

(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
2023年2月9日(09.02.2023)



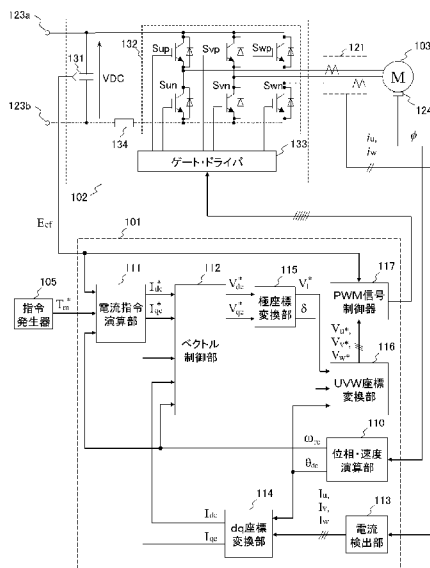
(10) 国際公開番号
WO 2023/013302 A1

- (51) 国際特許分類:
H02P 21/05 (2006.01) H02P 21/22 (2016.01)
H02P 21/06 (2016.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2022/025709
- (22) 国際出願日: 2022年6月28日(28.06.2022)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2021-127701 2021年8月3日(03.08.2021) 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: 坂井 俊文 (SAKAI, Toshifumi); 〒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). 隅田 悟士(SUMITA, Satoshi); 〒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). 篠宮 健志(SHINOMIYA, Takeshi); 〒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: 弁理士法人第一国際特許事務所(DAI-ICHI INTERNATIONAL PATENT OFFICE, P.C.); 〒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,

(54) Title: DRIVING CONTROL DEVICE AND DRIVING CONTROL METHOD FOR ALTERNATING CURRENT ELECTRIC MOTOR

(54) 発明の名称: 交流電動機の駆動制御装置および駆動制御方法

[図1]



- 105 Command generator
- 110 Phase/speed calculation unit
- 111 Current command calculation unit
- 112 Vector control unit
- 113 Current detection unit
- 114 dq coordinate conversion unit
- 115 Polar coordinate conversion unit
- 116 U/V/W coordinate conversion unit
- 117 PWM signal controller
- 133 Gate driver

(57) Abstract: In order to provide a driving control device that is for an alternating current electric motor and can suppress torque vibration during location sensor-equipped control of the alternating current electric motor, said torque vibration being caused by an angle error which is due to the influence of signal noise or eccentricity of the location sensor, this driving control device for an alternating current electric motor which is driven by a power converter using vector control comprises: a phase difference calculation unit that calculates the phase difference between rotation location information

WO 2023/013302 A1

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, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, 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.

- (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))

for the alternating current electric motor and a control phase which is used when performing the vector control, and outputs a first phase difference; a filter unit that outputs a second phase difference resulting from using a filtering process to damp a specific frequency component from the first phase difference; and a speed and phase calculation unit that calculates the rotational speed of the alternating current electric motor and the control phase on the basis of the second phase difference.

(57) 要約 : 交流電動機の位置センサ付き制御において位置センサの偏芯や信号ノイズの影響による角度誤差に起因したトルク振動を抑制する交流電動機の駆動制御装置を提供するために、ベクトル制御を用いて電力変換器により駆動される交流電動機の駆動制御装置として、交流電動機の回転位置情報とベクトル制御を行う際に用いる制御位相との位相差を演算して第1の位相差を出力する位相差演算部と、第1の位相差から特定の周波数成分をフィルタ処理により減衰した第2の位相差を出力するフィルタ部と、第2の位相差に基づいて交流電動機の回転速度および制御位相を演算する速度および位相演算部とを備える。

明 細 書

発明の名称：交流電動機の駆動制御装置および駆動制御方法

技術分野

[0001] 本発明は、交流電動機の駆動制御装置および駆動制御方法に関し、電気鉄道車両、電気自動車、産業用インバータ、風力発電システムおよびディーゼル発電機システム等に適用されるものである。

背景技術

[0002] 近年の省エネルギー化や環境負荷低減の要求の高まりから、交流電動機の駆動制御装置は、家電製品、産業機器、インフラなど幅広い用途にその普及が進んでいる。

交流電動機の駆動制御方法の一つとして、交流電動機の回転子位置を検出する角度センサを利用したものがある。この角度センサとしては、レゾルバや磁気センサなどがあり、特に、レゾルバは電磁誘導を利用して機械角度を電氣的信号に変換する角度センサであり、工作機械やロボットの角度検出用センサとして一般に普及するようになった。また、最近では、耐環境性に優れているなどの特徴を持つことから、自動車用永久磁石同期電動機の角度検出用センサとして適用が進んでいる。

[0003] しかしながら、レゾルバを用いて交流電動機を制御する場合、レゾルバからの出力電圧信号に偏芯による直流オフセット誤差やゲインアンバランスによる振幅誤差、伝送遅延や出力側巻線の製造誤差などがある場合、それらに起因した角度誤差が生じ、交流電動機の駆動制御装置に交流電動機の駆動周波数の1倍または2倍の振動成分が発生することが知られている。そのため、交流電動機が高速回転時ほど、駆動周波数に比例したトルクや速度の振動現象が発生し、交流電動機の駆動制御装置を構成する機器類が破損する恐れがある。したがって、レゾルバのセンサノイズ等に起因した角度信号の誤差による振動現象を抑制する必要がある。

[0004] 一般に、レゾルバなどの角度センサの角度誤差による速度やトルクの振動

を抑制する制御方法に関しては、角度センサの出力信号に基づいて算出された交流電動機の世界検出値に振動成分を低減するフィルタを挿入する手法や、交流電動機の世界フィードバックや電流フィードバックの制御ループ内に振動成分を低減するフィルタを挿入する手法がある。

[0005] 例えは、特許文献1には、角度センサの検出角度に基づいて演算して得た交流電動機の世界角周波数に対して、遮断したい周波数のノッチフィルタ処理をかけることで、角度センサの誤差の影響を低減する技術が、開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開2015-136218号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] 特許文献1に開示の技術は、角度センサの検出角度の世界変化から交流電動機の世界角周波数を演算し、その世界角周波数演算値に比例した周波数成分を遮断するノッチフィルタ処理をかけることで、角度センサの角度誤差に起因した交流電動機の駆動制御装置のトルク振動や速度振動を低減するものである。

[0008] また、ノッチフィルタの遮断周波数を世界角周波数の演算結果に応じて可変にすることで、回転数指令と機械角回転数とが一致していない過渡状態でも、角度誤差による速度演算値の振動成分を低減することができる。

[0009] しかし、角度センサの検出角度に基づく交流電動機の世界角度に生じる角度誤差を除去できていないため、交流電動機のトルク制御や速度制御が振動することになる。

[0010] したがって、本発明の目的は、上記の課題に鑑み、角度センサのセンサノイズの影響による角度誤差に起因した交流電動機のトルク振動を抑制する交流電動機の駆動制御装置および駆動制御方法を提供することである。

課題を解決するための手段

[0011] 上記の課題を解決するために、代表的な本発明の交流電動機の駆動制御装置の一つは、ベクトル制御を用いて電力変換器により駆動される交流電動機の駆動制御装置であって、交流電動機の回転位置情報とベクトル制御を行う際に用いる制御位相との位相差を演算して第1の位相差を出力する位相差演算部と、第1の位相差から特定の周波数成分をフィルタ処理により減衰した第2の位相差を出力するフィルタ部と、第2の位相差に基づいて交流電動機の回転速度および制御位相を演算する速度および位相演算部とを備えるものである。

発明の効果

[0012] 本発明によれば、ベクトル制御に対する角度センサのセンサノイズによる角度誤差の影響を低減することにより、交流電動機のトルク振動を抑制し、制御安定性の高い交流電動機の駆動制御装置が実現できる。

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

[0013] [図1]本発明の実施例1に係る交流電動機の駆動制御装置の構成例を表すブロック図である。

[図2]本発明による交流電動機の制御において使用される座標系と記号の定義を示す図である。

[図3]実施例1に係る位相・速度演算部の構成例を表すブロック図である。

[図4]実施例1に係る位相差演算部の構成例を表すブロック図である。

[図5]実施例1に係る比例・積分制御部の構成例を表すブロック図である。

[図6]本発明の実施例2に係る交流電動機の駆動制御装置の構成例を表すブロック図である。

[図7]実施例2に係る位相・速度演算部の構成例を表すブロック図である。

[図8]実施例2に係る位相差演算部の構成例を表すブロック図である。

[図9]実施例2に係る位相差FF補償部の構成例を表すブロック図である。

[図10]本発明の実施例3に係る交流電動機の駆動制御装置の構成例を表すブロック図である。

[図11]実施例3に係る位相・速度演算部の構成例を表すブロック図である。

[図12]本発明の実施例4に係る交流電動機の駆動制御装置の構成例を表すブロック図である。

[図13]実施例4に係る位相・速度演算部の構成例を表すブロック図である。

[図14]本発明の実施例5に係る交流電動機の駆動制御装置の構成例を表すブロック図である。

[図15]実施例5に係る位相・速度演算部の構成例を表すブロック図である。

[図16]本発明の実施例6として、実施例1～5のいずれかを用いた交流電動機の駆動制御装置を搭載する鉄道車両の一部の概略構成を表すブロック図である。

発明を実施するための形態

[0014] 以下、図面を参照して、本発明を実施するための形態として、実施例1から6について詳細に説明する。なお、同一の要素については、全ての図において、原則として同一の符号を付している。また、同一の機能を有する部分については、重複した説明を省略する。以下で説明する実施例および変形例は、矛盾しない範囲で、その一部または全部を組み合わせてもよい。

実施例 1

[0015] 図1は、本発明の実施例1に係る交流電動機の駆動制御装置の構成例を表すブロック図である。図1では、制御対象である交流電動機103、交流電動機103を駆動する電力変換器102、電力変換器102を制御する制御器101、交流電動機103のトルク指令 T_m^* を発生する指令発生器105、交流電動機103に流れる電流を検出する相電流検出部121および交流電動機103の回転子位置を検出する回転位置検出部124、を備える。

[0016] 交流電動機103は、電力変換器102から出力される交流電力により制御される電動機である。なお、本発明の各実施例では、交流電動機の一つとして、永久磁石同期電動機を例に発明内容を説明するが、この電動機に限定

されるものではなく、本発明は他のすべての交流電動機に適用可能である。また、本発明の各実施例では交流電動機を例にしているが、交流発電機を制御対象としても交流電動機の場合と同様の効果が得られる。

[0017] 電力変換器102は、電力変換器102に直流電力を供給する入力端子123aと123b、6個のスイッチング素子 $S_{up} \sim S_{wn}$ で構成される主回路部132、主回路部132を直接駆動するゲート・ドライバ133、電力変換器102の過電流保護用に取り付けた直流抵抗器134および平滑用コンデンサ131を備える。また、電力変換器102は、入力端子123aと123bとから供給される直流電力を、制御器101が生成したゲート指令信号に基づいて交流電力に変換し、変換した交流電力を交流電動機103に供給する。

[0018] 相電流検出部121は、電力変換器102から永久磁石同期機103に流れる交流電流 i_u および i_w を検出する。この相電流検出部121は、例えばホール素子を用いた電流センサにより実現される。なお、図1に示す相電流検出部121は、2相検出による交流電流検出の構成としているが、3相検出としてもよい。また、相電流センサを用いず、電力変換器102の過電流保護用に取り付けられた直流抵抗器134を流れる電流値から推定される交流電流値を用いてもよい。

[0019] 回転位置検出部124は、交流電動機103の回転子位置（回転角度）に応じた角度信号 ϕ を出力する。この回転位置検出部124は、例えばレゾルバやエンコーダ、磁気センサなどにより実現される。

[0020] 位相・速度演算部110は、検出された回転子位置に応じた角度信号 ϕ から、交流電動機103の回転速度の電気角周波数 ω_{re} およびベクトル制御のための電流検出値の dq 座標変換や電圧指令値の UVW 座標変換で用いる制御位相 θ_{dc} を算出する。

[0021] 指令発生器105は、制御器101の上位に位置する制御器で、交流電動機へのトルク指令 T_m^* を発生する。

[0022] 制御器101は、指令発生器105からのトルク指令 T_m^* に基づき、交

流電動機 103 の発生トルクを制御する。この制御器としては、例えば、交流電動機 103 に流れる電流を制御する場合には電流制御器が、あるいは、回転速度や位置を制御する場合には速度制御器や位置制御器が、用いられる。実施例 1 では、トルクの制御を行うことを目的とするトルク制御器として動作しているが、上位の制御器として速度制御器や位置制御器を用いた構成としてもよい。

[0023] 制御器 101 の構成としては、位相・速度演算部 110、電流指令演算部 111、ベクトル制御部 112、電流検出部 113、 dq 座標変換部 114、極座標変換部 115、UVW座標変換部 116 および PWM 信号制御器 117 を備える。

[0024] また、制御器 101 は、回転位置検出部 124 からの交流電動機 103 の回転子位置（回転角度）に応じた角度信号 ϕ と、交流電動機 103 を流れる交流電流 i_u および i_w の検出値である交流電流検出値 l_u および l_w と、指令発生器 105 からのトルク指令 T_m^* とに基づいた電流制御系と位相制御系の演算結果から、電力変換器 102 のスイッチング素子を駆動するためのゲート指令信号を生成し、電力変換器 102 のゲート・ドライバ 133 に供給する。

[0025] 図 2 は、本発明による交流電動機 103 の制御において使用される座標系と記号の定義を示す図である。ここで、交流電動機 103 としては、上述のとおり、永久磁石同期電動機を例に説明する。

[0026] 図 2 では、 a 軸と b 軸で定義される ab 軸座標系は、永久磁石同期電動機 103 a の固定子巻線の位相を表す固定子座標系である。 a 軸は、一般的に永久磁石同期電動機 103 a の u 相巻線位相が基準にとられる。

[0027] d 軸と q 軸で定義される dq 軸座標系は、永久磁石同期電動機 103 a の回転子の磁極位置を表す回転座標系であり、永久磁石同期電動機 103 a の回転子磁極位置と同期して回転する。永久磁石同期機の場合、 d 軸は、一般的に回転子に取り付けられた永久磁石による磁極の N 極方向が基準にとられるため、磁極軸とも呼ばれる。

[0028] d 軸と q 軸で定義される d 軸 - q 軸座標系は、ベクトル制御のための制御位相、すなわち制御器 101 が d 軸および q 軸方向として制御している座標系であり、制御軸とも呼ばれる。

[0029] また、 z 軸は、回転位置検出部 124 が出力する永久磁石同期電動機 103 a の回転子位置（回転角度）に応じた角度信号 ϕ の位相を表す回転座標系である。

なお、各座標系において組み合わされる座標軸同士は、いずれも互いに直交している。

[0030] 上記の各座標系において、図 2 に示すように、 a 軸を基準とした d 軸、 d 軸および z 軸の各軸の位相を、 θ_d 、 θ_{dc} および ϕ とそれぞれ表す。また、 d 軸に対する d 軸の偏差を $\Delta\theta_{err}$ 、 z 軸に対する d 軸の偏差を $\Delta\theta_c$ と表す。

[0031] ここで、回転位置検出部 124 が出力する永久磁石同期電動機 103 a の回転子位置（回転角度）に応じた角度信号 ϕ を用いてベクトル制御を実施する場合、 d 軸と z 軸が一致していれば d 軸座標系と d 軸 - q 軸座標系は一致することになり、 d 軸に対する d 軸の偏差 $\Delta\theta_{err}$ は零となる。

[0032] ただし、回転位置検出部 124 が出力する永久磁石同期電動機 103 a の回転子位置（回転角度）に応じた角度信号 ϕ に、センサノイズ等による角度誤差があった場合は、 d 軸に対する d 軸の偏差 $\Delta\theta_{err}$ が生じることになる。

[0033] 以下、図 1 に示す制御器 101 の構成について詳しく説明する。

位相・速度演算部 110 は、回転位置検出部 124 から出力される永久磁石同期電動機 103 a の回転子位置に応じた角度信号 ϕ に基づいて、回転速度の電気角周波数 ω_{re} と、ベクトル制御を行う d 軸 - q 軸座標系の制御位相 θ_{dc} とを演算して出力する。

[0034] 電流指令演算部 111 は、位相・速度演算部 110 から出力される永久磁石同期電動機 103 a の回転速度の電気角周波数 ω_{re} と、平滑用コンデンサ 131 の電圧検出値 E_{cf} と、指令発生器 105 から出力されるトルク指

令 T_m^* とに基づいて、 $d-c-q$ 軸座標系上の電流指令値 I_{dc}^* および I_{qc}^* を演算して出力する。なお、電流指令値 I_{dc}^* および I_{qc}^* の演算は、例えば、トルク指令 T_m^* と、電圧検出値 E_{cf} と、インバータ周波数 ω_1 とに対して、最適な d 軸および q 軸の電流指令値を、予め試験や解析から求めた値を参照テーブル、関数式、近似式、設計式また、理論式として用いて求めればよい。

[0035] ベクトル制御部 112 は、 $d-q$ 座標変換部 114 が出力した $d-c-q$ 軸座標系上の電流検出値 I_{dc} および I_{qc} と、電流指令演算部 111 が出力した $d-c-q$ 軸座標系上の電流指令値 I_{dc}^* および I_{qc}^* とを一致させるべく、それぞれ電流制御を行う。この電流制御の結果と、永久磁石同期電動機 103a の回転速度の電気角周波数 ω_{re} とに基づいて、回転座標系である $d-c-q$ 軸上の電圧指令 V_{dc}^* および V_{qc}^* が演算され、出力される。

[0036] ベクトル制御部 112 において、 $d-c-q$ 軸上の電圧指令 V_{dc}^* および V_{qc}^* は、 $d-c-q$ 軸座標系上の電流指令値 I_{dc}^* および I_{qc}^* と、永久磁石同期電動機 103a の電気角周波数 ω_{re} と、電動機定数 R_1 、 L_d 、 L_q および K_e (逆起電力定数) とを用いて、例えば、以下の式 (1) にて演算されるものとする。

[数1]

$$\begin{cases} V_{dc}^* = R_1^* I_{dc}^* + \omega_{re} L_q^* I_{qc}^* \\ V_{qc}^* = R_1^* I_{qc}^* + \omega_{re} L_d^* I_{dc}^* + \omega_{re} K_e^* \end{cases} \quad \dots \quad \text{式 (1)}$$

なお、式 (1) において、 R_1^* 、 L_d^* 、 L_q^* および K_e^* は、それぞれ電動機定数の制御設定値を表している。

[0037] 電流検出部 113 は、相電流検出部 121 が検出した永久磁石同期電動機 103a に流れる交流電流 i_u および i_w から三相電流検出値 I_u 、 I_v および I_w を演算し、 $d-q$ 座標変換部 114 に出力する。

[0038] $d-q$ 座標変換部 114 は、電流検出部 113 が出力した三相電流検出値 I

u、 I_v および I_w を、回転位置検出部124が出力する永久磁石同期電動機103aの回転子位置に応じた角度信号 ϕ に基づいて位相・速度演算部110で演算した制御位相 θ_{dc} を用いて、 $dc-qc$ 軸座標系上の電流検出値 I_{dc} および I_{qc} に変換して出力する。

[0039] 極座標変換部115は、ベクトル制御部112が出力した $dc-qc$ 軸上の電圧指令 V_{dc}^* および V_{qc}^* に基づいて、電圧振幅指令 V_1^* および電圧位相指令 δ に変換して出力する。

[0040] UVW座標変換部116は、極座標変換部115が出力した電圧振幅指令 V_1^* および電圧位相指令 δ と、位相・速度演算部110が出力した制御位相 θ_{dc} とに基づいて三相交流電圧指令 V_u^* 、 V_v^* および V_w^* に変換し、PWM信号制御器117に出力する。

[0041] PWM制御器117は、任意のキャリア周波数 f_c と平滑用コンデンサ131の電圧検出値 E_{cf} とに基づいて三角波キャリアを生成し、その三角波キャリアと三相交流電圧指令 V_u^* 、 V_v^* および V_w^* に基づく変調波との大小比較を行い、パルス幅変調を実施する。このパルス幅変調の演算結果にて生成されたゲート指令信号によって、電力変換器102のスイッチング素子をオン／オフ制御する。

[0042] 次に、実施例1の特徴部分である位相・速度演算部110について詳しく説明する。

図3は、実施例1に係る位相・速度演算部110の構成例を表すブロック図である。

図3に示す位相・速度演算部110は、位相差演算部201、比例・積分制御部202、制御位相演算部203およびフィルタ処理部204を備える。

[0043] 位相・速度演算部110は、回転位置検出部124から出力される永久磁石同期電動機103aの回転子位置に応じた角度信号 ϕ に基づいて、ベクトル制御のための永久磁石同期電動機103aの電気角周波数 ω_{re} および $dc-qc$ 軸座標系の制御位相 θ_{dc} を演算して出力する。

[0044] 図4は、実施例1に係る位相差演算部201の構成例を表すブロック図である。

図4に示す位相差演算部201は、 $\pm\pi$ 処理部301、 $\pm\pi$ 処理部302および加減算器801を備える。

[0045] 位相差演算部201は、回転位置検出部124から出力される永久磁石同期電動機103aの回転子位置に応じた角度信号 ϕ と、制御位相演算部203から出力される制御位相 θ_{dc} とに基づいて、角度信号 ϕ と制御位相 θ_{dc} との位相差 $\Delta\theta_c'$ を演算して出力する。なお、本発明の各実施例では、回転位置検出部124から出力される永久磁石同期電動機103aの回転子位置に応じた角度信号 ϕ は、 $-\pi\sim+\pi$ (-180 度 $\sim+180$ 度)で変化する角度情報を有するものとする。

[0046] $\pm\pi$ 処理部301は、制御位相演算部203から出力される制御位相 θ_{dc} を、 $-\pi\sim+\pi$ の大きさに換算処理し、 $\pm\pi$ 処理部302は、角度信号 ϕ からこの換算処理した制御位相 θ_{dc} を減算した位相差 $\Delta\theta_c$ を、 $-\pi\sim+\pi$ の大きさに換算処理する。角度信号 ϕ と制御位相 θ_{dc} との位相差 $\Delta\theta_c$ を $\pm\pi$ 換算処理した $\Delta\theta_c'$ は、例えば、以下の式(2)にて演算されるものとする。

[数2]

$$\Delta\theta_c' = \tan^{-1} \frac{\sin \Delta\theta_c}{\cos \Delta\theta_c} \quad \dots \quad \text{式(2)}$$

[0047] 位相差演算部201から出力される、角度信号 ϕ と制御位相 θ_{dc} との位相差 $\Delta\theta_c'$ は、角度信号 ϕ と制御位相 θ_{dc} との位相差 $\Delta\theta_c$ を $-\pi\sim+\pi$ (-180 度 $\sim+180$ 度)の大きさに換算処理したものとする。

[0048] 図5は、実施例1に係る比例・積分制御部202の構成例を表すブロック図である。

図5に示す比例・積分制御部202は、比例器401、比例器402、積分器403および加算器802を備える。

[0049] 比例・積分制御部202は、角度信号 ϕ と制御位相 θ_{dc} との位相差 $\Delta\theta$

c'に基づいて、永久磁石同期電動機103aの電気角周波数 ω_{re} を演算して出力する。

[0050] ここで、永久磁石同期電動機103aの電気角周波数 ω_{re} は、角度信号 ϕ と制御位相 θ_{dc} との位相差 $\Delta\theta_c'$ を0に制御するため、比例演算結果と比例積分演算結果とを加算したものとする。ベクトル制御で用いる永久磁石同期電動機103aの電気角周波数 ω_{re} は、例えば、以下の式(3)にて演算される。

[数3]

$$\omega_{re} = K_{p-pll} \cdot \Delta\theta_c' + \frac{K_{i-pll}}{s} \cdot \Delta\theta_c' \quad \dots \quad \text{式(3)}$$

[0051] ここで、比例器401の比例ゲイン K_{p-pll} および比例器402の積分ゲイン K_{i-pll} は、例えば、以下の式(4)にて設定されるものとする。

[数4]

$$\begin{cases} K_{p-pll} = \omega_{pll}^* \\ K_{i-pll} = \frac{\omega_{pll}^{*2}}{N_{pll}} \end{cases} \quad \dots \quad \text{式(4)}$$

なお、式(4)において、 ω_{pll}^* は、位相フィードバック制御の制御応答角周波数、 N_{pll} は、比例・積分制御の折れ点比、である。ここで、比例・積分制御の折れ点比 N_{pll} は、例えば、2~10の任意の値を用いればよい。

[0052] なお、比例・積分制御部202の比例ゲイン K_{p-pll} および積分ゲイン K_{i-pll} は、定数でもよいし、電流指令値、電流検出値、速度またはベクトル演算周期などの関数式として演算したものを用いてもよい。

[0053] 図3に示す制御位相演算部203は、比例・積分制御部202が出力した永久磁石同期電動機103aの電気角周波数 ω_{re} に基づいて、ベクトル制御で用いるdc-qc軸座標系の制御位相 θ_{dc} を演算して出力する。ここで、制御位相 θ_{dc} は、電気角周波数 ω_{re} を積分演算したものとする。

[0054] 図3に示すフィルタ処理部204は、位相差演算部201が出力した位相差 $\Delta\theta c'$ と、比例・積分制御部202が出力した電気角周波数 ωre とに基づいて、フィルタ処理された位相差 $\Delta\theta c N'$ を演算して出力する。

[0055] フィルタ処理部204によってフィルタ処理された位相差 $\Delta\theta c N'$ とは、ベクトル制御で用いる永久磁石同期電動機103aの電気角周波数 ωre や、制御位相 θd に含まれる永久磁石同期電動機103aの電気角周波数 ωre に比例した周波数成分や角度誤差を低減するため、角度信号 ϕ と制御位相 θdc との位相差 $\Delta\theta c'$ をフィルタ処理したものとする。

[0056] ここで、フィルタ処理部204は、例えば、特定の周波数成分のみを低減し、それ以外の周波数成分を通過させるノッチフィルタ機能を有すればよい。なお、ノッチフィルタ処理は、例えば、以下の式(5)のノッチフィルタの伝達関数 $G_n(s)$ に基づくものとする。

[数5]

$$G_n(s) = \frac{s^2 + 2 Q_{min} \zeta_{dn} \omega_n s - \omega_n^2}{s^2 + 2 \zeta_{dn} \omega_n s + \omega_n^2} \quad \dots \quad \text{式(5)}$$

なお、式(5)において、 ω_n は、ノッチ周波数、 Q_{min} は、ノッチ周波数 ω_n におけるゲインの値となる減衰ゲイン、 ζ_{dn} は、ノッチ幅を決定するフィルタの極の減衰比である。

[0057] 実施例1では、回転位置検出部124から出力される角度信号 ϕ には、角度センサの直流オフセット誤差や振幅誤差に起因した角度誤差が含まれ、この角度誤差による交流電動機の駆動制御装置のトルク振動を抑制するために、永久磁石同期電動機103aの電気角周波数 ωre をノッチ周波数 ω_n とするノッチフィルタを用いる。

[0058] なお、実施例1では、ノッチフィルタ処理のノッチ周波数 ω_n として、比例・積分制御部202が出力した永久磁石同期電動機103aの電気角周波数 ωre を用いたが、これに限定されない。交流電動機を含む駆動制御装置の機械共振振動を抑制したい場合には、ノッチ周波数 ω_n として、この機械共振周波数を設定すればよい。

[0059] また、上記のように、実施例1のフィルタ処理部204をノッチフィルタ処理として説明したが、一次遅れフィルタ処理を用いてもよい。例えば、位相差演算部201が出力した位相差 $\Delta\theta_c'$ を、一次遅れフィルタ処理により位相差 $\Delta\theta_{cn}'$ として、比例・積分制御部202に出力してもよい。

ここで、一次遅れフィルタの時定数を、比例・積分制御部202が出力した電気角周波数 ω_{re} の逆数の2倍以上の値に設定することで、位相差 $\Delta\theta_c'$ から電気角周波数 ω_{re} に比例した振動成分を低減することができる。

[0060] 次に、実施例1の位相・速度演算部110を用いることによって、交流電動機の駆動制御装置のトルク振動を抑制する原理について説明する。

交流電動機の駆動周波数成分に比例した角度誤差が、角度センサの検出角度信号に含まれている場合、その検出角度信号が交流電動機の回転速度に比例した交流量であるため、直接的に、その検出角度信号に対して交流電動機の駆動周波数成分を低減するフィルタ処理をかけることができない。

[0061] そこで、実施例1では、交流電動機のベクトル制御に対して角度センサの検出角度信号を直接使用せず、角度センサの検出角度信号に同期した第二の検出角度として、ベクトル制御用の制御位相 θ_{dc} を用意する。その制御位相 θ_{dc} は、角度信号 ϕ と比較してフィードバック制御することで、交流電動機の加減速などの角度信号の変化に追従するようになる。

[0062] そして、角度センサの直流オフセット誤差や振幅誤差に起因した角度信号 ϕ の角度誤差は、角度信号 ϕ と制御位相 θ_{dc} との位相差 $\Delta\theta_c$ に交流電動機の駆動周波数成分に比例した周波数成分として現れるため、その位相差 $\Delta\theta_c$ をフィルタ処理することで角度誤差による振動成分を低減することができる。

[0063] また、位相フィードバック制御ループ内の位相差 $\Delta\theta_c$ にフィルタ処理を挿入し、永久磁石同期電動機103aの電気角周波数 ω_{re} の演算結果をフィルタ処理のノッチ周波数設定値にフィードバックすることで、角度誤差の振動周波数成分を低減する効果が向上する。

[0064] このように、位相・速度演算部110が出力する永久磁石同期電動機10

3 a の電気角周波数 ω_{re} および制御位相 θ_{dc} の演算結果は、角度センサの直流オフセット誤差や振幅誤差に起因した角度誤差の振動成分を低減したものになるため、それらを用いたベクトル制御系の振動が抑えられ、トルク振動や速度振動の発生を抑制することができる。

[0065] 以上、実施例 1 によれば、角度センサの検出角度とベクトル制御の制御位相との差分に振動成分を減衰するフィルタを通過させ、そのフィルタ出力値に基づき交流電動機の回転速度の電気角周波数および制御位相を演算する位相フィードバック制御系を構築する。これにより、角度センサ検出値の角度誤差による交流電動機のトルク振動を抑制し、交流電動機の駆動制御装置の制御安定性の向上を図ることができる。

実施例 2

[0066] 実施例 2 では、位相・速度演算部 110 による交流電動機の回転速度の電気角周波数 ω_{re} およびベクトル制御を行う $dc-qc$ 軸座標系の制御位相 θ_{dc} の演算において、回転位置検出部 124 から出力される交流電動機 103 の回転子位置に応じた角度信号 ϕ と、制御位相演算部 203 から出力される制御位相 θ_{dc} との位相差 $\Delta\theta_c'$ に対して、一次遅れフィルタを用いたフィードフォワード (FF) 補償処理を追加する。

[0067] これにより、交流電動機 103 の回転速度が加速または減速するときに生じる角度信号 ϕ と制御位相 θ_{dc} との位相差を補償することができ、実施例 1 よりも制御追従性の向上やトルク精度の向上が可能な交流電動機の駆動制御装置が実現できる。

[0068] 図 6 は、本発明の実施例 2 に係る交流電動機の駆動制御装置の構成例を表すブロック図である。以下、図 1 に示す実施例 1 と比較して、構成の相違部分のみを説明する。実施例 2 では、実施例 1 の位相・速度演算部 110 に替えて、位相・速度演算部 110 b を用いる。

[0069] 図 7 は、実施例 2 に係る位相・速度演算部 110 b の構成例を表すブロック図である。

図 7 に示す位相・速度演算部 110 b は、位相差演算部 201 b、比例・

積分制御部 202、制御位相演算部 203 およびフィルタ処理部 204 を備える。すなわち、図 3 に示す実施例 1 の位相・速度演算部 110 の構成において、位相差演算部 201 を位相差演算部 201b に置き換えたものである。

[0070] 位相・速度演算部 110b は、回転位置検出部 124 から出力される永久磁石同期電動機 103a の回転子位置に応じた角度信号 ϕ に基づいて、ベクトル制御のための永久磁石同期電動機 103a の電気角周波数 ω_{re} および $d-c$ 軸座標系の制御位相 θ_{dc} を演算して出力する。

[0071] ここで、図 7 に示す位相差演算部 201b の構成について詳しく説明する。

図 8 は、実施例 2 に係る位相差演算部 201b の構成例を表すブロック図である。

図 8 に示す位相差演算部 201b は、 $\pm\pi$ 処理部 301、 $\pm\pi$ 処理部 302、加減算器 801 および位相差 FF 補償部 303b を備える。

[0072] 位相差演算部 201b は、回転位置検出部 124 から出力される永久磁石同期電動機 103a の回転子位置に応じた角度信号 ϕ と、制御位相演算部 203 から出力される制御位相 θ_{dc} とに基づいて、角度信号 ϕ と制御位相 θ_{dc} の位相差 $\Delta\theta_{c-ff'}$ を演算して出力する。

[0073] 次に、実施例 2 の特徴部分である位相差 FF 補償部 303b について詳しく説明する。

図 9 は、実施例 2 に係る位相差 FF 補償部 303b の構成例を表すブロック図である。

図 9 に示す位相差 FF 補償部 303b は、一次遅れフィルタ部 501b、比例器 502b および加算器 802 を備える。

[0074] 位相差 FF 補償部 303b は、 $\pm\pi$ 処理部 302 から出力される位相差 $\Delta\theta_{c'}$ に基づいて、永久磁石同期電動機 103a の回転速度の加速または減速による角度信号 ϕ と制御位相 θ_{dc} との位相差を補償した位相差 $\Delta\theta_{c-ff'}$ を演算して出力する。

[0075] 位相差FF補償部303bにおいて、図7に示すフィルタ処理部204の入力信号である位相差 $\Delta\theta_{c-ff}'$ は、図8に示す $\pm\pi$ 処理部302から出力される、角度信号 ϕ と制御位相 θ_{dc} との位相差 $\Delta\theta_c'$ に対して、位相差 $\Delta\theta_{c-ff}'$ を一次遅れフィルタ部501で一次遅れフィルタ処理し続いて比例器502bで比例演算した結果を加算器802で加算したものとす。例えば、以下の式(6)にて演算される。

[数6]

$$\Delta\theta'_{c-ff} = \Delta\theta'_c + \frac{K_{pl-ff}}{1 + T_{pl-ff}s} \cdot \Delta\theta'_{c-ff} \quad \dots \quad \text{式(6)}$$

[0076] ここで、一次遅れフィルタ部501bの一次遅れフィルタ時定数 T_{pl-ff} および比例器502bの比例ゲイン K_{pl-ff} は、例えば、以下の式(7)にて設定されるものとする。

[数7]

$$\begin{cases} 0 < K_{pl-ff} \leq 1 \\ T_{pl-ff} = \frac{N_{pl-ff}}{\omega_{pl}^*} \end{cases} \quad \dots \quad \text{式(7)}$$

なお、式(7)において、 ω_{pl}^* は、位相フィードバック制御の制御応答角周波数、 N_{pl-ff} は、位相差FF補償制御の折れ点比である。位相差FF補償制御の折れ点比 N_{pl-ff} は、位相フィードバック制御との制御干渉を回避するため、例えば、2~10の任意の値を設定すればよい。

[0077] また、交流電動機103の回転速度が加速または減速するときに生じる角度信号 ϕ と制御位相 θ_{dc} との位相差を補償する手段として、位相差FF補償部303bに替えて、比例・積分制御部202において比例演算と積分演算に、さらに二重積分演算を追加することで実現してもよい。例えば、以下の式(8)にて演算されるものとする。

[数8]

$$\omega_{re} = K_{p-pl} \cdot \Delta\theta'_c + \frac{K_{i-pl}}{s} \cdot \Delta\theta'_c + \frac{K_{i2-pl}}{s^2} \cdot \Delta\theta'_c \quad \dots \quad \text{式(8)}$$

ここで、二重積分ゲイン K_{i2-p11} は、例えば、位相フィードバック制御の制御応答角周波数 ω_{p11} に基づいて決定した値を設定すればよい。

[0078] したがって、実施例2では、回転位置検出部124の角度信号 ϕ とベクトル制御を行う制御位相 θ_{dc} との位相差 $\Delta\theta_{c'}$ に一次遅れフィルタを用いた位相FF補償値を加算することで、交流電動機の回転速度が加速または減速するとき生じる角度信号 ϕ と制御位相 θ_{dc} との位相差を補償することができる。これにより、実施例1よりも交流電動機の駆動制御装置の制御追従性やトルク精度の向上を図ることができる。

実施例 3

[0079] 実施例3では、位相・速度演算部110による交流電動機の回転速度の電気角周波数 ω_{re} およびベクトル制御を行う $dc-qc$ 軸座標系の制御位相 θ_{dc} の演算において、回転位置検出部124から出力される角度信号 ϕ とベクトル制御で用いる制御位相 θ_{dc} との位相差 $\Delta\theta_{c'}$ と、この位相差 $\Delta\theta_{c'}$ を電気角周波数 ω_{re} に比例した周波数成分や角度誤差を低減するためにフィルタ処理した位相差 $\Delta\theta_{cN'}$ とを、交流電動機の回転速度の電気角周波数 ω_{re} に応じて切り替える。

[0080] これにより、電気角周波数 ω_{re} に基づくフィルタ処理周波数と位相フィードバック制御の制御応答角周波数が近づくことで制御が不安定化する現象を回避し、実施例1よりも制御安定性の向上が可能な交流電動機の駆動制御装置が実現できる。

[0081] 図10は、本発明の実施例3に係る交流電動機の駆動制御装置の構成例を表すブロック図である。図1に示す実施例1と比較して、構成の相違部分のみを説明する。実施例3では、実施例1の位相・速度演算部110に替えて、位相・速度演算部110cを用いる。

[0082] 図11は、実施例3に係る位相・速度演算部110cの構成例を表すブロック図である。

図11に示す位相・速度演算部110cは、位相差演算部201、比例・

積分制御部202、制御位相演算部203、フィルタ処理部204および位相差切換部601cを備える。すなわち、図3に示す実施例1の位相・速度演算部110の構成に、位相差切換部601cを加えたものである。

[0083] 位相・速度演算部110cは、回転位置検出部124から出力される永久磁石同期電動機103aの回転子位置に応じた角度信号 ϕ に基づいて、ベクトル制御のための永久磁石同期電動機103aの電気角周波数 ω_{re} およびdc-qc軸座標系の制御位相 θ_{dc} を演算して出力する。

[0084] 次に、実施例3の特徴部分である位相差切換部601cについて詳しく説明する。

位相差切換部601cは、位相差演算部201から出力される位相差 $\Delta\theta_c'$ と、その位相差 $\Delta\theta_c'$ をフィルタ処理部204で電気角周波数 ω_{re} に比例した周波数成分を低減した位相差 $\Delta\theta_{cN}'$ と、を電気角周波数 ω_{re} に応じて切り換えて比例・積分制御部202に出力する。

[0085] 位相差切換部601cは、例えば、フィルタ処理部204が電気角周波数 ω_{re} をノッチ周波数 ω_n とするノッチフィルタ処理を行う際、電気角周波数 ω_{re} が比例・積分制御部202の制御応答角周波数 ω_{pll*} に近い場合には、位相差演算部201から出力される位相差 $\Delta\theta_c'$ を出力し、電気角周波数 ω_{re} が比例・積分制御部202の制御応答角周波数 ω_{pll*} から離れている場合には、フィルタ処理部204から出力されるフィルタ処理された位相差 $\Delta\theta_{cN}'$ を出力するよう切り換える。これにより、制御干渉による不安定化を回避することができる。

[0086] より具体的には、位相差切換部601cの切換え速度の条件は、例えば、電気角周波数 ω_{re} が比例・積分制御部202の制御応答角周波数 ω_{pll*} の3倍以上大きい速度域で、フィルタ処理部204から出力されるフィルタ処理された位相差 $\Delta\theta_{cN}'$ を出力するような切換え設定にするとよい。

[0087] また、交流電動機の駆動制御装置において、振動が問題となる振動周波数が位相フィードバック制御の制御応答角周波数に近い場合には、制御応答角周波数の設定値をこの問題となる振動周波数からずらすことで、振動を抑制

する効果を得られるようにすればよい。

[0088] したがって、実施例3では、位相差演算部201から出力される位相差 $\Delta\theta_{c'}$ と、その位相差 $\Delta\theta_{c'}$ をフィルタ処理した位相差 $\Delta\theta_{cN'}$ と、を電気角周波数 ω_{re} に応じて切り換えて位相フィードバック制御の比例・積分制御部202に出力することで、電気角周波数 ω_{re} に基づくフィルタ処理周波数と位相フィードバック制御の制御応答角周波数が近いことで制御が不安定化するのを回避できる。これにより、実施例1よりも交流電動機の駆動制御装置の制御安定性の向上を図ることができる。

実施例 4

[0089] 実施例4は、位相・速度演算部110による交流電動機の回転速度の電気角周波数 ω_{re} およびベクトル制御を行う $d-c-q-c$ 軸座標系の制御位相 θ_{dc} の演算において、回転位置検出部124から出力される角度信号 ϕ とベクトル制御で用いる制御位相 θ_{dc} との位相差 $\Delta\theta_{c'}$ をフィルタ処理するフィルタ周波数設定値を、 $d-c-q-c$ 軸座標系上の電流検出値 I_{dc} および I_{qc} から抽出した振動成分に基づいて決定する。

[0090] これにより、交流電動機の駆動制御装置で発生した振動成分を抑制できるようになり、実施例1よりも振動抑制効果の向上が可能な交流電動機の駆動制御装置が実現できる。

[0091] 図12は、本発明の実施例4に係る交流電動機の駆動制御装置の構成例を表すブロック図である。図1に示した実施例1と比較して、構成の相違部分のみを説明する。実施例4では、実施例1の位相・速度演算部110に替えて、位相・速度演算部110dを用いる。

[0092] 図13は、実施例4に係る位相・速度演算部110dの構成例を表すブロック図である。

図13に示す位相・速度演算部110dは、位相差演算部201、比例・積分制御部202、制御位相演算部203、フィルタ処理部204および振動周波数抽出部701dを備える。すなわち、図3に示す実施例1の位相・速度演算部110の構成に、振動周波数抽出部701dを加えたものである。

。また、この振動周波数抽出部701dによる機能をフィルタ処理部204に組み込んでもよい。

[0093] 位相・速度演算部110dは、回転位置検出部124から出力される永久磁石同期電動機103aの回転子位置に応じた角度信号 ϕ と、dq座標変換部114から出力されるdc-qc軸座標系上の電流検出値 I_{dc} および I_{qc} に基づいて、ベクトル制御のための永久磁石同期電動機103aの電気角周波数 ω_{re} およびdc-qc軸座標系の制御位相 θ_{dc} を演算して出力する。

[0094] 次に、実施例4の特徴部分である振動周波数抽出部701dについて詳しく説明する。

振動周波数抽出部701dは、dq座標変換部114から出力されるdc-qc軸座標系上の電流検出値 I_{dc} および I_{qc} の少なくとも一方から振動成分を抽出し、その振動成分が減衰するように、フィルタ処理部204のノッチフィルタ周波数 ω_n の設定値を決定して出力する。

[0095] 例えば、dc-qc軸座標系上の電流検出値 I_{dc} および I_{qc} から振動成分を抽出し、その振動成分の中で最も振幅が大きい振動成分の振動周波数を、フィルタ処理部204のノッチフィルタ周波数 ω_n の設定値とすればよい。この場合、ノッチフィルタ周波数 ω_n は、電流検出値 I_{dc} および I_{qc} の少なくとも一方から抽出した振動成分の振幅が小さくなるように、設定値が遷移していくことになる。その際、最も振幅が大きい振動周波数が複数存在する場合には、ノッチフィルタ周波数 ω_n の設定値の遷移条件に、各振動周波数の振幅の差に対するヒステリシスを設けて、または、各振動周波数の振幅を二乗しその総和が最小となるようにして、ノッチフィルタ周波数 ω_n の設定値を決定する条件を追加すればよい。

[0096] また、振動周波数抽出部701dは、フィルタ処理部204のノッチフィルタ周波数 ω_n を比例・積分制御部202が出力する電気角周波数 ω_{re} を基本として、そこにdc-qc軸座標系上の電流検出値 I_{dc} および I_{qc} から抽出した振動成分が減衰するようにノッチフィルタ周波数 ω_n の設定値

を補正する構成としてもよい。

[0097] したがって、実施例4では、 $d-c$ 軸座標系上の電流検出値 i_{dc} および i_{qc} の少なくとも一方から抽出した振動成分に基づいて、回転位置検出部124の角度信号 ϕ とベクトル制御を行う制御位相 θ_{dc} の位相差 $\Delta\theta_{c'}$ をフィルタ処理するフィルタ周波数を決定する。これにより、交流電動機の駆動制御装置で発生した振動成分に応じた振動抑制制御を実現できるようになり、実施例1よりも交流電動機の駆動制御装置の振動抑制効果の向上を図ることができる。

実施例 5

[0098] 実施例5では、位相・速度演算部110による交流電動機の回転速度の電気角周波数 ω_{re} およびベクトル制御を行う $d-c$ 軸座標系の制御位相 θ_{dc} の演算において、回転位置検出部124から出力される角度信号 ϕ とベクトル制御で用いる制御位相 θ_{dc} との位相差 $\Delta\theta_{c'}$ をフィルタ処理するフィルタ処理部204のノッチ周波数 ω_n 、ノッチ周波数 ω_n においてゲインの値となる減衰ゲイン Q_{min} およびノッチの幅を決定するフィルタの極の減衰比 ζ_{dn} を、交流電動機の駆動制御装置の運転状態に応じて可変にする。

[0099] これにより、制御ループのハイゲイン化による制御の不安定化を回避し、実施例1よりも制御安定性や振動抑制効果の向上が可能な交流電動機の駆動制御装置が実現できる。

[0100] 図14は、本発明の実施例5に係る交流電動機の駆動制御装置の構成例を表すブロック図である。図1に示す実施例1と比較して、構成の相違部分のみを示すと、実施例5では、実施例1の位相・速度演算部110に替えて、位相・速度演算部110eを用いる。

[0101] 図15は、実施例5に係る位相・速度演算部110eの構成例を表すブロック図である。

図15に示す位相・速度演算部110eは、位相差演算部201、比例・積分制御部202、制御位相演算部203、フィルタ処理部204およびフ

フィルタ設定パラメータ演算部901eを備える。すなわち、図3に示す実施例1の位相・速度演算部110の構成に、フィルタ設定パラメータ演算部901eを加えたものである。また、このフィルタ設定パラメータ演算部901eによる機能をフィルタ処理部204に組み込んでもよい。

[0102] 位相・速度演算部110eは、回転位置検出部124から出力される永久磁石同期電動機103aの回転子位置に応じた角度信号 ϕ と、dq座標変換部114から出力されるdc-qc軸座標系上の電流検出値 I_{dc} および I_{qc} と、指令発生器105から出力されるトルク指令 T_m^* とに基づいて、ベクトル制御のための永久磁石同期電動機103aの電気角周波数 ω_{re} およびdc-qc軸座標系の制御位相 θ_{dc} を演算して出力する。

[0103] 次に、実施例5の特徴部分であるフィルタ設定パラメータ演算部901eについて詳しく説明する。

フィルタ設定パラメータ演算部901eは、例えば、永久磁石同期電動機103aの電動機定数と、永久磁石同期電動機103aの電気角周波数 ω_{re} と、dc-qc軸座標系上の電流検出値 I_{dc} および I_{qc} とから、永久磁石同期電動機103aの電圧入力から電流出力までの伝達特性を導出し、その伝達特性の共振ゲインに基づいてノッチフィルタの減衰ゲイン Q_{min} を演算する。なお、dc-qc軸座標系上の電流検出値 I_{dc} および I_{qc} に替えて、指令発生器105から出力されるトルク指令 T_m^* を用いてもよい。

[0104] 制御対象となる交流電動機の共振ゲインの大きさに応じてノッチフィルタの減衰ゲイン Q_{min} を可変にすることで、角度センサの直流オフセット誤差や振幅誤差に起因した角度誤差の ω_{re} 振動成分を、運転状態に依らず任意の大きさに抑制することができる。

[0105] また、高速域では永久磁石同期電動機103aの共振ゲインは変わらないが、周波数帯域が狭まってくるため、電気角周波数 ω_{re} に応じてノッチフィルタの減衰比 d_n を増減することで、角度センサの直流オフセット誤差や振幅誤差に起因した角度誤差の ω_{re} 振動成分を抑制する効果が向上する

- 。
- [0106] なお、フィルタ設定パラメータ演算部901eは、単に、永久磁石同期電動機103aの電気角周波数 ω_{re} や、dc-qc軸座標系上の電流検出値 I_{dc} および I_{qc} や、指令発生器105から出力されるトルク指令 T_m^* 、の少なくとも一つに基づいてノッチフィルタの減衰ゲイン Q_{min} を可変にしてもよい。
- [0107] さらに、フィルタ設定パラメータ演算部901eは、例えば、フィルタ処理部204やベクトル制御部112をはじめとする制御器101の演算周期および永久磁石同期電動機103aの電気角周波数 ω_{re} に基づいて、ノッチフィルタの減衰ゲイン Q_{min} を演算する。特に、高速域でフィルタ処理部204やベクトル制御部112の演算遅れの影響が大きくなる場合、ノッチフィルタの減衰ゲイン Q_{min} を上げたままでは制御系が不安定化するため、減衰ゲイン Q_{min} を下げる必要がある。
- [0108] また、フィルタ設定パラメータ演算部901eは、実施例3の変形例として、永久磁石同期電動機103aの電気角周波数 ω_{re} および比例・積分制御部202の制御応答角周波数 ω_{pll}^* に応じてノッチフィルタの減衰ゲイン Q_{min} を可変にすることで、制御干渉による不安定化を回避することができる。
- [0109] 例えば、電気角周波数 ω_{re} が比例・積分制御部202の制御応答角周波数 ω_{pll}^* に近い場合には、ノッチフィルタの減衰ゲイン Q_{min} を零にし、電気角周波数 ω_{re} が比例・積分制御部202の制御応答角周波数 ω_{pll}^* から離れている場合には、減衰ゲイン Q_{min} を零以外の任意の値に変更すればよい。
- [0110] したがって、実施例5では、交流電動機の運転状態に応じて、フィルタ処理部204のノッチフィルタの設定パラメータであるノッチ周波数 ω_n 、減衰ゲイン Q_{min} および減衰比 ζ_{dn} を変更する。これにより、ノッチフィルタによる ω_{re} 振動成分の低減効果の最適化や制御ループのハイゲイン化による制御の不安定化を回避し、実施例1よりも制御安定性や振動抑制効果

の向上が可能な交流電動機の駆動制御装置が実現できる。

実施例 6

[0111] 本発明の実施例 6 は、実施例 1～5 のいずれかを用いた交流電動機の駆動制御装置を鉄道車両に適用したものである。

[0112] 図 1 6 は、本発明の実施例 6 として、実施例 1～5 のいずれかを用いた交流電動機の駆動制御装置を搭載する鉄道車両の一部の概略構成を表す図である。

[0113] 図 1 6 に示す鉄道車両は、交流電動機 1 0 3 a および 1 0 3 b が搭載された台車、並びに、交流電動機 1 0 3 c および 1 0 3 d が搭載された台車を有すると共に、制御器 1 0 1、電力変換器 1 0 2、指令発生器 1 0 5 および相電流検出部 1 2 1 を含む交流電動機の駆動制御装置を搭載している。

[0114] 実施例 6 に係る鉄道車両は、運転士によりマスター・コントローラを介して入力された運転指令に基づき指令発生器 1 0 5 が発生したトルク指令値 T_{m*} に応じて、架線から集電装置を介して供給された電力を電力変換器 1 0 2 で交流電力に変換し交流電動機 1 0 3 に供給されることで交流電動機 1 0 3 を駆動する。交流電動機 1 0 3 は、鉄道車両の車軸と連結されており、交流電動機 1 0 3 により鉄道車両の走行が制御される。

[0115] 実施例 6 に係る鉄道車両では、交流電動機の駆動制御装置として実施例 1～5 のいずれかを適用することで、制御安定性および制御応答の向上を図ることができる。

[0116] 以上、本発明の各実施例について説明したが、交流電動機であれば、他の電動機であっても同様に適用することが可能である。例えば、永久磁石同期電動機、巻線型同期電動機およびリラクタンストルクによる同期機も同様である。また、発電機の制御に対しても同様に適用可能である。さらに、本発明は、上述した各実施例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

[0117] 1 0 1 制御器、1 0 2 電力変換器、1 0 3 交流電動機、1 0 5 指令

発生器、110 位相・速度演算部、111 電流指令演算部、112 ベクトル制御部、113 電流検出部、114 d q座標変換部、115 極座標変換部、116 UVW座標変換部、117 PWM信号制御器、121 相電流検出部、123 入力端子、124 回転位置検出部、131 平滑用コンデンサ、132 主回路部、133 ゲート・ドライバ、134 直流抵抗器、201 位相差演算部、202 比例・積分制御部、203 制御位相演算部、204 フィルタ処理部、301, 302 $\pm\pi$ 処理部、303b 位相差FF補償部、401, 402, 502b 比例器、403 積分器、501b 一次遅れフィルタ部、601c 位相差切換部、701d 振動周波数抽出部、801 加減算器、802 加算器、901e フィルタ設定パラメータ演算部

請求の範囲

- [請求項1] ベクトル制御を用いて電力変換器により駆動される交流電動機の駆動制御装置であって、
- 前記交流電動機の回転位置情報と前記ベクトル制御を行う際に用いる制御位相との位相差を演算して第1の位相差を出力する位相差演算部と、
- 前記第1の位相差から特定の周波数成分をフィルタ処理により減衰した第2の位相差を出力するフィルタ部と、
- 前記第2の位相差に基づいて前記交流電動機の回転速度および前記制御位相を演算する速度および位相演算部と
- を備える交流電動機の駆動制御装置。
- [請求項2] 請求項1に記載の交流電動機の駆動制御装置であって、
- 前記フィルタ部は、ノッチフィルタ処理を行い、ノッチ周波数、当該ノッチ周波数における減衰ゲインおよびノッチ幅に関する減衰比、に基づいて、前記特定の周波数成分を減衰することを特徴とする交流電動機の駆動制御装置。
- [請求項3] 請求項2に記載の交流電動機の駆動制御装置において、
- 前記フィルタ部は、前記ノッチ周波数を前記交流電動機の回転速度に基づいて設定することを特徴とする交流電動機の駆動制御装置。
- [請求項4] 請求項2に記載の交流電動機の駆動制御装置において、
- 前記フィルタ部は、前記ノッチ周波数を前記交流電動機を含む前記駆動制御装置の機械共振周波数に基づいて設定することを特徴とする交流電動機の駆動制御装置。
- [請求項5] 請求項1に記載の交流電動機の駆動制御装置であって、
- 前記フィルタ部は、一次遅れフィルタ処理を行うことを特徴とする交流電動機の駆動制御装置。
- [請求項6] 請求項5に記載の交流電動機の駆動制御装置であって、

前記フィルタ部は、前記一次遅れフィルタ処理の時定数を、前記交流電動機の回転速度に基づいて変更することを特徴とする交流電動機の駆動制御装置。

[請求項7] 請求項1から6のいずれか1項に記載の交流電動機の駆動制御装置であって、

前記位相差演算部は、前記回転位置情報と前記制御位相との位相差を演算し更にフィードフォワード補償した当該位相差を前記第1の位相差として出力することを特徴とする交流電動機の駆動制御装置。

[請求項8] 請求項1から6のいずれか1項に記載の交流電動機の駆動制御装置であって、

前記交流電動機の回転速度に応じて前記第1の位相差または前記第2の位相差を切り換える位相差切換え部を備え、

前記速度および位相演算部は、前記第1の位相差または前記第2の位相差に基づいて前記交流電動機の回転速度および前記制御位相を演算することを特徴とする交流電動機の駆動制御装置。

[請求項9] 請求項2から4のいずれか1項に記載の交流電動機の駆動制御装置であって、

前記フィルタ部は、前記交流電動機を流れる2軸電流の少なくとも一つの軸電流の振動成分の周波数に基づいて、前記ノッチ周波数を設定することを特徴とする交流電動機の駆動制御装置。

[請求項10] 請求項2から4のいずれか1項に記載の交流電動機の駆動制御装置であって、

前記フィルタ部は、前記交流電動機の回転速度、前記交流電動機のトルク指令、前記交流電動機の検出電流および前記駆動制御装置の演算周期の少なくとも一つに基づいて、前記減衰ゲインを設定する

ことを特徴とする交流電動機の駆動制御装置。

[請求項11] 請求項1から10のいずれか1項に記載の交流電動機の駆動制御装置を搭載する鉄道車両。

[請求項12] 電力変換装置により駆動される交流電動機をベクトル制御する交流電動機の駆動制御方法であって、

前記交流電動機の回転位置情報と前記ベクトル制御する際に用いる制御位相との位相差を演算して第1の位相差を出力し、

前記第1の位相差から特定の周波数成分をフィルタ処理して減衰させた第2の位相差を出力し、

前記第2の位相差に基づいて前記交流電動機の回転速度および前記制御位相を演算する

ことを特徴とする交流電動機の駆動制御方法。

[請求項13] 請求項12に記載の交流電動機の駆動制御方法であって、

前記フィルタ処理は、ノッチフィルタ処理であり、ノッチ周波数、当該ノッチ周波数における減衰ゲインおよびノッチ幅に関する減衰比、に基づいて、前記特定の周波数成分を減衰させる

ことを特徴とする交流電動機の駆動制御方法。

[請求項14] 請求項12に記載の交流電動機の駆動制御方法であって、

前記フィルタ処理は、一次遅れフィルタ処理であり、当該一次遅れフィルタ処理の時定数を、前記交流電動機の回転速度に基づいて変更する

ことを特徴とする交流電動機の駆動制御方法。

[請求項15] 請求項12から14のいずれか1項に記載の交流電動機の駆動制御方法であって、

前記第1の位相差を、前記回転位置情報と前記制御位相との位相差を演算し更にフィードフォワード補償して出力する

ことを特徴とする交流電動機の駆動制御方法。

[請求項16] 請求項12から14のいずれか1項に記載の交流電動機の駆動制御

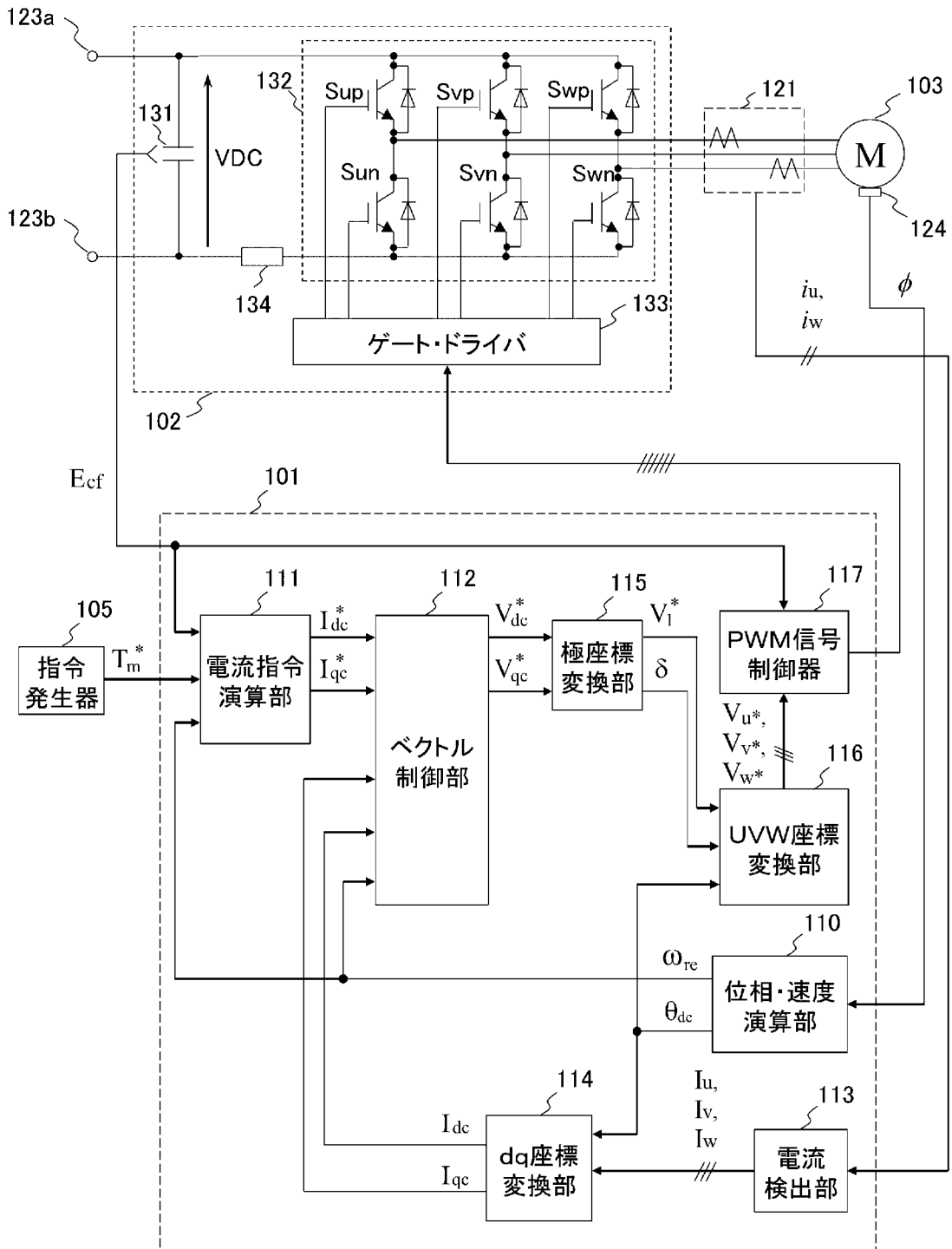
方法であって、

前記交流電動機の回転速度に応じて前記第 1 の位相差または前記第 2 の位相差を切り換え、

前記第 1 の位相差または前記第 2 の位相差に基づいて前記交流電動機の回転速度および前記制御位相を演算することを特徴とする交流電動機の駆動制御方法。

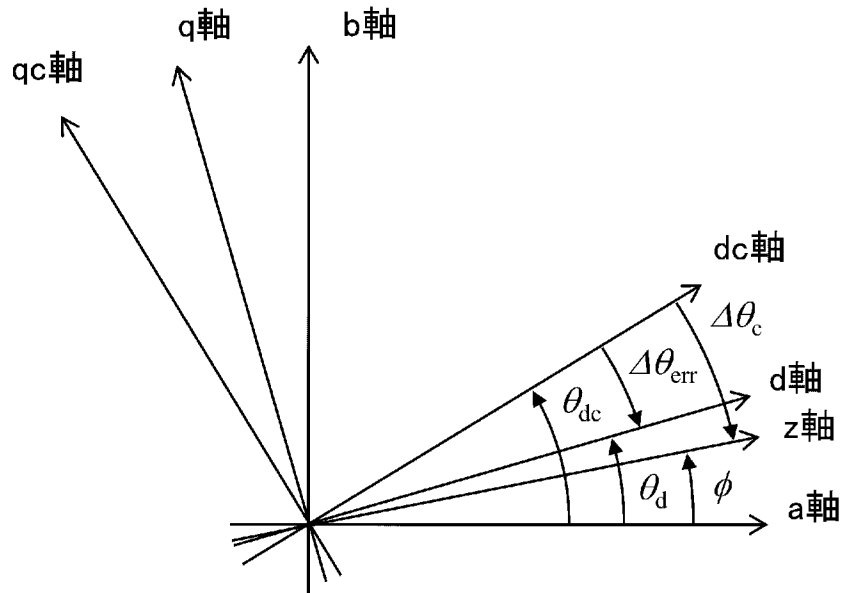
[図1]

図1



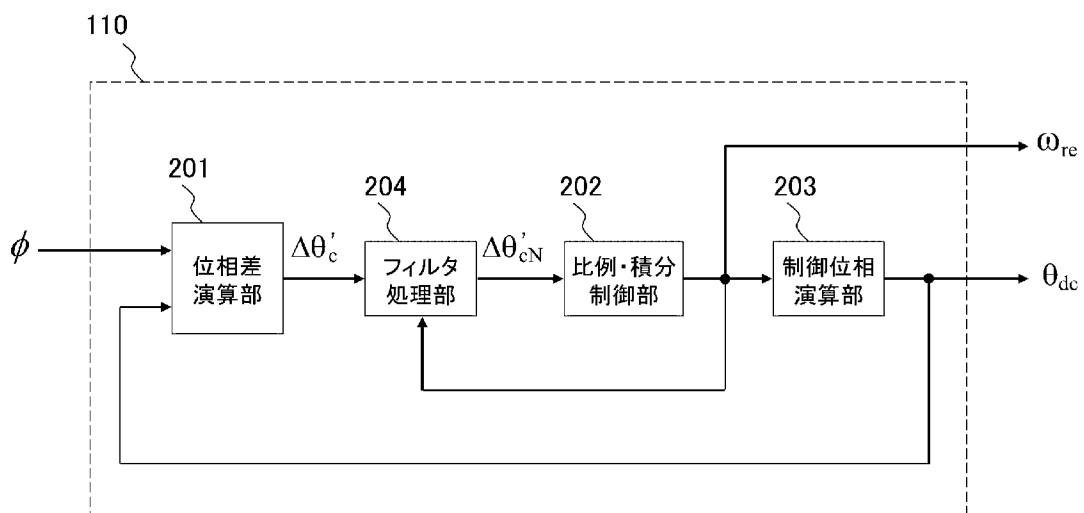
[図2]

図2



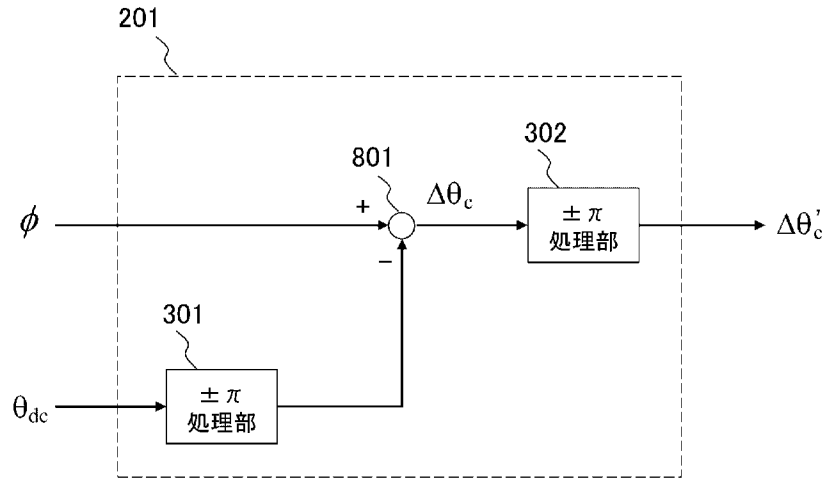
[図3]

図3



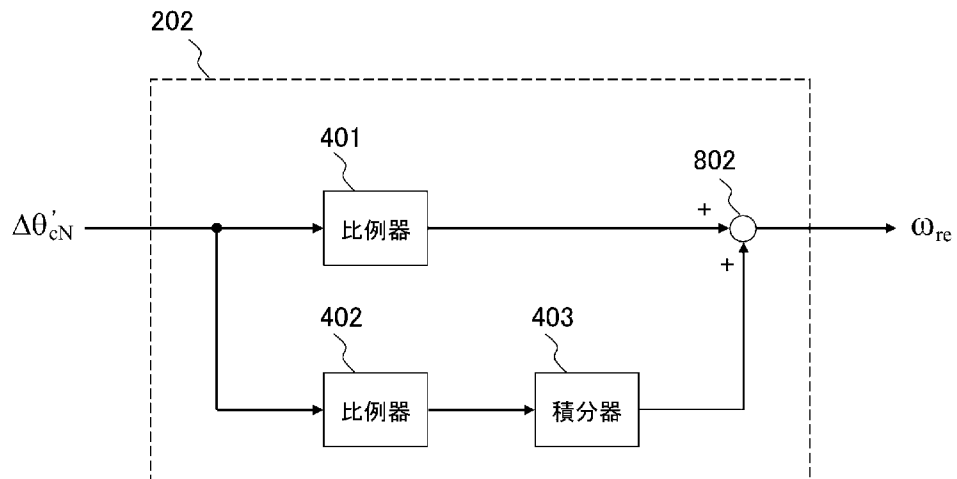
[図4]

図4



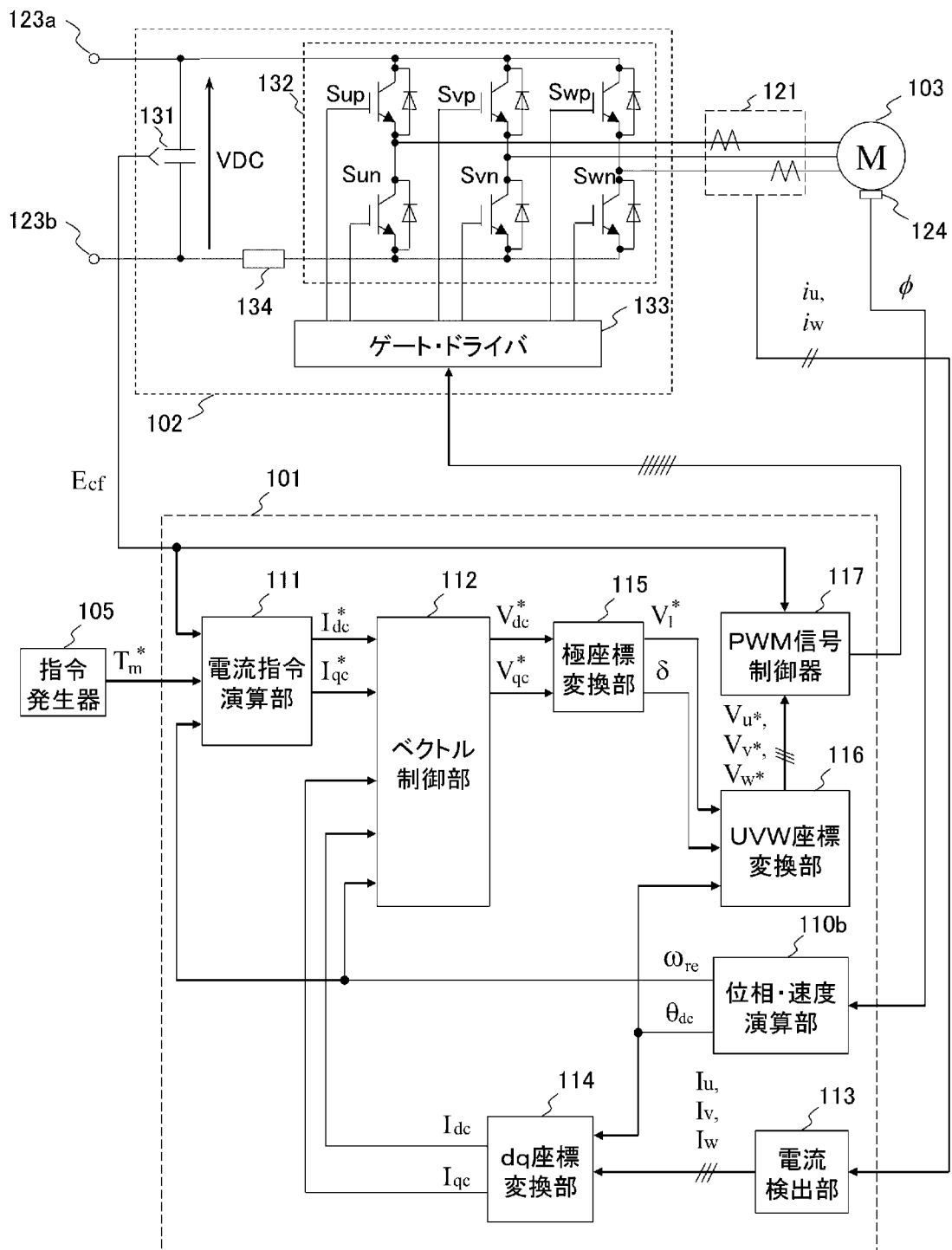
[図5]

図5



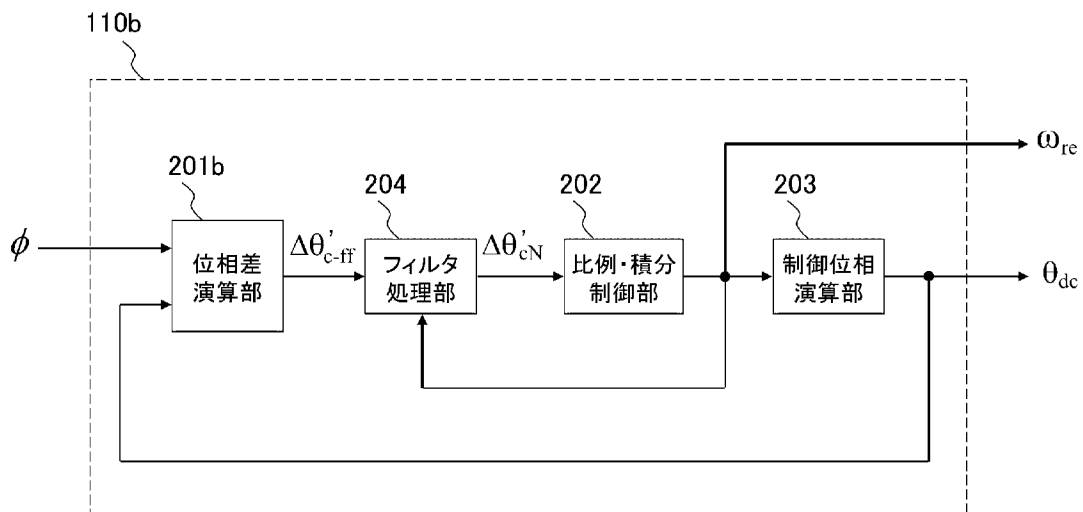
[図6]

図6



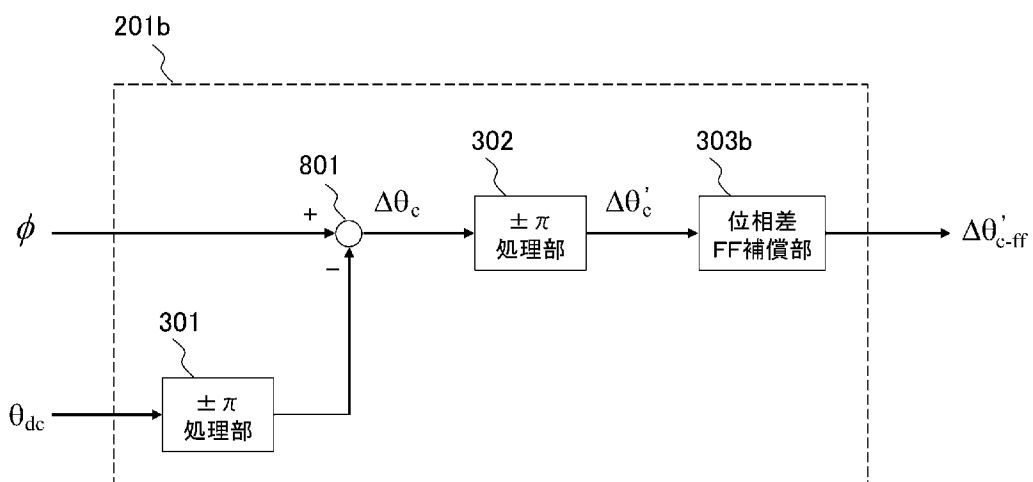
[図7]

図7



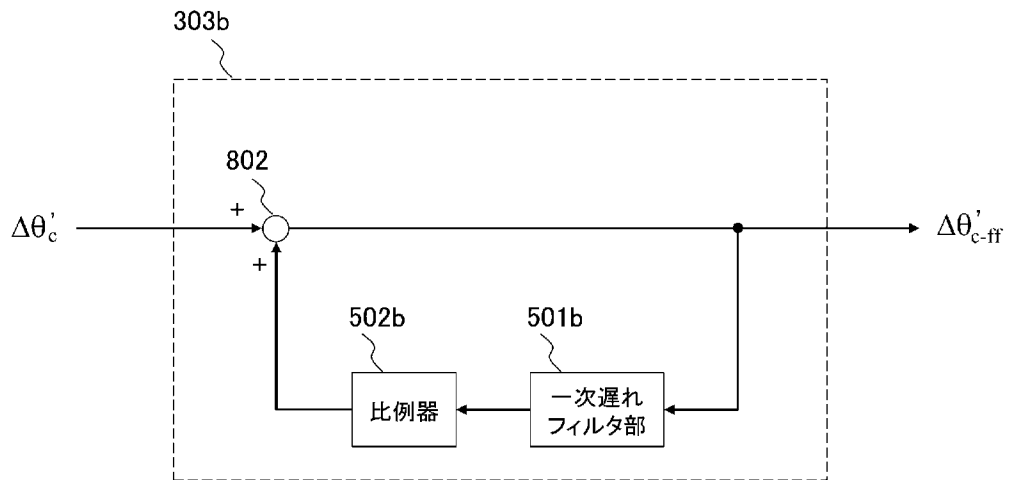
[図8]

図8



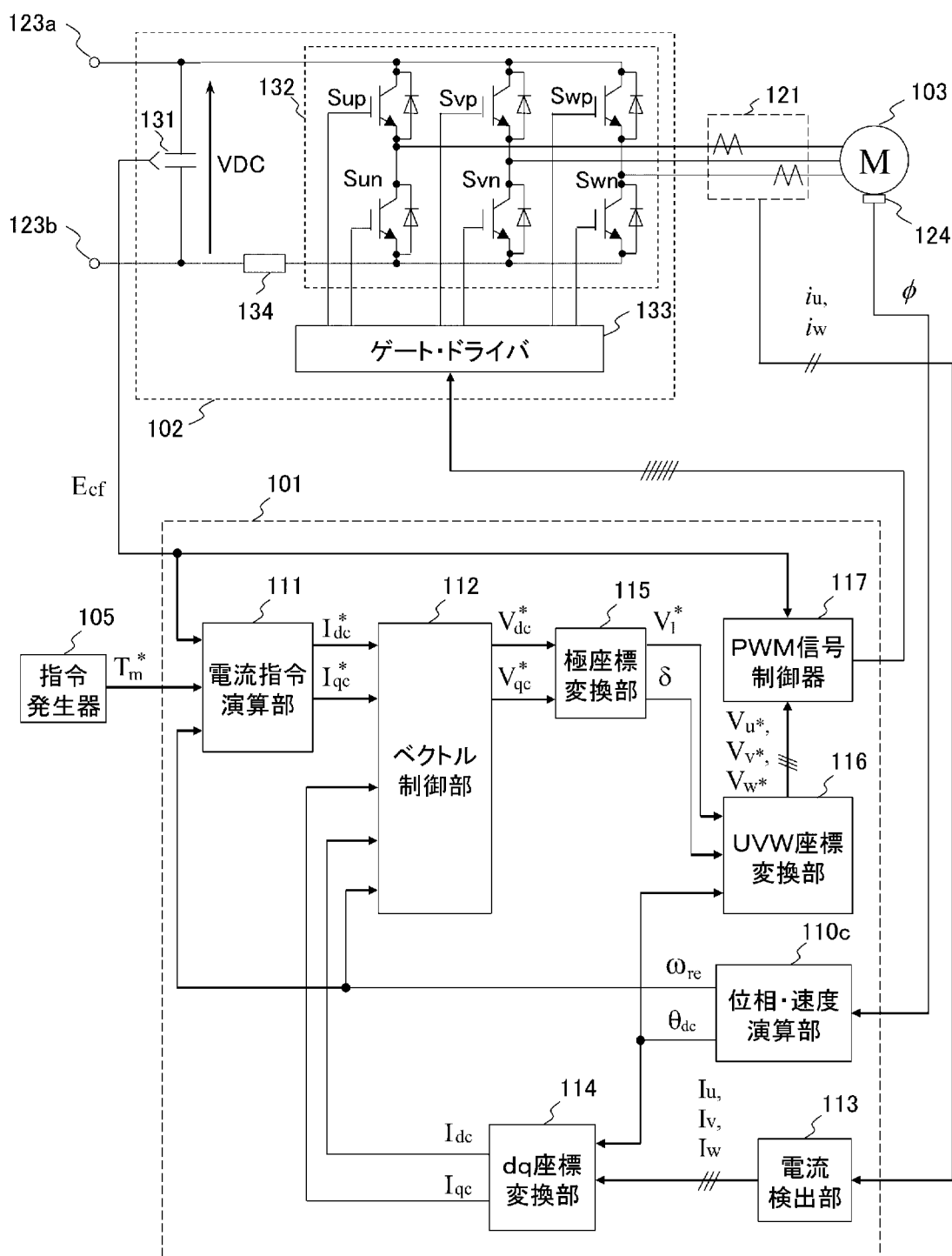
[図9]

図9



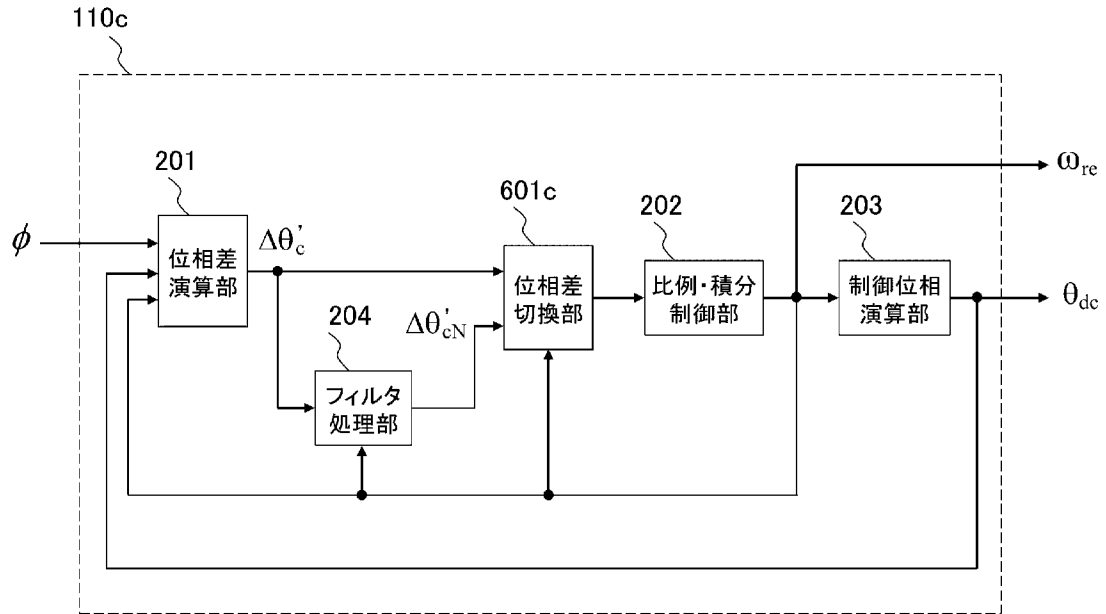
[図10]

図10



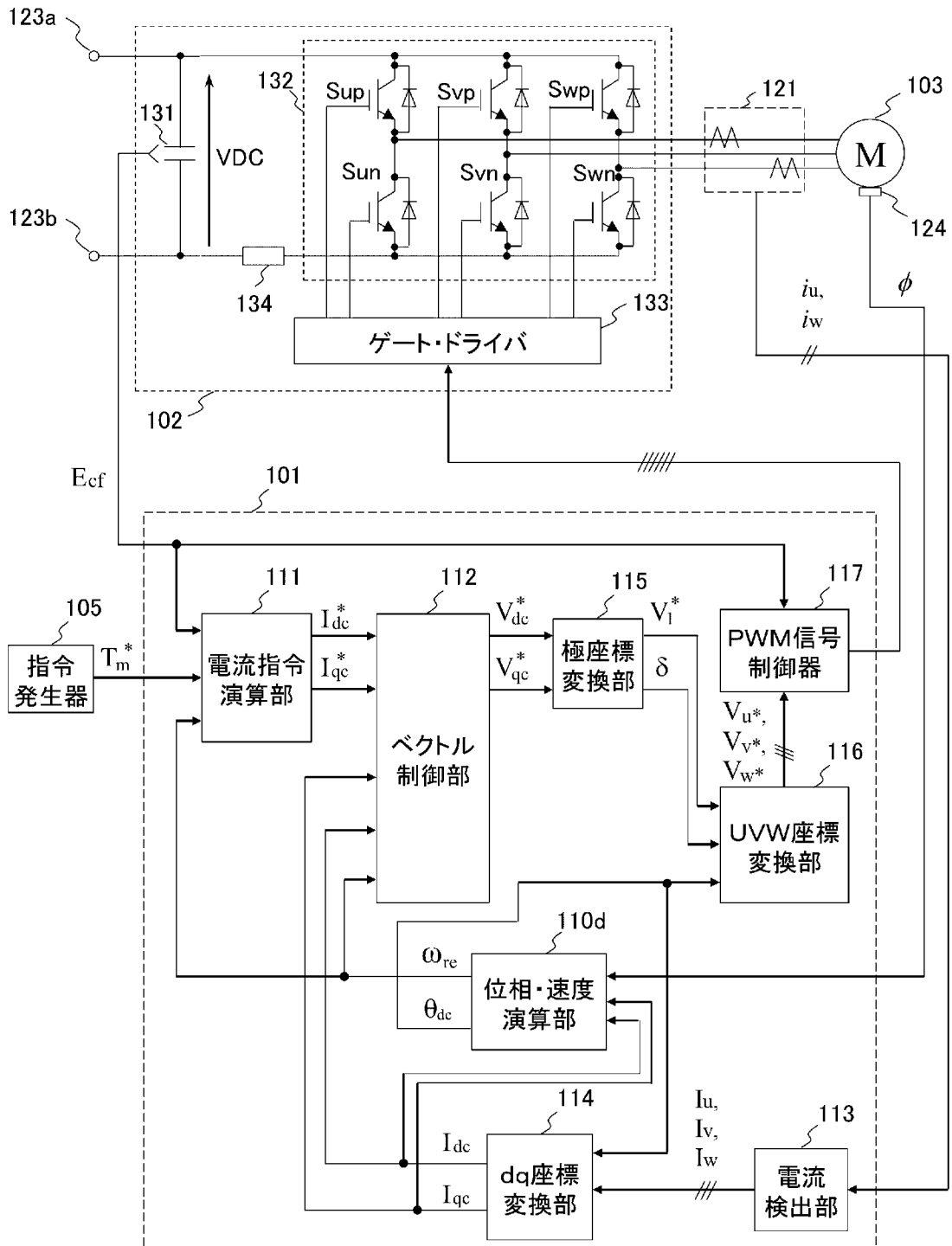
[図11]

図11



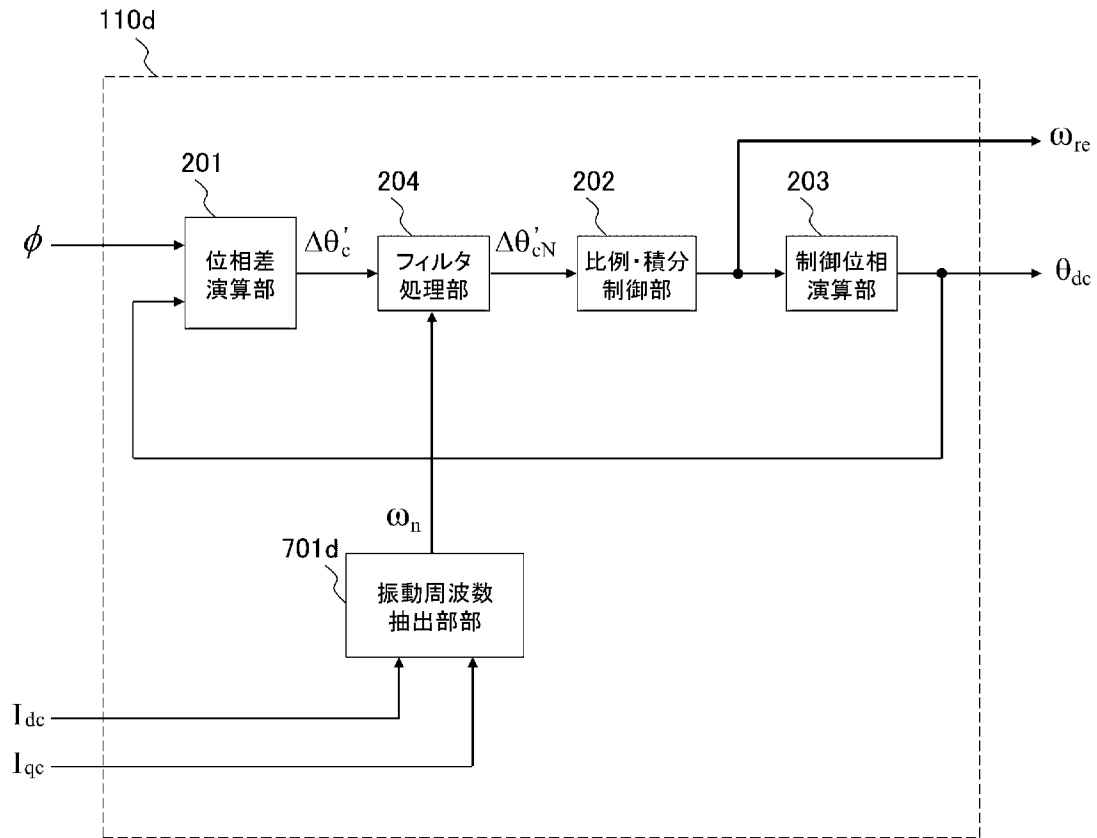
[図12]

図12



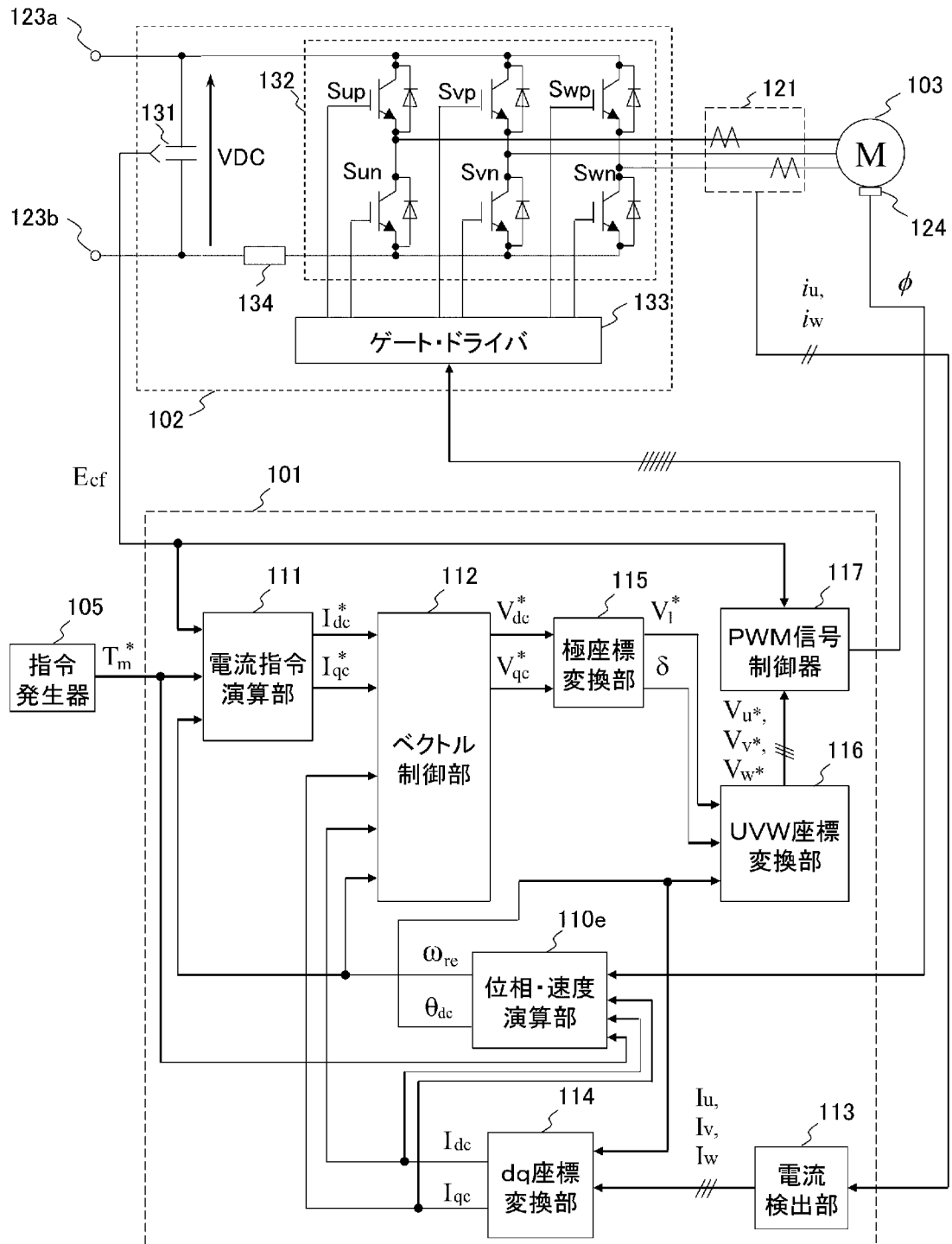
[図13]

図13



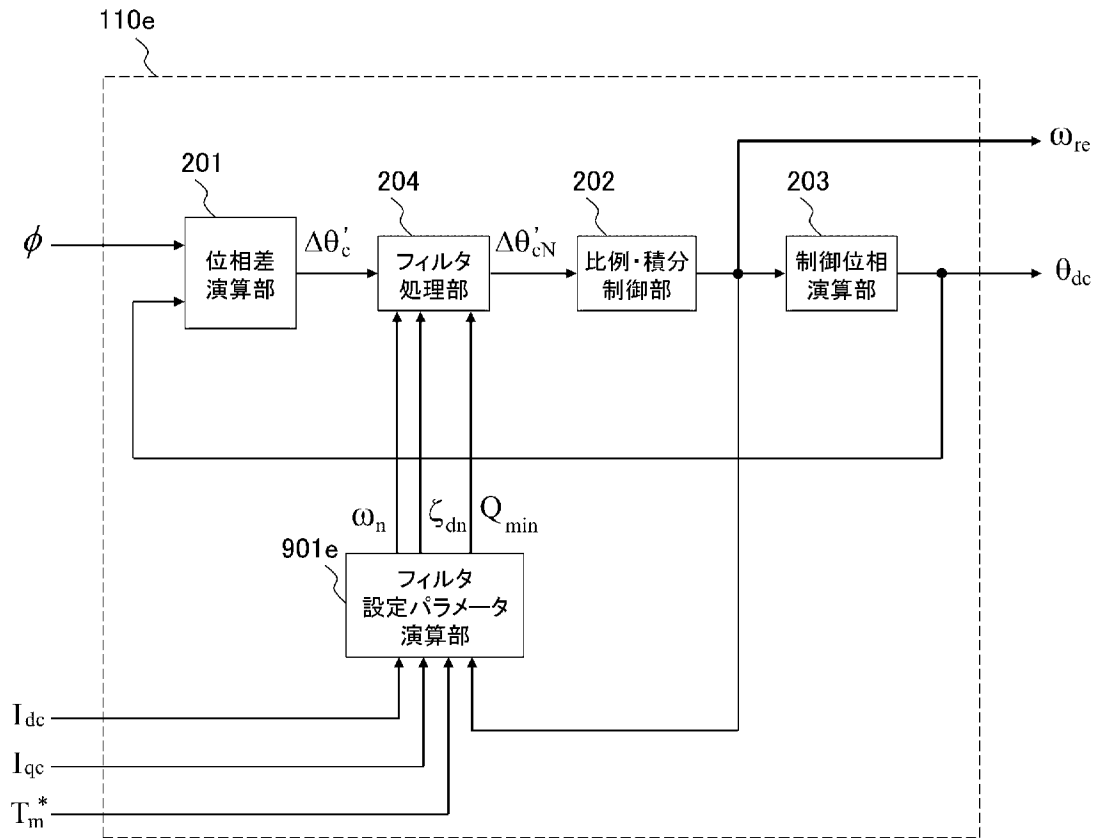
[図14]

図14



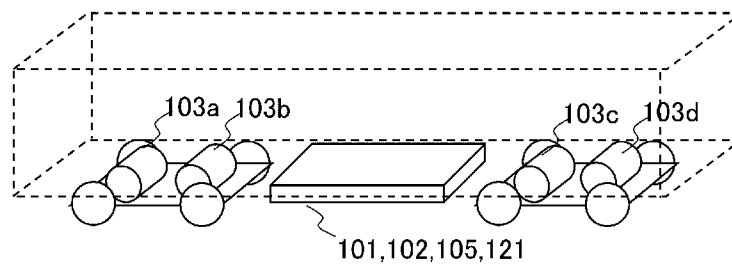
[図15]

図15



[図16]

図16



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/025709

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>H02P 21/05</i> (2006.01)i; <i>H02P 21/06</i> (2016.01)i; <i>H02P 21/22</i> (2016.01)i FI: H02P21/05; H02P21/06; H02P21/22		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H02P21/05; H02P21/06; H02P21/22		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Published examined utility model applications of Japan 1922-1996 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2022 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)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2004-289959 A (HITACHI LTD) 14 October 2004 (2004-10-14) paragraphs [0014]-[0078], fig. 1-4	1-16
A	JP 64-81680 A (TOSHIBA CORP) 27 March 1989 (1989-03-27) p. 3, upper right column, line 18 to p. 4, upper right column, line 4, fig. 1	1-16
A	JP 54-116625 A (YASKAWA DENKI SEISAKUSHO KK) 11 September 1979 (1979-09-11) claims 1, 2	1-16
<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 26 August 2022		Date of mailing of the international search report 06 September 2022
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/JP2022/025709

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2004-289959	A	14 October 2004	US 2004/0207358 A1 paragraphs [0028]-[0074], fig. 1-4	
JP	64-81680	A	27 March 1989	US 5212438 A none US 5387855 A none EP 308974 A2 none KR 10-1989-0005965 A none	
JP	54-116625	A	11 September 1979	US 4259628 A none US 4357569 A none US 4358722 A none US 4358726 A none	

<p>A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H02P 21/05(2006.01)i; H02P 21/06(2016.01)i; H02P 21/22(2016.01)i FI: H02P21/05; H02P21/06; H02P21/22</p>														
<p>B. 調査を行った分野</p> <p>調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） H02P21/05; H02P21/06; H02P21/22</p> <p>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</p> <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2022年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2022年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2022年</td> </tr> </table> <p>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）</p>			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				
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													
<p>C. 関連すると認められる文献</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>引用文献の カテゴリー*</th> <th>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</th> <th>関連する 請求項の番号</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>JP 2004-289959 A (株式会社日立製作所) 14.10.2004 (2004 - 10 - 14) 段落0014-0078, 図1-4</td> <td>1-16</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 64-81680 A (株式会社東芝) 27.03.1989 (1989 - 03 - 27) 第3頁右上欄第18行-第4頁右上欄第4行, 第1図</td> <td>1-16</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 54-116625 A (株式会社安川電機製作所) 11.09.1979 (1979 - 09 - 11) 特許請求の範囲1, 2</td> <td>1-16</td> </tr> </tbody> </table>			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 2004-289959 A (株式会社日立製作所) 14.10.2004 (2004 - 10 - 14) 段落0014-0078, 図1-4	1-16	A	JP 64-81680 A (株式会社東芝) 27.03.1989 (1989 - 03 - 27) 第3頁右上欄第18行-第4頁右上欄第4行, 第1図	1-16	A	JP 54-116625 A (株式会社安川電機製作所) 11.09.1979 (1979 - 09 - 11) 特許請求の範囲1, 2	1-16
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 2004-289959 A (株式会社日立製作所) 14.10.2004 (2004 - 10 - 14) 段落0014-0078, 図1-4	1-16												
A	JP 64-81680 A (株式会社東芝) 27.03.1989 (1989 - 03 - 27) 第3頁右上欄第18行-第4頁右上欄第4行, 第1図	1-16												
A	JP 54-116625 A (株式会社安川電機製作所) 11.09.1979 (1979 - 09 - 11) 特許請求の範囲1, 2	1-16												
<p><input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。</p>														
<p>* 引用文献のカテゴリー</p> <p>“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの</p> <p>“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</p> <p>“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）</p> <p>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&” 同一パテントファミリー文献</p>														
<p>国際調査を完了した日</p> <p>26.08.2022</p>	<p>国際調査報告の発送日</p> <p>06.09.2022</p>													
<p>名称及びあて先</p> <p>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</p>	<p>権限のある職員（特許庁審査官）</p> <p>谿花 正由輝 3V 3120</p> <p>電話番号 03-3581-1101 内線 3357</p>													

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/JP2022/025709

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2004-289959 A	14.10.2004	US 2004/0207358 A1 段落0028-0074, 図1-4	
JP 64-81680 A	27.03.1989	US 5212438 A 該当箇所なし US 5387855 A 該当箇所なし EP 308974 A2 該当箇所なし KR 10-1989-0005965 A 該当箇所なし	
JP 54-116625 A	11.09.1979	US 4259628 A 該当箇所なし US 4357569 A 該当箇所なし US 4358722 A 該当箇所なし US 4358726 A 該当箇所なし	