動装置であって、

前記制御装置は、

前記空転または前記滑走を検知するための判定閾値を、前記回転電機に対するトルク指令値に応じて可変とし、当該トルク指令値の増加に伴い高く設定し、当該トルク指令値の減少に伴い低く設定することを特徴とする回転電機の駆動装置。

[請求項6]

請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の回転電機の駆動装置であって、

前記制御装置は、

前記空転または前記滑走を検知するための判定閾値を、前記角速度推定値、前記回転電機の周波数または前記回転電機を搭載する鉄道車両の車両速度のいずれか一つに応じて可変とし、前記角速度推定値、前記周波数または前記車両速度のいずれか一つの増加に伴い高く設定し、前記角速度推定値、前記周波数または前記車両速度のいずれか一

つの減少に伴い低く設定することを特徴とする回転電機の駆動装置。

[請求項7] 請求項1から6のいずれか1項に記載の回転電機の駆動装置であって、

前記制御装置は、

前記空転または前記滑走を検知するための判定閾値を、前記回転電機を搭載する鉄道車両の乗客の乗車率に応じて可変とし、前記乗車率の増加に伴い高く設定し、前記乗車率の減少に伴い低く設定することを特徴とする回転電機の駆動装置。

[請求項8] 請求項1から7のいずれか1項に記載の回転電機の駆動装置であって、

前記制御装置は、

前記空転または前記滑走を検知するための判定閾値を、天候情報に応じて可変とし、晴天の場合には高く設定し、雨天や降雪の場合には低く設定することを特徴とする回転電機の駆動装置。

[請求項9] 請求項1から8のいずれか1項に記載の回転電機の駆動装置であって、

前記制御装置は、

前記空転または前記滑走を検知するための判定閾値を、列車編成内における前記回転電機を搭載する鉄道車両の号車と進行方向とを示す編成内位置情報に応じて可変とし、前記編成内位置情報が列車の進行方向に対して先頭側に位置する場合には低く設定し、前記編成内位置情報が列車の進行方向に対して後方側に位置する場合には高く設定することを特徴とする回転電機の駆動装置。

[請求項10] 請求項1から9のいずれか1項に記載の回転電機の駆動装置であって、

前記制御装置は、  
前記補償値を、上下限リミッタを通して出力する  
ことを特徴とする回転電機の駆動装置。

[請求項11] 請求項10に記載の回転電機の駆動装置であって、  
前記制御装置は、  
前記上下限リミッタの上下限値を、請求項5から請求項9のいずれ  
か1項に記載の前記判定閾値に基づいて設定する  
ことを特徴とする回転電機の駆動装置。

[請求項12] 請求項1から11のいずれか1項に記載の回転電機の駆動装置を搭  
載した鉄道車両。

[請求項13] 回転電機へ駆動電圧を出力する電圧出力装置を制御する制御装置の  
駆動方法であって、  
前記電圧出力装置の出力電圧を制御する際に、前記回転電機の回転  
子の角速度を推定演算するステップを有し、  
前記ステップには、  
前記回転電機の加減速中に前記角速度を推定演算するための入力と  
なる状態量に生じる定常偏差を略ゼロに抑制するために当該状態量を  
補正する補償値を演算する第1のステップと、  
前記補償値が所定値を超えた場合に前記回転電機により駆動される  
駆動輪の空転または滑走を検知する第2のステップと  
が含まれる  
ことを特徴とする回転電機の駆動方法。

[請求項14] 請求項13に記載の回転電機の駆動方法であって、  
前記空転または前記滑走を検知すると前記回転電機のトルク指令値  
を絞り込むステップを有する  
ことを特徴とする回転電機の駆動方法。

[請求項15] 請求項13または14に記載の回転電機の駆動方法であって、  
前記回転電機が同期電動機である場合に、

前記状態量は、前記回転子の位相と前記回転子の位相推定値との差を示す位相偏差推定値であり、

前記第1のステップには、

前記同期電動機の加減速中に定常的に発生する前記位相偏差推定値の前記定常偏差を略ゼロに抑制するために前記補償値として位相偏差補償値を演算するステップと、

前記位相偏差補償値を前記位相偏差推定値に加算するステップと、

前記位相偏差補償値を加算した前記位相偏差推定値に基づいて前記角速度推定値を演算するステップと

が含まれる

ことを特徴とする回転電機の駆動方法。

[請求項16]

請求項13または14に記載の回転電機の駆動方法であって、

前記回転電機が誘導電動機である場合に、

前記状態量は、前記誘導電動機に流れる電流の電流検出値であり、

前記第1のステップには、

前記誘導電動機の加減速中に定常的に発生する、前記電流検出値と電流指令値との電流偏差の前記定常偏差を略ゼロに抑制するために前記補償値として電流偏差補償値を演算するステップと、

前記電流偏差補償値を前記電流偏差に加算するステップと、

前記電流偏差補償値を加算した前記電流偏差に基づいて前記角速度推定値を演算するステップと

が含まれる

ことを特徴とする回転電機の駆動方法。

[請求項17]

請求項13から16のいずれか1項に記載の回転電機の駆動方法であって、

前記第2のステップは、当該空転または当該滑走を検知するための判定閾値を設け、当該判定閾値を、前記トルク指令値、前記角速度推定値と前記回転電機の周波数と前記回転電機を搭載する鉄道車両の車

両速度の内のいずれか一つ、前記回転電機を搭載する鉄道車両の乗客の乗車率、天候情報および列車編成内における前記回転電機を搭載する鉄道車両の号車と進行方向とを示す編成内位置情報、の少なくともいずれか一つに応じて可変とすることを特徴とする回転電機の駆動方法。

[請求項18]

請求項17に記載の回転電機の駆動方法であって、

前記第1のステップには、

前記補償値の演算に続いて、当該補償値を、前記判定閾値に基づいて設定する上下限値を有するリミッタを通して出力するステップが含まれる

ことを特徴とする回転電機の駆動方法。

[図1]

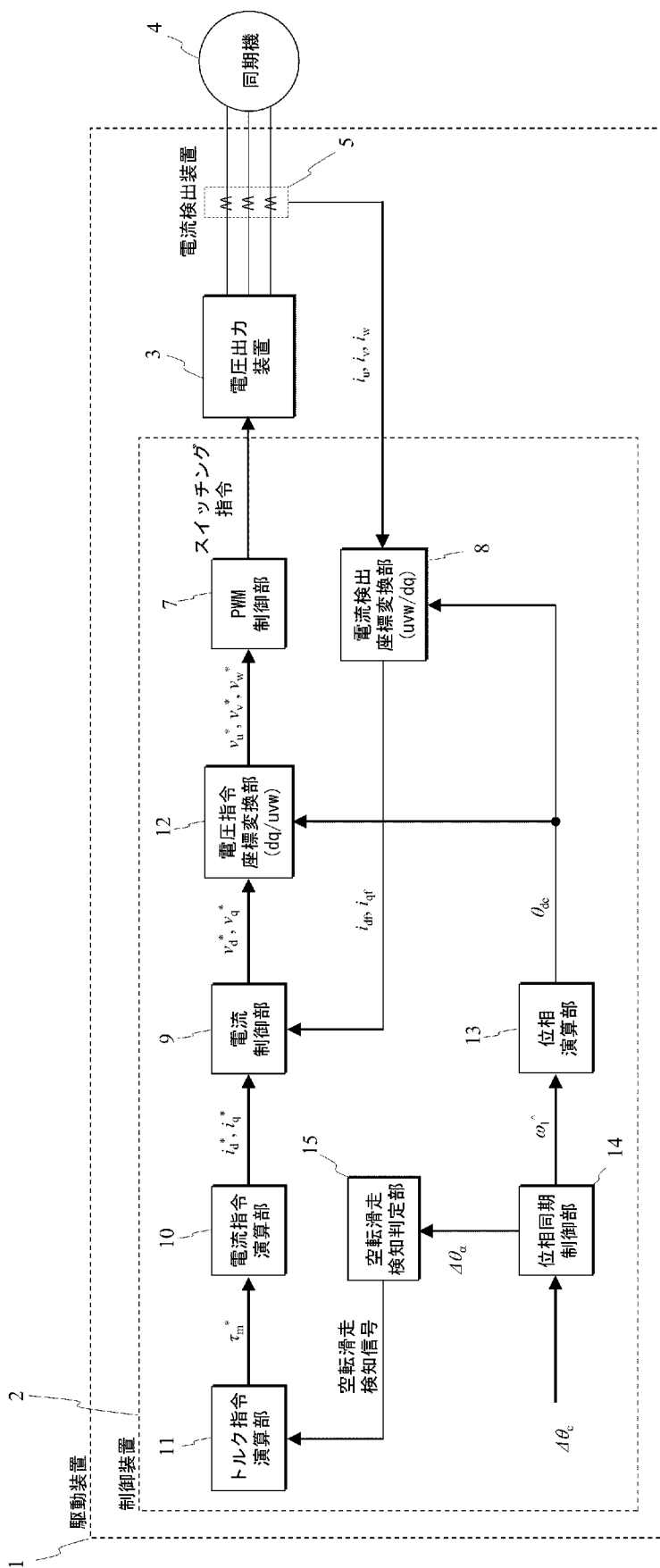
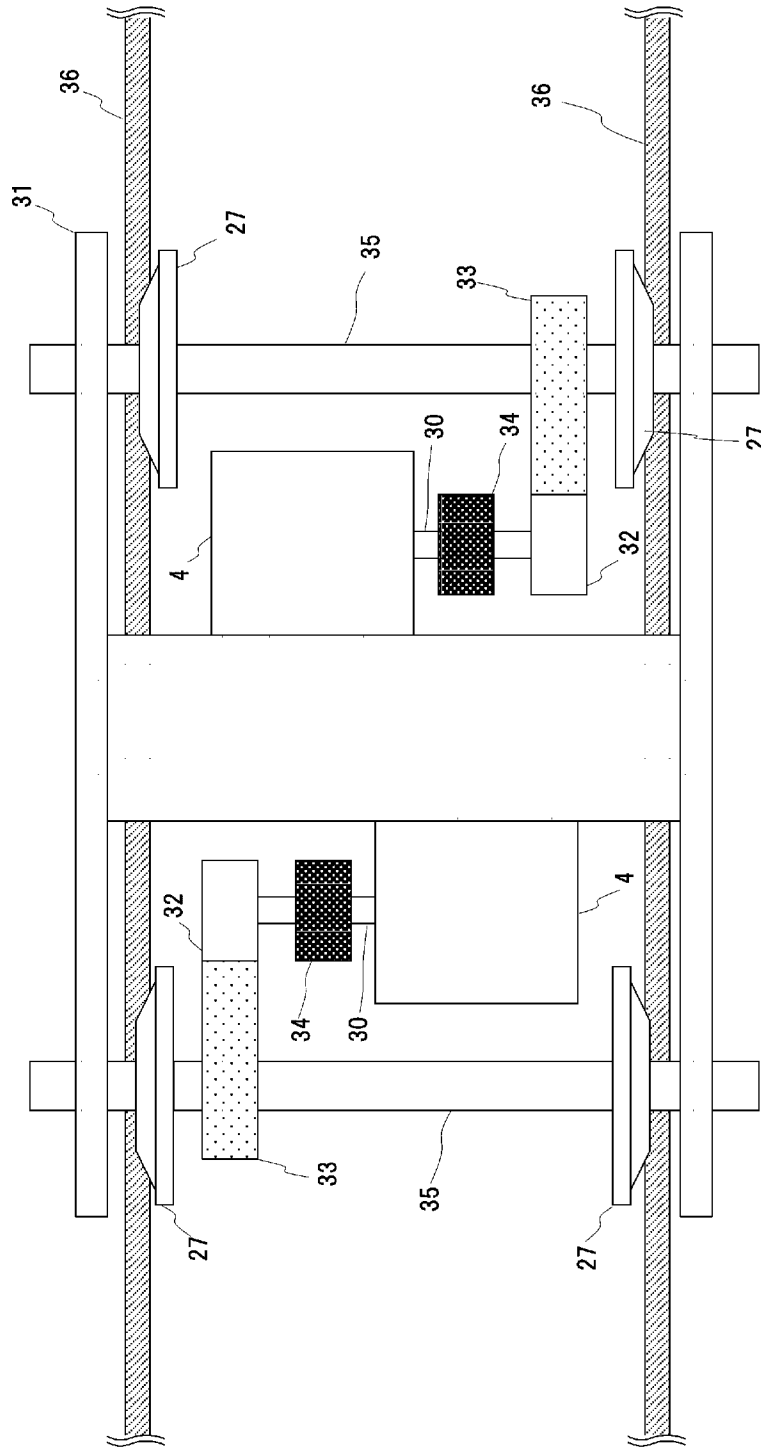


図1

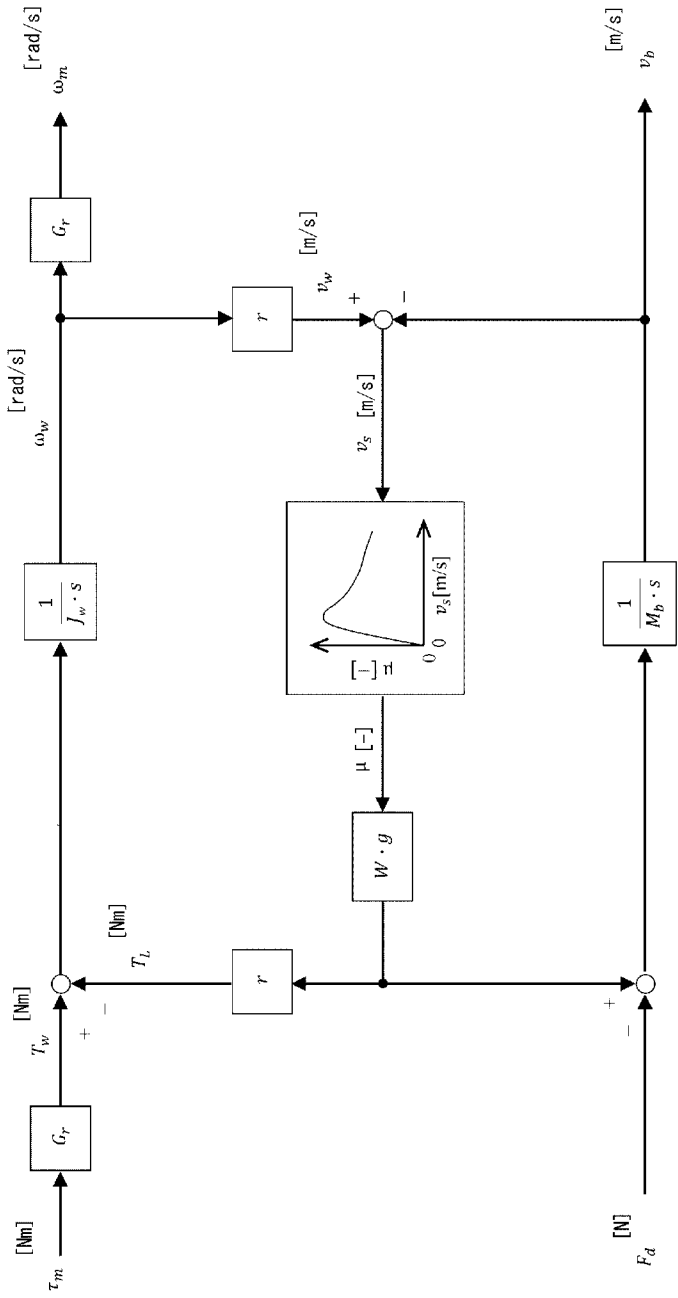
[図2]

図2



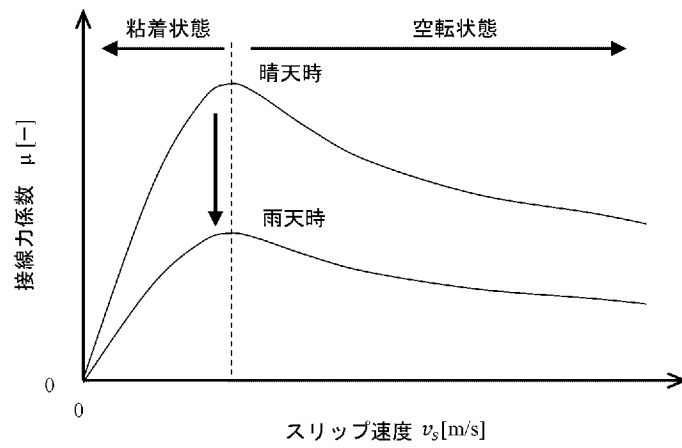
[図3]

図3



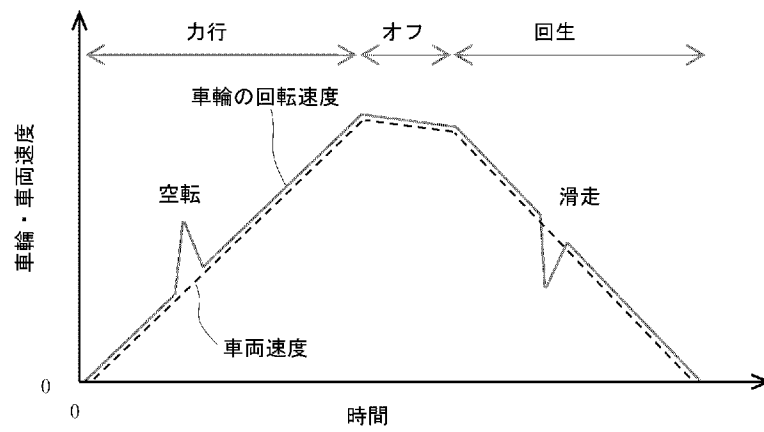
[図4]

図4



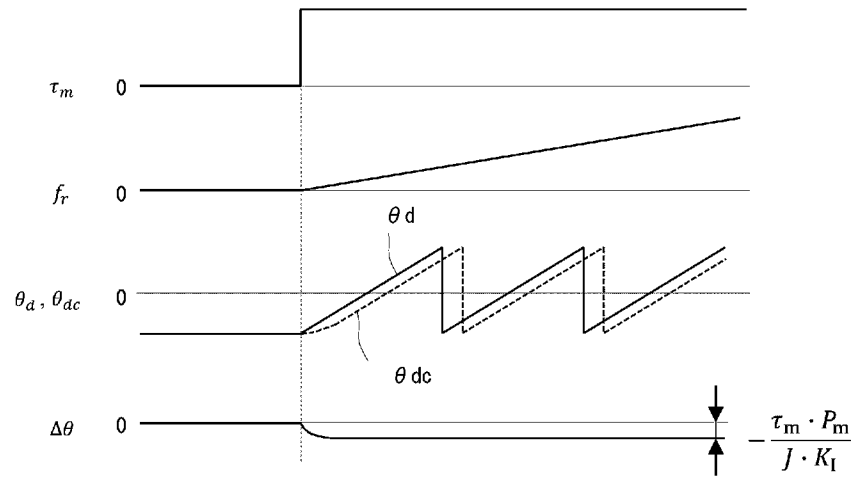
[図5]

図5



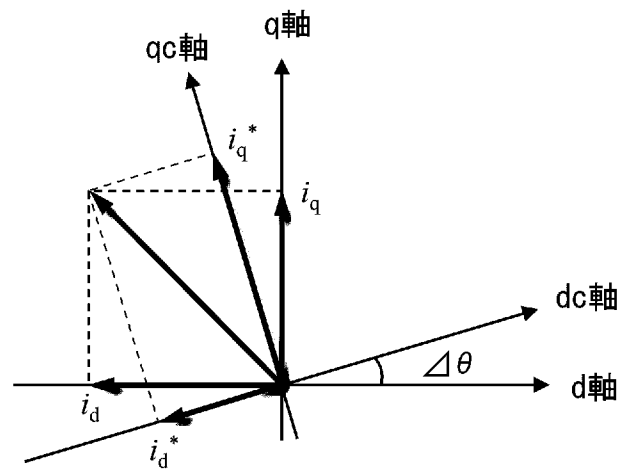
[図6]

図6



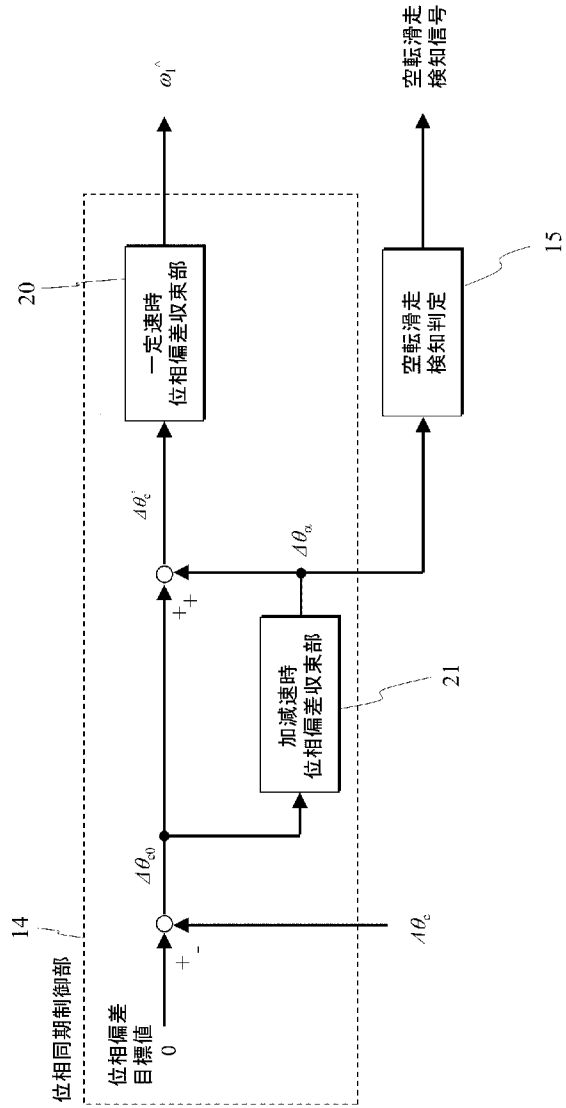
[図7]

図7



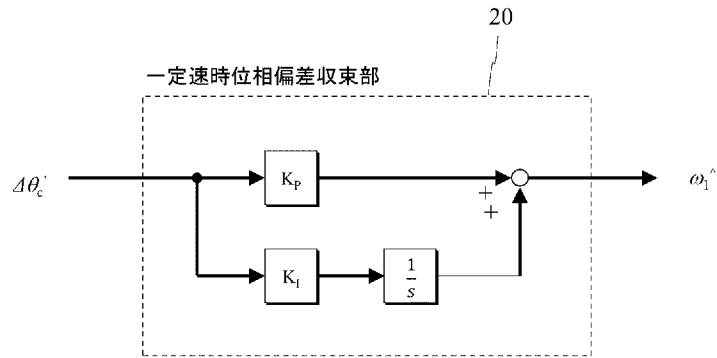
[圖8]

圖8



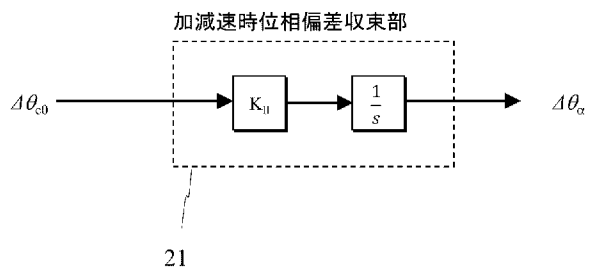
[図9]

図9



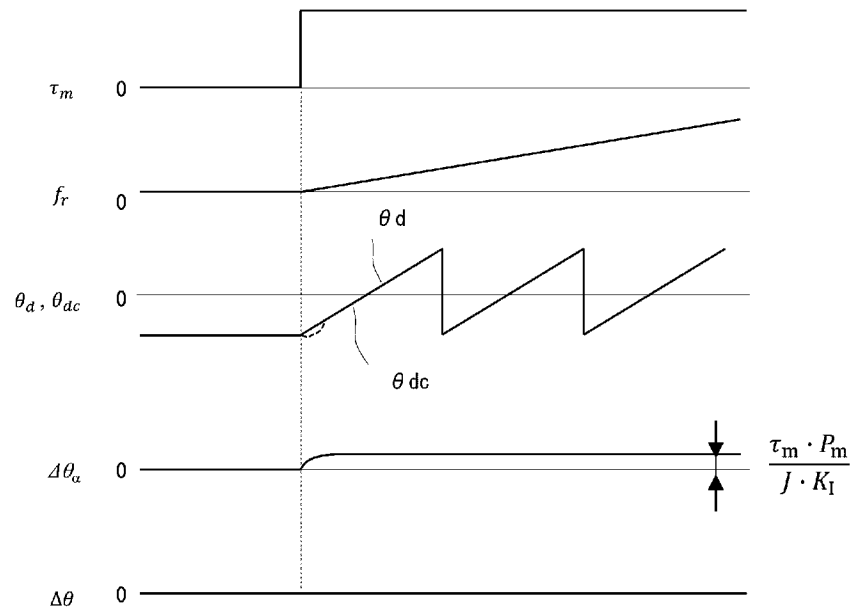
[図10]

図10



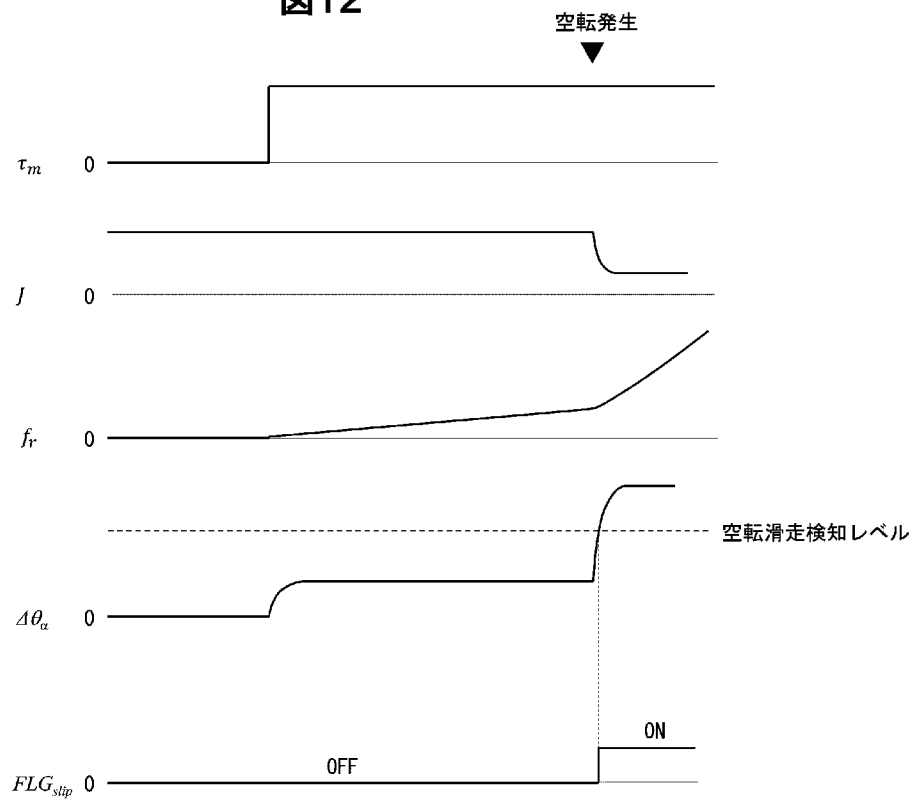
[図11]

図11



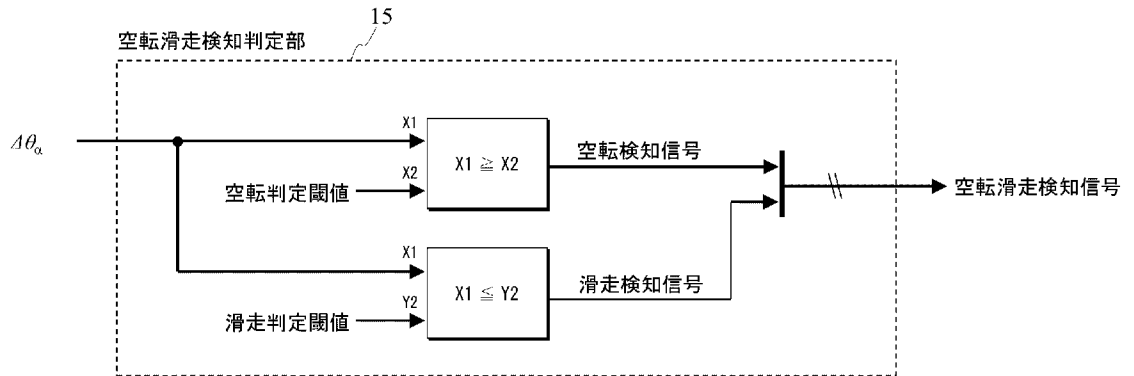
[図12]

図12



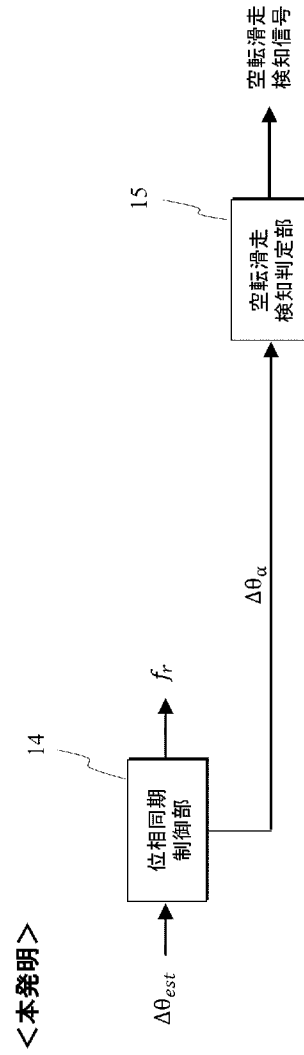
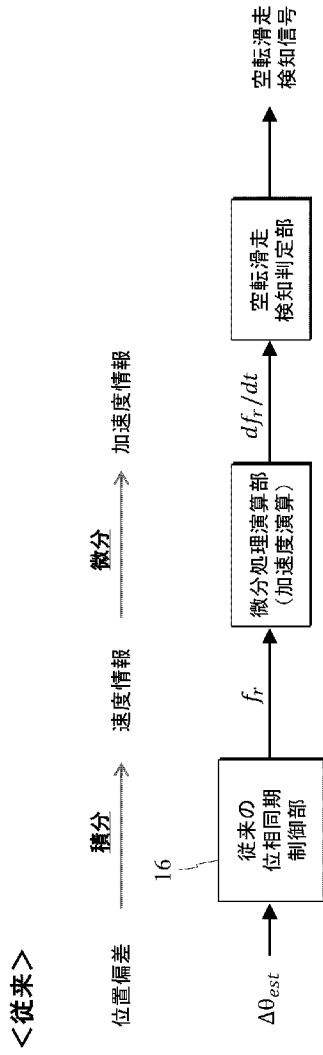
[図13]

図13



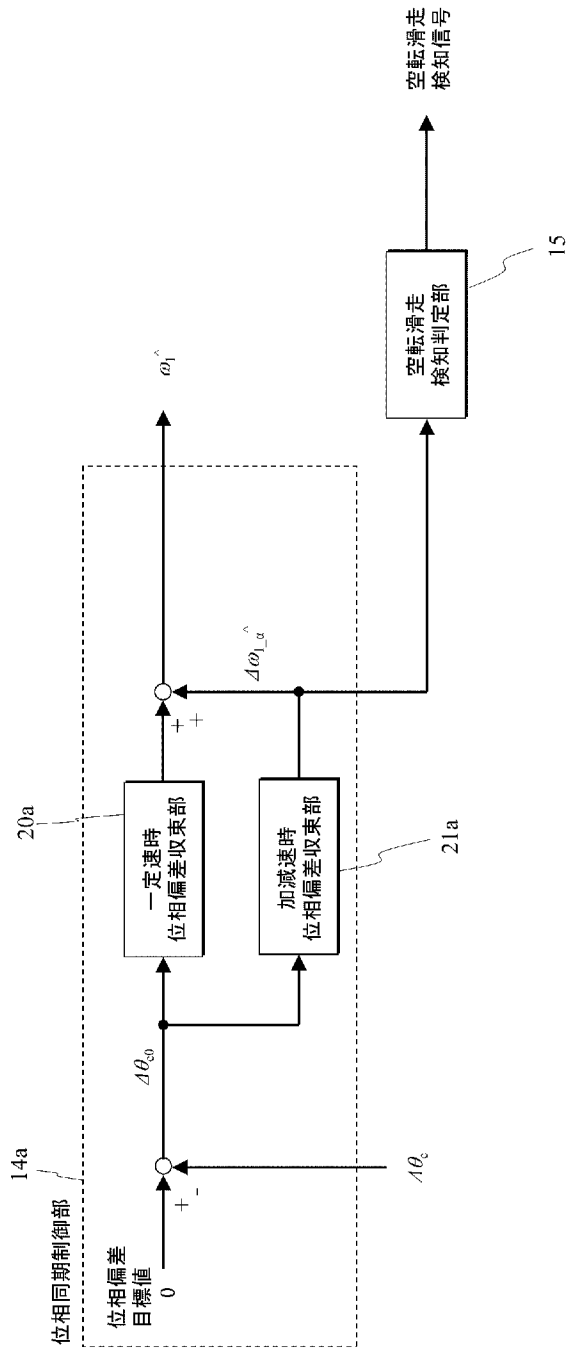
[図14]

図14



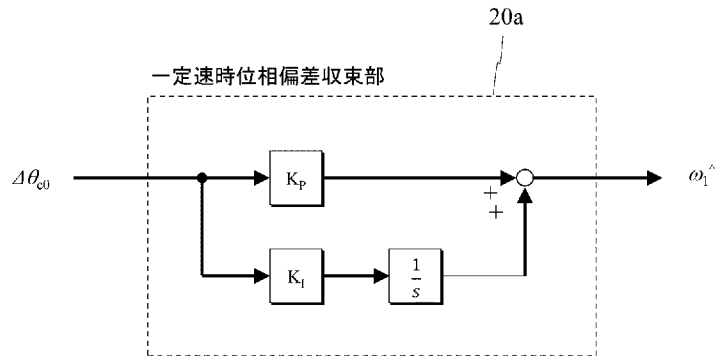
[図15]

図15



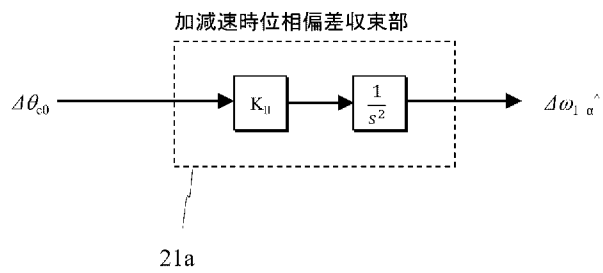
[図16]

図16



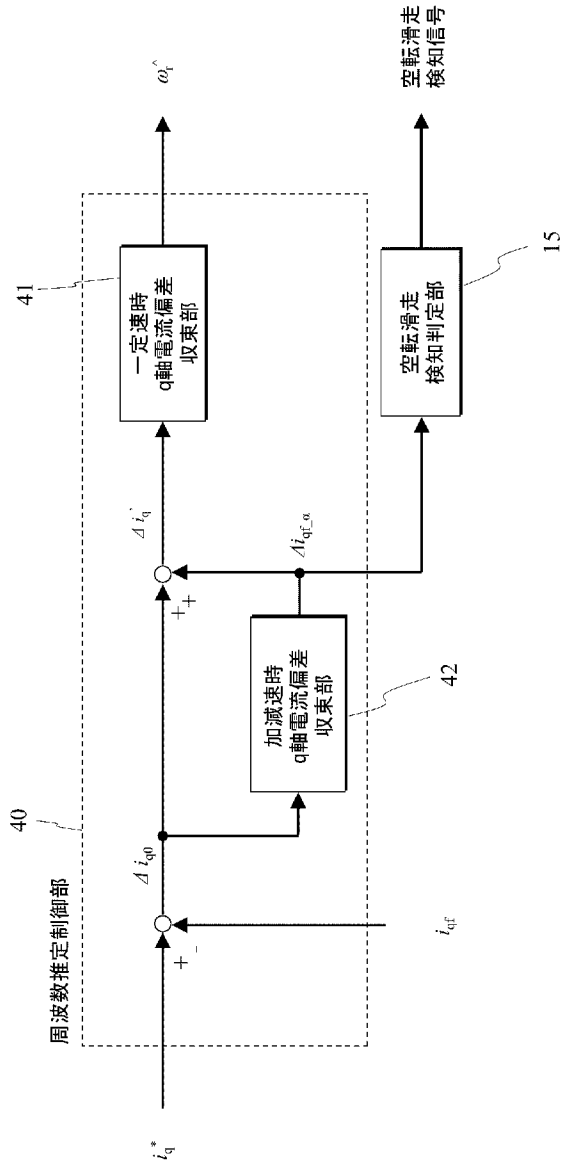
[図17]

図17



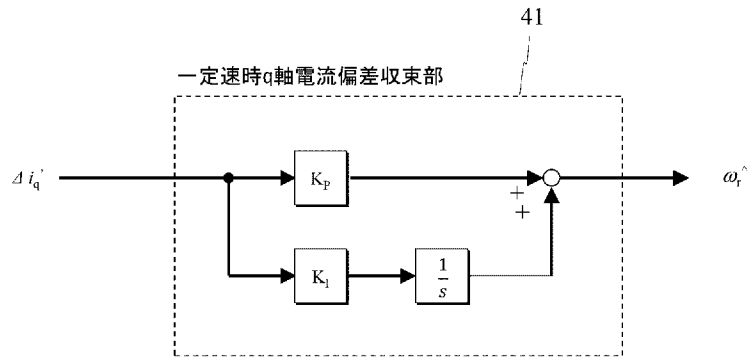
[圖18]

圖18



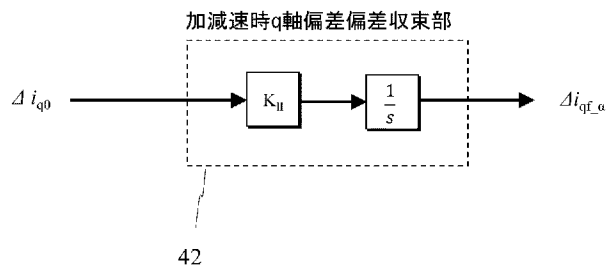
[図19]

図19



[図20]

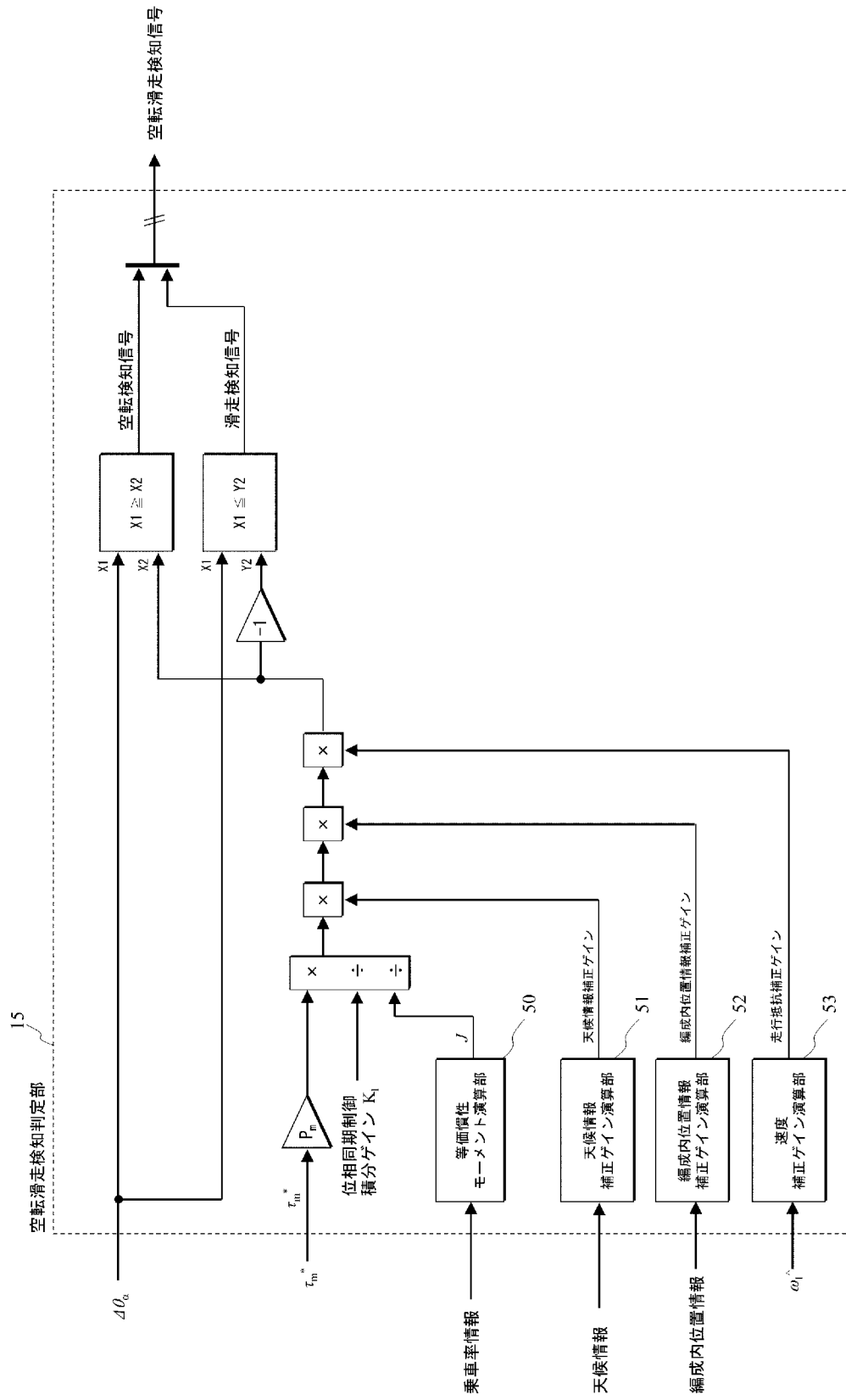
図20





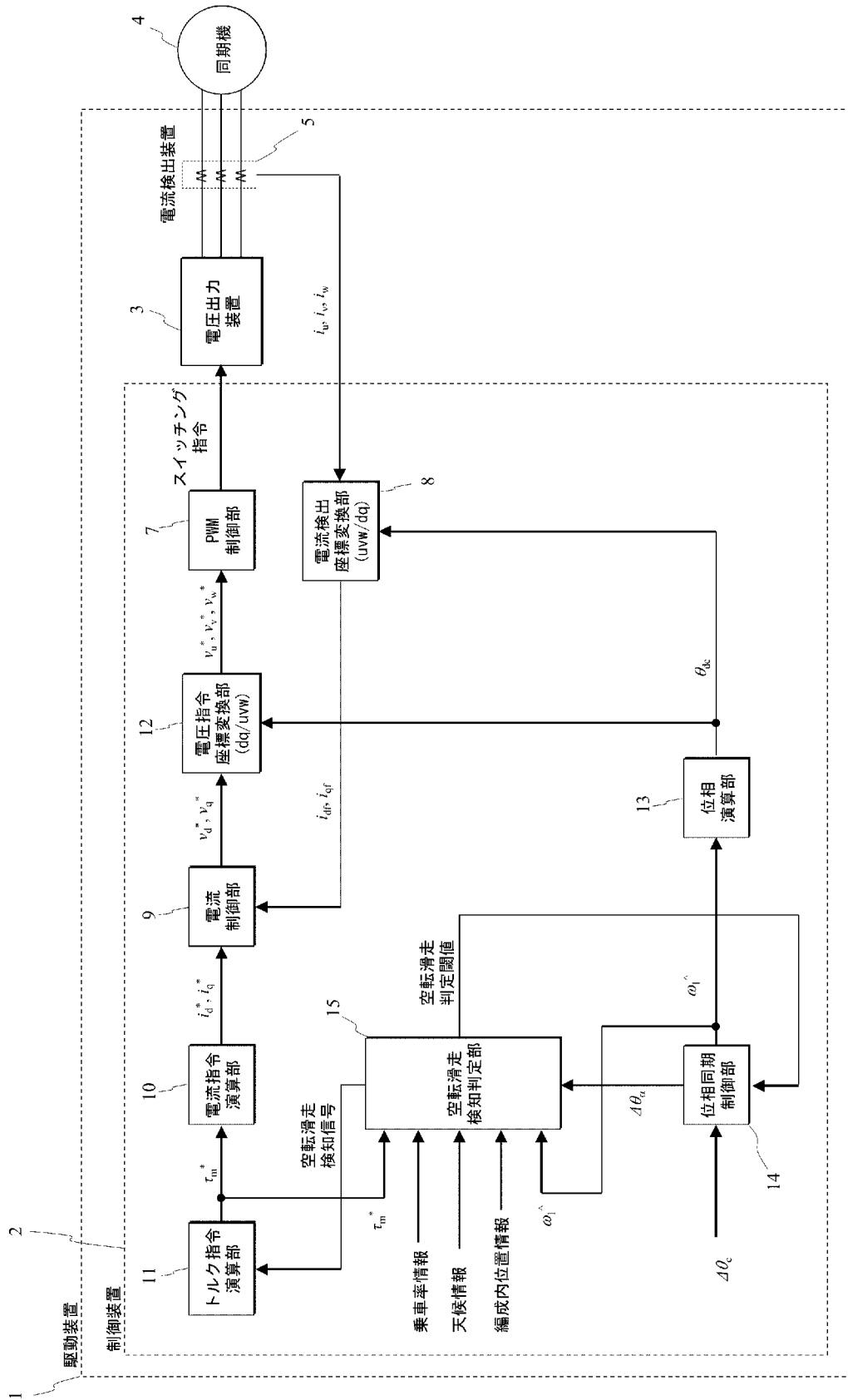
[図22]

図22



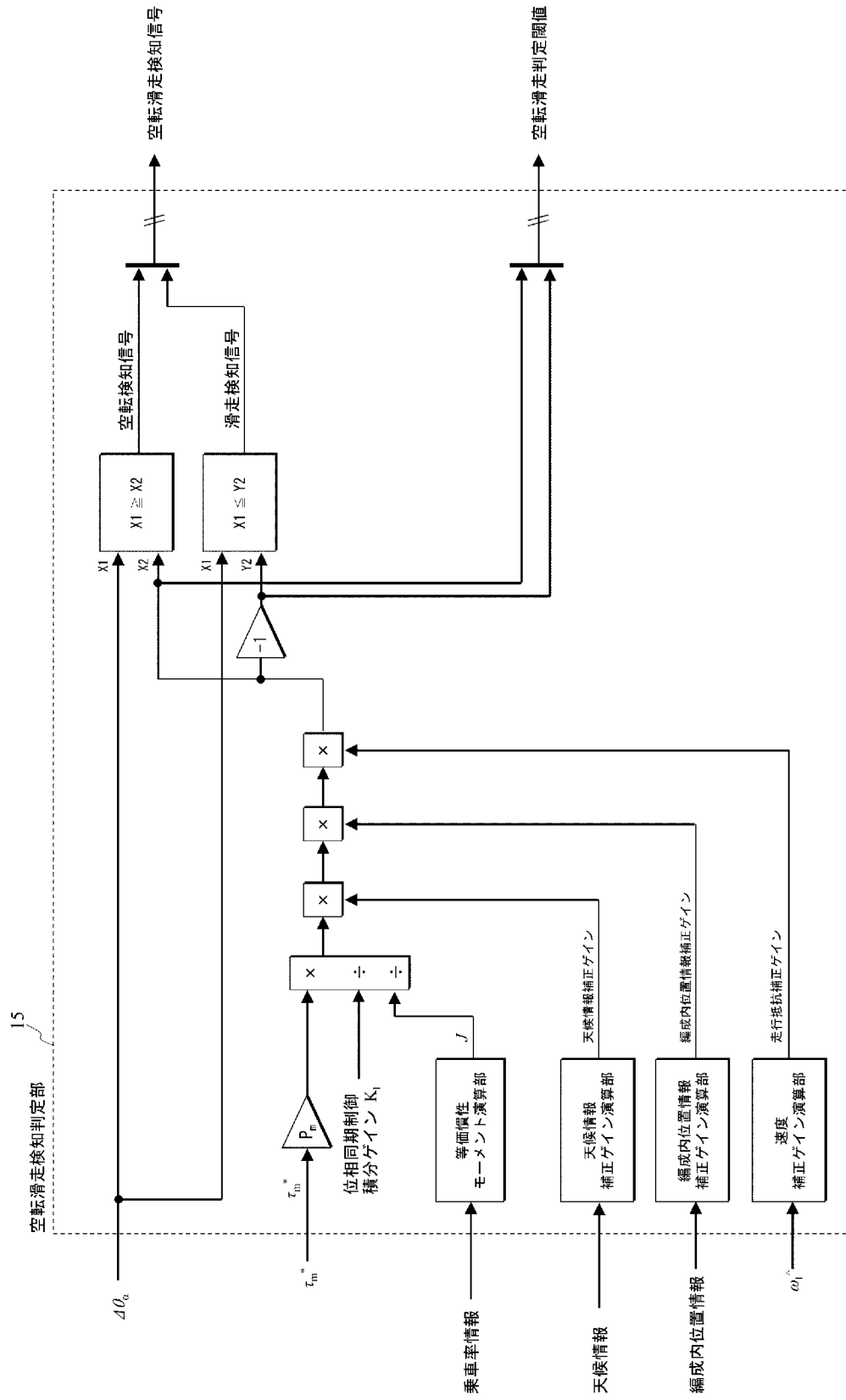
[図23]

図23



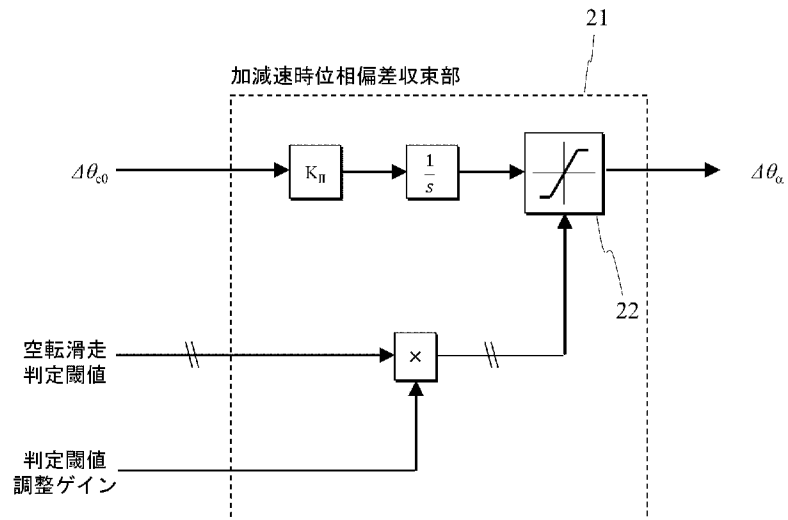
[図24]

図24



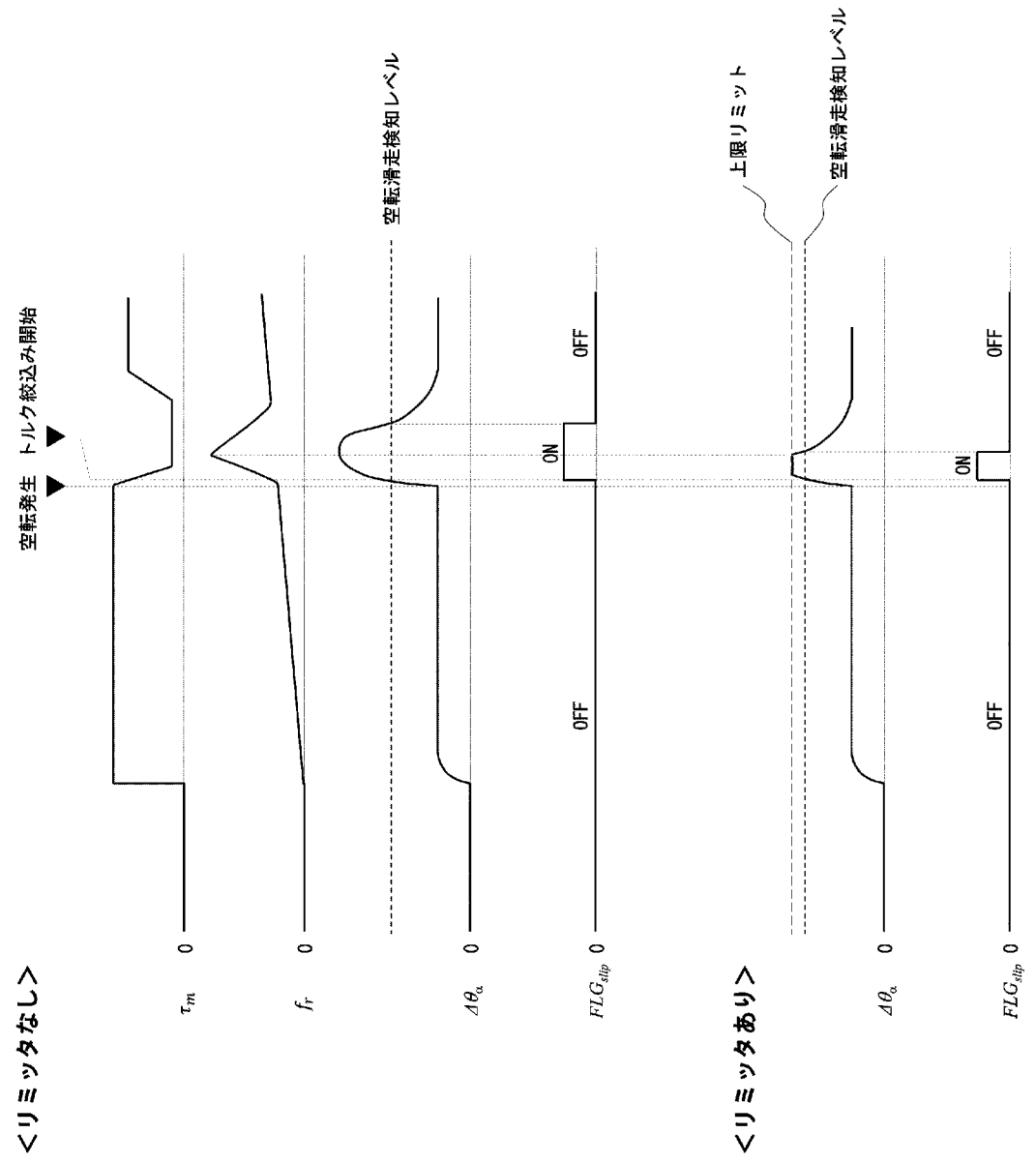
[図25]

図25



[図26]

図26



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/JP2021/043765**

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
<b>H02P 29/024</b> (2016.01)i; <b>B60L 15/20</b> (2006.01)i FI: H02P29/024; B60L15/20 A; B60L15/20 Y		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H02P29/024; B60L15/20		
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 1971-2022 Registered utility model specifications of Japan 1996-2022 Published registered utility model applications of Japan 1994-2022		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2012-120320 A (TOSHIBA CORP) 21 June 2012 (2012-06-21) paragraphs [0010]-[0035], fig. 1-15, in particular, paragraphs [0025], [0033]	1-18
A	JP 2011-193568 A (FUJI ELECTRIC CO LTD) 29 September 2011 (2011-09-29) abstract, fig. 1	1-18
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 <b>13 January 2022</b>		Date of mailing of the international search report <b>25 January 2022</b>
Name and mailing address of the ISA/JP <b>Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan</b>		Authorized officer  Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/JP2021/043765**

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2012-120320 A	21 June 2012	(Family: none)	
JP 2011-193568 A	29 September 2011	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H02P 29/024(2016.01)i; B60L 15/20(2006.01)i FI: H02P29/024; B60L15/20 A; B60L15/20 Y		
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）） H02P29/024; B60L15/20 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 - 2022年 日本国実用新案登録公報 1996 - 2022年 日本国登録実用新案公報 1994 - 2022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 2012-120320 A (株式会社東芝) 21.06.2012 (2012 - 06 - 21) 段落[0010]-[0035], 図1-15, 特に段落[0025], [0033]	1-18
A	JP 2011-193568 A (富士電機株式会社) 29.09.2011 (2011 - 09 - 29) 要約, 図1	1-18
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> 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 13.01.2022	国際調査報告の発送日 25.01.2022	
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） 谿花 正由輝 3V 3120 電話番号 03-3581-1101 内線 3357	

国際調査報告  
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2021/043765

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2012-120320 A	21.06.2012	(ファミリーなし)	
JP 2011-193568 A	29.09.2011	(ファミリーなし)	