

(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
2013年8月1日(01.08.2013)



(10) 国際公開番号
WO 2013/111383 A1

- (51) 国際特許分類:
H02P 21/00 (2006.01) **H02P 27/04** (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2012/074639
- (22) 国際出願日: 2012年9月26日(26.09.2012)
- (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 2012-011645 2012年1月24日(24.01.2012) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 三菱電機株式会社(MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: および
- (71) 出願人 (米国についてのみ): 伊藤 正人(ITO Masato) [—/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 蜂矢 陽祐(HACHIYA Yosuke) [—/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 寺島 寛(TER-

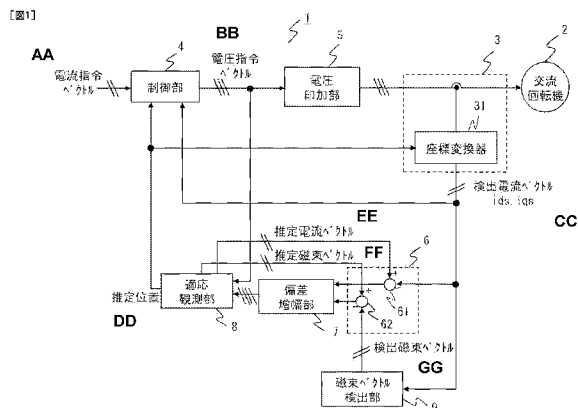
ASHIMA Satoru) [—/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).

- (74) 代理人: 村上 啓吾, 外(MURAKAMI Keigo et al.); 〒6610033 兵庫県尼崎市南武庫之荘3丁目3番5号 Hyogo (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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, 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,

[続葉有]

(54) Title: CONTROL DEVICE FOR ALTERNATING CURRENT ROTARY MACHINE

(54) 発明の名称: 交流回転機の制御装置



- 2 Alternating current rotary machine
- 4 Control unit
- 5 Voltage application unit
- 7 Deviation amplification unit
- 8 Adaptive observation unit
- 9 Magnetic flux vector detection unit
- 31 Coordinates converter
- AA Current command vector
- BB Voltage command vector
- CC Detected current vector
- DD Estimated position
- EE Estimated current vector
- FF Estimated magnetic flux vector
- GG Detected magnetic flux vector

(57) Abstract: An alternating current rotary machine control device equipped with: a current vector detection unit (3); a magnetic flux vector detection unit (9); an adaptive observation unit (8); a control unit (4); a voltage application unit (5); a deviation vector calculation unit (6) that outputs a current deviation vector and a magnetic flux deviation vector; and a deviation amplification unit (7). The adaptive observation unit (8) calculates an estimated current vector, an estimated magnetic flux vector, and an estimated position on the basis of a voltage command vector and an amplified deviation vector, the control unit (4) superimposes a high-frequency voltage vector, and the magnetic flux vector detection unit (9) calculates a detected magnetic flux vector from the magnitude of the high-frequency current vector having the same frequency component as the high-frequency voltage vector included in the detected current vector and the magnitude of the rotor magnetic flux.

(57) 要約: 交流回転機の制御装置は、電流ベクトル検出部(3)と、磁束ベクトル検出部(9)と、適応観測部(8)と、制御部(4)と、電圧印加部(5)と、電流偏差ベクトルと磁束偏差ベクトルとを出力する偏差ベクトル演算部(6)と、偏差増幅部(7)とを備え、適応観測部(8)は電圧指令ベクトルと増幅偏差ベクトルに基づき推定電流ベクトルと推定磁束ベクトルと推定位置を演算し、さらに、制御部(4)は高周波電圧ベクトルを重畳し、磁束ベクトル検出部(9)は検出電流ベクトルに含まれる高周波電圧ベクトルと同一周波数成分の高

周波電流ベクトルの大きさと回転子磁束の大きさから検出磁束ベクトルを演算する。



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, ML, MR,
NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称： 交流回転機の制御装置

技術分野

[0001] この発明は、回転子位置情報を得るために位置センサを用いなくて、誘導機や同期機などの交流回転機を制御できる交流回転機の制御装置に関するものである。

背景技術

[0002] 同期機や誘導機といった交流回転機を制御する方法として適応観測器などを利用して誘起電圧に基づくセンサレス制御法が知られている。この誘起電圧に基づくセンサレス制御法は位置センサや速度センサを省略することができる特長を有するが、低速回転域では誘起電圧が小さくなるために誘起電圧の検出もしくは推定が難しくなり、低速回転域では駆動特性が低下するという問題がある。

一方、低速域では、交流回転機の基本周波数とは異なる周波数の電圧や電流を重ねてインダクタンスの突極性を利用した位置検出結果に基づいて制御をすれば、位置センサレスでも低速域の駆動が可能になる。しかし、インダクタンスの突極性を利用して高回転域で駆動しようとする基本波以外の電圧や電流が発生する分、運転効率、電圧利用率、最大電流の点で不利となる。

そこで、インダクタンスの突極性を利用した位置検出結果に基づいて交流回転機を駆動するとともに、高回転域では誘起電圧を利用したセンサレス制御によって交流回転機を駆動すれば安価でかつ全速度領域で駆動可能な装置を提供することができる。この場合、低速域から高速域まで円滑に駆動することが要点となる。

[0003] 交流回転機を低速域から高速域まで円滑に駆動することを可能とするために、例えば以下の発明が開示されている。

位置センサを用いなくて、ベクトルコントローラ基本部で必要とする回転

d q 座標系の位相を適切に生成するために、低周波領域用の位相を生成する低周波領域位相生成器と高周波領域用の位相を生成する高周波領域位相生成器とを用意し、さらに、これら 2 種類の位相を周波数的に加重平均して合成する位相合成器を構成し、合成された最終位相を回転 d q 座標系の位相とする発明が開示されている（例えば、特許文献 1 参照）。

[0004] また、交流電動機の零速から高速域までを連続的に制御するためのセンサレス制御方法において、回転子角度を用いて演算される第 1 の磁束ベクトルと、回転子角度を用いずに演算される第 2 の磁束ベクトルとの外積演算によって得られる位置誤差 $\Delta \theta$ が零となるように、位置・速度推定器により、機械数式モデルにより推定した速度推定値 ω_{est} と位置推定値 θ_0 を用いて制御を行う発明が開示されている（例えば、特許文献 2 参照）。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献 1：特開平 10-94298 号公報（段落 [0032]、図 1）

特許文献 2：特開 2006-158046 号公報（段落 [0012]、[0013]、図 2、3）

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 特許文献 1 開示の発明では、2 種類の位相を周波数的に加重平均して合成するため、低速領域用と高速領域用の位相を同時に得る必要があり、低周波領域位相生成器と高周波領域位相生成器の両方を同時に演算処理するため、非常に演算処理が増大する問題がある。また、周波数が低くなる低速域では 2 種類の位相のうち低周波領域位相生成器に基づいて駆動する必要があり、低周波領域位相生成器の推定応答が遅いと、低速領域では速度制御応答やトルク制御応答などの応答性を高く保つことができないという問題もある。

[0007] また、特許文献 2 開示の発明では、第 1 の磁束ベクトルを得るために回転子角度を必要とし、この回転子角度はあらかじめ、検出もしくは演算処理し

て求める必要があるため、演算量が増大する問題がある。また、第1の磁束ベクトルを得るために必要な回転子角度の検出・推定の応答が遅いと、第1の磁束ベクトルと第2の磁束ベクトルとの外積演算によって得られる位置誤差 $\Delta\theta$ の応答も遅くなり、位置・速度推定器が求める速度推定値 ω_{est} と位置推定値 θ_{est} の応答も遅くなる。その結果、速度制御応答やトルク制御応答などの応答性を高く保つことができないという問題もある。

[0008] この発明は、上記のような問題点を解決するためになされたものであり、全速度領域において位置センサを用いずに円滑な交流回転機の駆動が可能で、演算量の低減と応答性の向上を図ることができる交流回転機の制御装置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

[0009] この発明に係る交流回転機の制御装置は、交流回転機の電流から検出電流ベクトルを検出する電流ベクトル検出部と、交流回転機の検出電流ベクトルから回転子磁束ベクトルを検出し検出磁束ベクトルとして出力する磁束ベクトル検出部と、交流回転機の推定電流ベクトルと推定磁束ベクトルと推定位置とを出力する適応観測部と、検出電流ベクトルが電流指令ベクトルに一致するように電圧指令ベクトルを出力する制御部と、電圧指令ベクトルに基づいて交流回転機に電圧を印加する電圧印加部と、推定電流ベクトルと検出電流ベクトルの偏差である電流偏差ベクトルと、推定磁束ベクトルと検出磁束ベクトルの偏差である磁束偏差ベクトルとを出力する偏差ベクトル演算部と、電流偏差ベクトルと磁束偏差ベクトルを増幅して増幅偏差ベクトルとして出力する偏差増幅部とを備え、適応観測部は電圧指令ベクトルと増幅偏差ベクトルとに基づいて推定電流ベクトルと推定磁束ベクトルと推定位置とを演算して出力し、さらに、制御部は交流回転機を駆動する周波数とは異なる周波数成分の高周波電圧ベクトルを重畳した電圧指令ベクトルを出力し、磁束ベクトル検出部は検出電流ベクトルに含まれる高周波電圧ベクトルと同一周波数成分の高周波電流ベクトルの大きさと回転子磁束の大きさから検出磁束ベクトルを演算し出力するものである。

発明の効果

[0010] この発明に係る交流回転機の制御装置は、上記のように構成されているため、全速度領域において、位置センサを用いなくて、円滑な交流回転機の駆動が可能で、演算量の低減と応答性の向上を図れる交流回転機の制御装置を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]この発明の実施の形態1の交流回転機の制御装置に係るシステム構成図である。

[図2]この発明の実施の形態1の交流回転機の制御装置に係る制御部の構成図である。

[図3]この発明の実施の形態1の交流回転機の制御装置に係る偏差増幅部の構成図である。

[図4]この発明の実施の形態1の交流回転機の制御装置に係る適応観測部の構成図である。

[図5]この発明の実施の形態1の交流回転機の制御装置に係る適応観測部の内部構成図である。

[図6]この発明の実施の形態1の交流回転機の制御装置に係る磁束ベクトル検出部の構成図である。

[図7]この発明の実施の形態1の交流回転機の制御装置に係る磁束ベクトル検出部の内部構成図である。

[図8]この発明の実施の形態1の交流回転機の制御装置に係る磁束ベクトル検出部の内部構成図である。

[図9]この発明の実施の形態1の交流回転機の制御装置に係る磁束ベクトル検出部の内部構成図である。

[図10]この発明の実施の形態1の交流回転機の制御装置に係る回転子磁束ベクトルの説明図である。

[図11]この発明の実施の形態1の交流回転機の制御装置に係る変形例のシステム構成図である。

[図12]この発明の実施の形態1の交流回転機の制御装置に係る変形例の偏差増幅部の構成図である。

[図13]この発明の実施の形態2の交流回転機の制御装置に係る磁束ベクトル検出部の構成図である。

[図14]この発明の実施の形態2の交流回転機の制御装置に係る磁束ベクトル検出部の内部構成図である。

[図15]この発明の実施の形態2の交流回転機の制御装置に係る磁束ベクトル検出部の内部構成図である。

[図16]この発明の実施の形態3の交流回転機の制御装置に係るシステム構成図である。

[図17]この発明の実施の形態3の交流回転機の制御装置に係る制御部の構成図である。

[図18]この発明の実施の形態3の交流回転機の制御装置に係る制御部の内部構成図である。

[図19]この発明の実施の形態3の交流回転機の制御装置に係る適応観測部の構成図である。

[図20]この発明の実施の形態3の交流回転機の制御装置に係る適応観測部の内部構成図である。

[図21]この発明の実施の形態3の交流回転機の制御装置に係る磁束ベクトル検出部の構成図である。

[図22]この発明の実施の形態3の交流回転機の制御装置に係る磁束ベクトル検出部の内部構成図である。

[図23]この発明の実施の形態3の交流回転機の制御装置に係る磁束ベクトル検出部の内部構成図である。

[図24]この発明の実施の形態3の交流回転機の制御装置に係る磁束ベクトル検出部の内部構成図である。

[図25]この発明の実施の形態3の交流回転機の制御装置に係る回転子磁束ベクトルの説明図である。

発明を実施するための形態

[0012] 実施の形態 1.

実施の形態 1 は、検出磁束ベクトルと推定磁束ベクトルの偏差である磁束偏差ベクトルと、検出電流ベクトルと推定電流ベクトルの偏差である電流偏差ベクトルを求め、増幅した増幅偏差ベクトルで適応観測部が出力する推定速度や推定位置を用いて交流回転機を駆動する交流回転機の制御装置に関するものである。ここで、磁束ベクトル検出部が出力する検出磁束ベクトルを演算する際、検出電流ベクトルから高周波電圧ベクトルと同一周波数成分の高周波電流ベクトルを抽出し、高周波電圧ベクトルと直交方向の成分の大きさを用いて高周波電圧ベクトルを印加している d 軸と回転子磁束ベクトルと平行方向である d m 軸との差分 $\Delta \theta$ を演算し、 $\Delta \theta$ と回転子磁束ベクトルの大きさ ϕf をのみ用いる構成としたものである。

[0013] 以下、本願発明の実施の形態 1 について、交流回転機の制御装置 1 に係るシステム構成図である図 1、制御部の構成図である図 2、偏差増幅部の構成図である図 3、適応観測部の構成図である図 4、適応観測部の内部構成図である図 5、磁束ベクトル検出部の構成図である図 6、磁束ベクトル検出部の内部構成図である図 7～図 9、回転子磁束ベクトルの説明図である図 10、変形例のシステム構成図である図 11、変形例の偏差増幅部の構成図である図 12 に基づいて説明する。

[0014] まず、本願発明の実施の形態 1 に係る交流回転機の制御装置 1 を含む全体システム構成について説明する。

図 1 において、交流回転機の制御装置 1 は、交流回転機 2 を制御するために、電流ベクトル検出部 3、制御部 4、電圧印加部 5、偏差ベクトル演算部 6、偏差増幅部 7、適応観測部 8、磁束ベクトル検出部 9 から構成される。

なお、図において、2 本斜線 (//) 、3 本斜線 (///) 、4 本斜線 (////) は、それぞれ 2 次元、3 次元、4 次元のベクトルを示す。

[0015] 交流回転機の制御装置 1 の構成、機能および動作の詳細は後述するが、まず交流回転機の制御装置 1 の各構成部の機能概要を説明する。

電流ベクトル検出部 3 は、交流回転機 2 の電流から検出電流ベクトルを検出する。磁束ベクトル検出部 9 は、電流ベクトル検出部 3 が出力する交流回転機 2 の検出電流ベクトルから回転子磁束ベクトルを検出して、検出磁束ベクトルとして出力する。適応観測部 8 は、検出磁束ベクトルから交流回転機 2 の推定電流ベクトルと推定磁束ベクトルと推定位置を出力する。制御部 4 は、検出電流ベクトルが電流指令ベクトルに一致するように電圧指令ベクトルを出力し、電圧印加部 5 は、電圧指令ベクトルに基づいて交流回転機に電圧を印加する。偏差ベクトル演算部 6 は、推定電流ベクトルと検出電流ベクトルの偏差である電流偏差ベクトルと推定磁束ベクトルと検出磁束ベクトルの偏差である磁束偏差ベクトルとを出力し、偏差増幅部 7 は、電流偏差ベクトルと磁束偏差ベクトルを増幅して増幅偏差ベクトルとして出力する。

[0016] 図 1 において、交流回転機 2 は本実施の形態 1 では 3 相巻線を有する突極型の永久磁石同期機を例として説明するが、他種類の回転機であっても同様の原理で交流回転機の制御装置を構成することが可能である。

[0017] 以下、順次、交流回転機の制御装置 1 の各構成部の構成、機能および動作について説明する。

電流ベクトル検出部 3 は、交流回転機 2 に流れる 3 相電流を検出し、座標変換器 31 において、後述する推定位置 θ_0 を用いて、交流回転機 2 の回転子に同期して回転する直交座標として公知である $d-q$ 軸に 3 相電流を d 軸方向に座標変換した d 軸電流 i_d と q 軸方向に座標変換した q 軸電流 i_q とを検出電流ベクトルとして出力する。

[0018] 次に、図 2 に基づき制御部 4 の構成、機能および動作について説明する。

制御部 4 は、加減算器 41、電流制御器 42、高周波電圧ベクトル発生器 43、加減算器 44、座標変換器 45 から構成される。

制御部 4 は、加減算器 41 により、外部から与えられる電流指令ベクトル (i_{d_ref} , i_{q_ref}) から検出電流ベクトル (i_{ds} , i_{qs}) をそれぞれ減算する。電流制御器 42 は、加減算器 41 の出力である電流指令ベクトルと検出電流ベクトルの偏差が無くなるように、比例積分制御して

基本波電圧ベクトル (v_{df} , v_{qf}) を出力する。高周波電圧ベクトル発生器 43 は、 $d-q$ 軸上の高周波電圧ベクトル (v_{dh} , v_{qh}) を出力する。

なお、本実施の形態 1 では、 $v_{qh} = 0$ として d 軸方向のみに印加する交番電圧とする。

加減算器 44 では、基本波電圧ベクトル (v_{df} , v_{qf}) と高周波電圧ベクトル (v_{dh} , v_{qh}) を加算した $d-q$ 軸上の電圧指令ベクトル (v_d , v_q) を出力し、座標変換器 45 では後述する推定位置 θ_0 を用いて加減算器 44 の出力である $d-q$ 軸上の電圧指令ベクトル (v_d , v_q) を $d-q$ 軸から静止座標の電圧指令ベクトル (v_u , v_v , v_w) に変換して出力する。

[0019] 電圧印加部 5 は、制御部 4 が出力する電圧指令ベクトル (v_u , v_v , v_w) に基づいて、交流回転機 2 に三相電圧を印加する。

[0020] 次に、偏差ベクトル演算部 6 の構成、機能および動作について説明する。

偏差ベクトル演算部 6 は、加減算器 61、62 から構成される。

偏差ベクトル演算部 6 は、加減算器 61 により後述する適応観測部 8 の出力である推定電流ベクトル (i_{ds0} , i_{qs0}) から電流ベクトル検出部 3 の出力である検出電流ベクトル (i_{ds} , i_{qs}) を減算した電流偏差ベクトル (e_{ids} , e_{iqs}) を出力する。また、加減算器 62 により後述する適応観測部 8 の出力である推定磁束ベクトル (ϕ_{dr0} , ϕ_{qr0}) から後述する磁束ベクトル検出部の出力である検出磁束ベクトル (ϕ_{drD} , ϕ_{qrD}) を減算した磁束偏差ベクトル ($e_{\phi dr}$, $e_{\phi qr}$) を出力する。

[0021] 次に、図 3 に基づき偏差増幅部 7 の構成、機能および動作について説明する。

偏差増幅部 7 は、ゲイン行列演算器 71、72 と加減算器 73 から構成される。

ゲイン行列演算器 71 は、電流偏差ベクトル (e_{ids} , e_{iqs}) の転

置行列である $(e_{ids}, e_{iqs})^T$ (Tは転置行列の意味) に行列 H_c を乗算した結果を出力する。ゲイン行列演算器 72 は、磁束偏差ベクトル $(e_{\phi dr}, e_{\phi qr})^T$ に行列 H_f を乗算した結果を出力する。

ここで、行列 H_c 、 H_f は (1) 式で定義するゲイン行列である。(1) 式中の $h_{11} \sim h_{44}$ は増幅ゲインであり、 $h_{11} \sim h_{44}$ は任意に設定可能な値である。

[0022] [数1]

【数1】

$$H_c = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \\ h_{31} & h_{32} \\ h_{41} & h_{42} \end{pmatrix}, \quad H_f = \begin{pmatrix} h_{13} & h_{14} \\ h_{23} & h_{24} \\ h_{33} & h_{34} \\ h_{43} & h_{44} \end{pmatrix} \quad \dots (1)$$

[0023] 図3において、加減算器 73 は、ゲイン行列演算器 71 の出力ベクトルとゲイン行列演算器 72 の出力ベクトルとを加算し、増幅偏差ベクトル $(e_1, e_2, e_3, e_4)^T$ を出力する。

なお、交流回転機 2 が高回転速度になると、後述する適応観測部 8 は出力する推定速度や推定位置を、検出磁束ベクトルと推定磁束ベクトルの偏差である磁束偏差ベクトルを用いなくても良好に推定できる。このため、ゲイン行列演算器 72 において、推定速度の絶対値が大きい場合は、 $h_{13} \sim h_{44}$ の値が零になるようにして、高回転域でゲイン行列演算器 72 の出力を零とする。その結果、磁束ベクトル検出部 9 の演算を停止することで、演算量を低減できる。また、制御部 4 内部の高周波電圧ベクトル発生器 43 の出力である高周波電圧ベクトル (v_{dh}, v_{qh}) もゼロにすることで、高周波電圧ベクトル (v_{dh}, v_{qh}) により発生する高周波電流も発生しなくなり、高周波電流による損失も無くすることができる。

[0024] 次に、適応観測部 8 の構成、機能および動作について説明する。図4は適応観測部 8 の構成図であり、図5は適応観測部 8 の主要構成要素である状態観測器 82 の構成図である。

図4において、適応観測部8は、座標変換器81、状態観測器82、積分器83から構成される。

図5において、状態観測器82は、ゲイン行列演算器821、823、825、826、および加減算器822、積分器824、速度推定器827から構成される。

[0025] 次に、適応観測部8の全体動作について説明する。

交流回転機2の電機子抵抗をR、d軸方向の電機子インダクタンスを L_d 、q軸方向の電機子インダクタンスを L_q 、推定速度を ω_{r0} 、電源角周波数を ω とし、行列A、B、C1、C2を(2)式で定義する。

なお、交流回転機2が非突極機の場合は $L_d = L_q$ となる。

[0026] [数2]

【数2】

$$A = \begin{pmatrix} -\frac{R}{L_d} & \omega & 0 & \omega_{r0} \\ -\omega & -\frac{R}{L_q} & -\omega_{r0} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \omega - \omega_{r0} \\ 0 & 0 & -\omega + \omega_{r0} & 0 \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, C1 = \begin{pmatrix} \frac{1}{L_d} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{L_q} & 0 & 0 \end{pmatrix}, C2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \dots (2)$$

[0027] また、d-q軸上の推定電機子反作用ベクトルのd軸成分を ϕ_{ds0} 、q軸成分を ϕ_{qs0} 、d-q軸上の電圧指令ベクトルのd軸成分を v_{ds} 、q軸成分を v_{qs} と定義すると、(3)式のように推定電機子反作用ベクトル(ϕ_{ds0} , ϕ_{qs0})と推定磁束ベクトル(ϕ_{dr0} , ϕ_{qr0})を得ることができる。

[0028] [数3]

【数3】

$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} \phi_{ds0} \\ \phi_{qs0} \\ \phi_{dr0} \\ \phi_{qr0} \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} \phi_{ds0} \\ \phi_{qs0} \\ \phi_{dr0} \\ \phi_{qr0} \end{pmatrix} + B \begin{pmatrix} v_{ds} \\ v_{qs} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} e1 \\ e2 \\ e3 \\ e4 \end{pmatrix} \dots (3)$$

[0029] また、ラプラス演算子（微分演算子）を s 、 k_p を比例ゲイン、 k_i を積分ゲインと定義し、（２）式の行列 A の内部パラメータである推定速度 ω_{r0} は、電流偏差ベクトル（ e_{ids} 、 e_{iqs} ）と推定磁束ベクトル（ ϕ_{dr0} 、 ϕ_{qr0} ）を用いて（４）式によって与えられる。

[0030] [数4]

【数4】

$$\omega_{r0} = \left(k_p + \frac{k_i}{s} \right) (e_{iqs} \cdot \phi_{dr0} - e_{ids} \cdot \phi_{qr0}) \quad \dots \quad (4)$$

[0031] 推定位置 θ_0 は、（５）式のように推定速度 ω_{r0} を積分することで得ることができる。

[0032] [数5]

【数5】

$$\theta_0 = \frac{\omega_{r0}}{s} \quad \dots \quad (5)$$

[0033] また、推定電流ベクトル（ i_{ds0} 、 i_{qs0} ）は（６）式より求めることができる。

[0034] [数6]

【数6】

$$\begin{pmatrix} i_{ds0} \\ i_{qs0} \end{pmatrix} = C1 \begin{pmatrix} \phi_{ds0} \\ \phi_{qs0} \\ \phi_{dr0} \\ \phi_{qr0} \end{pmatrix} \quad \dots \quad (6)$$

[0035] 同様に、推定磁束ベクトル（ ϕ_{dr0} 、 ϕ_{qr0} ）は（７）式より求めることができる。

[0036]

[数7]

【数7】

$$\begin{pmatrix} \phi_{ds0} \\ \phi_{qs0} \\ \phi_{dr0} \\ \phi_{qr0} \end{pmatrix} = C2 \begin{pmatrix} \phi_{ds0} \\ \phi_{qs0} \\ \phi_{dr0} \\ \phi_{qr0} \end{pmatrix} \dots (7)$$

[0037] 以上のように、(2)～(7)式を用いれば、電圧指令ベクトル(v_{ds} 、 v_{qs})と増幅偏差ベクトル(e_1, e_2, e_3, e_4)^Tと電流偏差ベクトル(i_{ds0}, i_{qs0})に基づいて、推定位置 θ_0 と推定電流ベクトル(i_{ds0}, i_{qs0})と推定磁束ベクトル(ϕ_{dr0}, ϕ_{qr0})を算出することが可能である。

以上が適応観測部8の全体の動作説明である。

[0038] 次に、適応観測部8の各主要構成要素の機能、動作について説明する。

図4において、座標変換器81は制御部4の出力である3相交流の電圧指令ベクトルを直交回転座標であるd-q軸の電圧指令ベクトル(v_{ds} 、 v_{qs})に変換し、状態観測器82へ出力する。状態観測器82は、偏差増幅部7からの出力である増幅偏差ベクトル(e_1, e_2, e_3, e_4)^Tと座標変換器81の出力である電圧指令ベクトル(v_{ds} 、 v_{qs})に基づき、推定速度 ω_{r0} 、推定電流ベクトル(i_{ds0}, i_{qs0})、および推定磁束ベクトル(ϕ_{dr0}, ϕ_{qr0})を演算して出力する。積分器83は、(5)式により、状態観測器82の出力である推定速度 ω_{r0} を積分することで、推定位置 θ_0 を求める。

[0039] 図5において、ゲイン行列演算器821は、座標変換器81の出力である電圧指令ベクトル(v_{ds} 、 v_{qs})^Tに行列Bを乗算し、その結果を出力する。加減算器822は、ゲイン行列演算器821の出力とゲイン行列演算器823の出力と増幅偏差ベクトル(e_1, e_2, e_3, e_4)^Tとを加減算したベクトルを出力する。積分器824は、加減算器822が出力するベクトルを要素毎に積分し、ベクトル($\phi_{ds0}, \phi_{qs0}, \phi_{dr0}, \phi_{qr0}$)

) τ を出力する。以上が(3)式右辺に相当する部分である。なお、(3)式の左辺は積分器824の入力部分に相当する。

ゲイン行列演算器825は、行列C1をベクトル($\phi d s 0$, $\phi q s 0$, $\phi d r 0$, $\phi q r 0$) τ に乘算することで、推定電流ベクトル($\phi d s 0$, $\phi q s 0$) τ を出力する。この部分は(6)式に相当する。

なお、ここでベクトル($\phi d s 0$, $\phi q s 0$, $\phi d r 0$, $\phi q r 0$) τ は、固定子・回転子推定磁束ベクトルである。

ゲイン行列演算器826は、行列C2をベクトル($\phi d s 0$, $\phi q s 0$, $\phi d r 0$, $\phi q r 0$) τ に乘算することで、推定磁束ベクトル($\phi d r 0$, $\phi q r 0$) τ を出力する。この部分は(7)式に相当する。

速度推定器827は、電流偏差ベクトル($e i d s$, $e i q s$)と推定磁束ベクトル($\phi d r 0$, $\phi q r 0$)を用いて(4)式によって推定速度 $\omega r 0$ を算出する。

ゲイン行列演算器823は、速度推定器827の出力である推定速度 $\omega r 0$ を入力し、積分器824の出力であるベクトル($\phi d s 0$, $\phi q s 0$, $\phi d r 0$, $\phi q r 0$) τ に行列Aを施して、結果を加減算器822に出力する。

[0040] 以上が適応観測部8の全体および各主要構成要素の機能、動作説明である。この適応観測部8の特徴は、増幅偏差ベクトル($e 1$, $e 2$, $e 3$, $e 4$) τ に磁束偏差ベクトル($e \phi d r$, $e \phi q r$)を増幅した $e 3$ 、 $e 4$ を含んでいることであり、これにより零速を含む低速域において良好に推定速度 $\omega r 0$ や推定位置 $\theta 0$ を求めることができる。

[0041] 本実施の形態の適応観測部8は、後述する磁束ベクトル検出部9の出力である検出磁束ベクトルが零速～低速域において定数誤差や電圧誤差の影響を受けないため、検出磁束ベクトルと推定磁束ベクトルの偏差である磁束偏差ベクトルを求め、磁束偏差ベクトルを増幅した $e 3$ 、 $e 4$ を用いることで零速～低速でも良好に速度や位置を推定することができる。

[0042] 次に、磁束ベクトル検出部9の構成、機能および動作について図6から図10に基づいて説明する。

まず、磁束ベクトル検出部 9 の構成を説明する。

磁束ベクトル検出部 9 の構成図である図 6 において、磁束ベクトル検出部 9 は、フィルタ 9 1、直交成分抽出器 9 2、検出磁束ベクトル演算器 9 3 から構成される。

フィルタ 9 1 は図 7 に示すように、ノッチフィルタ 9 1 1、加減算器 9 1 2 から構成される。直交成分抽出器 9 2 は図 8 に示すように、直交成分選択器 9 2 1、振幅演算器 9 2 2 から構成される。直交成分抽出器 9 2 は図 9 に示すように、差分演算器 9 3 1、余弦演算器 9 3 2、正弦演算器 9 3 3、乗算器 9 3 4、9 3 5 から構成される。

[0043] 次に、磁束ベクトル検出部 9 の機能および動作について説明するが、まず、磁束ベクトル検出部 9 の全体の動作を説明し、その後、各構成要素の機能、動作を説明する。

[0044] 図 2 の高周波電圧ベクトル発生器 4 3 から高周波電圧ベクトル ($v_d h$ 、 $v_q h$) を出力するときに、交流回転機 2 に流れる高周波電流ベクトルの数式について説明する。

図 10 に示すように、制御部 4 が構成する交流回転機 2 の回転子に同期して回転する座標系を直交座標 $d-q$ 軸とする。交流回転機 2 の回転子磁束ベクトル Φ_r と同一方向を d_m 軸とし、その直交方向を q_m 軸とする。直交座標系 d 軸と回転子磁束ベクトルの d_m 軸との差分が $\Delta\theta$ であるとする。なお、 d 軸は適応観測部 8 が出力する推定位置 θ_0 の方向である。定常的には d 軸と d_m 軸は一致するよう動作するものであり、図 10 は瞬時的に $\Delta\theta$ の偏差が生じた場合の図である。

このとき、高周波電圧ベクトル ($v_d h$ 、 $v_q h$) をそれぞれ、 d 軸、 q 軸に印加するときの交流回転機 2 の数式は (8) 式のように表現することができる。ここで、式中の p は微分演算子である。

[0045]

[数8]

【数8】

$$\begin{bmatrix} v_{dh} \\ v_{qh} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R + pL_{dc} - \omega_r L_{dq} & pL_{dq} - \omega_r L_{qc} \\ pL_{dq} + \omega_r L_{dc} & R + pL_{qc} + \omega_r L_{dq} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{dh} \\ i_{qh} \end{bmatrix} + \omega_r \phi_f \begin{bmatrix} -\sin \Delta \theta \\ \cos \Delta \theta \end{bmatrix} \dots (8)$$

ただし、

$$\begin{cases} L_{dc} = L - l \cos 2\Delta \theta, L_{qc} = L + l \cos 2\Delta \theta \\ L_{dq} = l \sin 2\Delta \theta \\ L = \frac{L_d + L_q}{2}, l = \frac{L_d - L_q}{2} \\ R: \text{交流回転機 1 の固定子巻線抵抗} \\ L_d: \text{dm 軸方向のインダクタンス} \\ L_q: \text{qm 軸方向のインダクタンス} \\ \Delta \theta: \text{dm 軸の位置-d 軸の位置} \\ \omega_r: \text{回転速度}, \phi_f: \text{回転子磁束ベクトルの大きさ} \\ i_{dh}: \text{d 軸高周波電流}, i_{qh}: \text{q 軸高周波電流} \end{cases}$$

[0046] 前述したとおり、高周波電圧ベクトルは零速～低速でのみ印加するので、回転速度 $\omega_r \div 0$ とすれば（9）式を得ることができる。

[0047] [数9]

【数9】

$$\begin{bmatrix} v_{dh} \\ v_{qh} \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} i_{dh} \\ i_{qh} \end{bmatrix} + p \begin{bmatrix} L_{dc} & L_{dq} \\ L_{dq} & L_{qc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{dh} \\ i_{qh} \end{bmatrix} \dots (9)$$

[0048] さらに、右辺第2項は、高周波電流の微分であり、高周波電流の微分は高周波電圧の角周波数 ω_h 倍されるため、右辺第2項≫右辺第1項となるため、右辺第1項は無視することができ、その結果（10）式を得ることができる。

[0049]

[数10]

【数10】

$$p \begin{bmatrix} i_{dh} \\ i_{qh} \end{bmatrix} = \frac{1}{L^2 - l^2} \begin{bmatrix} L + l \cos 2\Delta \theta & -l \sin 2\Delta \theta \\ -l \sin 2\Delta \theta & L - l \cos 2\Delta \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{dh} \\ v_{qh} \end{bmatrix} \quad \dots (10)$$

[0050] ここで、高周波電圧ベクトルを(11)式のように与えたとすると、高周波電流ベクトル(i_{dh} 、 i_{qh})は、(10)式に(11)式を代入し、両辺を積分することで、(12)式のようになる。

[0051] [数11]

【数11】

$$\begin{aligned} v_{dh} &= V_h \sin \omega h t \\ v_{qh} &= 0 \end{aligned} \quad \dots (11)$$

[0052] [数12]

【数12】

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} i_{dh} \\ i_{qh} \end{bmatrix} &= -\frac{V_h}{\omega h (L^2 - l^2)} \begin{bmatrix} L + l \cos 2\Delta \theta & -l \sin 2\Delta \theta \\ -l \sin 2\Delta \theta & L - l \cos 2\Delta \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \omega h t \\ 0 \end{bmatrix} \\ &= -\frac{V_h}{\omega h (L^2 - l^2)} \begin{bmatrix} -L - l \cos 2\Delta \theta \\ l \sin 2\Delta \theta \end{bmatrix} \cos \omega h t \end{aligned} \quad \dots (12)$$

[0053] 次に検出磁束ベクトルについて説明する。図10のように、回転子磁束ベクトル Φ_r は d 軸と同一方向である。ここで、回転子磁束ベクトル Φ_r を高周波電圧ベクトルと平行方向、すなわち d 軸方向の ϕ_{drD} と、高周波電圧ベクトルと直交方向、すなわち q 軸方向の ϕ_{qrD} に射影する。この d 軸と q 軸に射影した ϕ_{drD} と ϕ_{qrD} を検出磁束ベクトルとし、数式で表すと(13)式のように表現することができる。

[0054]

[数13]

【数13】

$$\begin{aligned}\phi_{drD} &= |\Phi_r| \cos \Delta \theta \\ &= \phi_f \cos \Delta \theta \\ \phi_{qrD} &= |\Phi_r| \sin \Delta \theta \\ &= \phi_f \sin \Delta \theta\end{aligned} \quad \dots (13)$$

[0055] (13) 式中の ϕ_f は回転子磁束ベクトル Φ_r の大きさであり、永久磁石同期機の場合の ϕ_f は温度により若干変化するものの、予め測定しておくことで把握でき、また、誘導機や巻線界磁式同期機の場合は、励磁電流や界磁電流の大きさより計算することできるため、 ϕ_f は既知の値である。

ϕ_f は既知の値であるため、(13) 式から検出磁束ベクトルを演算するためには、 $\Delta \theta$ が分かればよい。

[0056] ここで、 $\Delta \theta$ を求める方法について検討する。 $\Delta \theta$ は d 軸と d m 軸の差分であるため、d 軸の位置と d m 軸の位置が分かれば演算することができる。d 軸の位置は適応観測部 8 が出力する推定位置 θ_0 であるので既知である。しかし、d m 軸の位置（以下、 θ_{dm} と呼ぶ）は未知であるため別の方法で求める必要がある。

例えば、国際公開広報 WO 2009-040965 号に開示されているように、零速～低回転でも良好に d m 軸方向の位置を推定可能な高周波電圧を重畳して求めた推定位置を θ_{dm} として利用することで $\Delta \theta$ を求めることが可能である。しかし、この開示された方法で $\Delta \theta$ を求めた場合、 θ_{dm} を求めるときに、新たに位置推定部を設ける必要があるため、演算量が大幅に増大する。

[0057] そこで、本実施の形態 1 では、(12) 式に着目し、高周波電流ベクトルの大きさに $\Delta \theta$ が含まれていることから、高周波電圧ベクトルを重畳するが位置推定は行わずに、高周波電流ベクトルの大きさを抽出して、検出磁束ベクトルを演算する。

本実施の形態 1 では、高周波電圧ベクトルと直交方向である q 軸の高周波電流ベクトル i_{qh} の大きさを利用する。

(12) 式より高周波電流ベクトル i_{qh} の大きさ $|i_{qh}|$ は、(14) 式となるので、 $\Delta\theta$ は (15) 式のように求めることができる。

[0058] [数14]

【数14】

$$|i_{qh}| = \frac{V_h l}{\omega_h (L^2 - l^2)} \sin 2\Delta\theta \quad \dots (14)$$

[0059] [数15]

【数15】

$$\Delta\theta = \frac{\sin^{-1} \left\{ \frac{|i_{qh}| \omega_h (L^2 - l^2)}{V_h l} \right\}}{2} \quad \dots (15)$$

[0060] なお、高周波電流ベクトルの大きさ $|i_{qh}|$ は、(16) 式で求めることができる。高周波電圧の角周波数 ω_h と高周波電圧振幅 V_h は、高周波電圧ベクトル発生器 43 で任意に設定できるため既知であり、 L 、 l は (8) 式のように L_d 、 L_q より求めることができる。また、 L_d 、 L_q は事前に測定することで把握できるため、 L 、 l も既知である。なお、式 (16) 中の T は、高周波電流ベクトル (i_{dh} 、 i_{qh}) の周期である。

[0061] [数16]

【数16】

$$|i_{qh}| = \sqrt{\frac{2}{T} \int_0^T i_{qh}^2 dt} \quad \dots (16)$$

[0062] 以上説明したように、検出磁束ベクトル ϕ_{drD} 、 ϕ_{qrD} は (13)、(15)、(16) 式より求めることができる。

なお、適応観測部 8 の出力である推定位置 θ_0 は、回転子磁束ベクトル Φ_r の方向、またはこの方向に近い値となるので $2\Delta\theta \doteq 0$ であり、 $\sin 2\Delta\theta \doteq 2\Delta\theta$ と近似することができる。したがって、 $\Delta\theta$ は (17) 式のように求めてもよく、この場合、検出磁束ベクトル (ϕ_{drD} 、 ϕ_{qrD}) は (13)、(16)、(17) 式から求めることができる。

[0063] [数17]

【数17】

$$\Delta\theta = \frac{|iqh|\omega_h(L^2 - I^2)}{2VhI} = \dots \quad (17)$$

[0064] 以上が磁束ベクトル検出部 9 の全体の動作である。

[0065] 次に、磁束ベクトル検出部 9 の各構成要素の機能、動作について説明をする。

図 6 において、フィルタ 91 は、検出電流ベクトルから高周波電流ベクトルを抽出するものであり、検出電流ベクトルから高周波電圧ベクトルと同一周波数成分を抽出できるものならどのようなものでもよい。例えば、狭帯域のバンドストップフィルタとして公知であるノッチフィルタを利用して、図 7 のように高周波電流ベクトルを抽出することができる。図 7 のノッチフィルタ 911 では、(18) 式の高周波電圧ベクトルの角周波数 ω_h を除去するノッチフィルタを検出電流ベクトルに施して、検出電流ベクトルから角周波数 ω_h 成分を除去する。

加減算器 912 は、検出電流ベクトルからノッチフィルタ 911 の出力を減算することで、検出電流ベクトルから角周波数 ω_h 成分の高周波電流ベクトルを演算する。なお、式 (18) の s はラプラス演算子、 qx はノッチの深さである。

[0066]

[数18]

【数18】

$$\frac{s^2 + \omega h^2}{s^2 + \frac{\omega h}{qx} s + \omega h^2} = \dots \quad (18)$$

[0067] 図8において、直交成分抽出器92は、直交成分選択器921で高周波電流ベクトル（ $i d h$ ， $i q h$ ）に行列（0，1）^Tを乗算することで、 d 軸と直交方向の高周波電流ベクトルの成分である $i q h$ のみを選択する。

振幅演算器922は、（16）式の演算をすることで、 $i q h$ の大きさ（振幅）である $|i q h|$ を演算し、出力する。

[0068] 図9の検出磁束ベクトル演算器93において、差分演算器931は直交成分抽出器の出力である $|i q h|$ から（15）式または（17）式の演算をして $\Delta \theta$ を出力する。

余弦演算器932は、差分演算器931の出力である $\Delta \theta$ を用いて余弦演算を行い、 $\cos \Delta \theta$ を出力する。乗算器934は、余弦演算器932の出力である $\cos \Delta \theta$ に回転子磁束の大きさ ϕf を乗算して、高周波電圧ベクトルと平行方向の検出磁束ベクトルの成分である $\phi d r D$ を出力する。

正弦演算器933は、差分演算器931の出力である $\Delta \theta$ を用いて正弦演算を行い、 $\sin \Delta \theta$ を出力する。乗算器935は、正弦演算器933の出力である $\sin \Delta \theta$ に回転子磁束の大きさ ϕf を乗算して、高周波電圧ベクトルと直交方向の検出磁束ベクトルの成分である $\phi q r D$ を出力する。

以上が、磁束ベクトル検出部19の構成、機能および動作の説明である。

[0069] 次に、本実施の形態1の変形例を説明する。

図3の偏差増幅部7において、行列 $H c$ 、 $H f$ は（1）式で定義するゲイン行列であり、（1）式中の $h_{11} \sim h_{44}$ は増幅ゲインであり、 $h_{11} \sim h_{44}$ は任意に設定可能な値である。

ここで例えば、特許4672236号の図9に記載されているように、行

列 H_c の $h_{11} \sim h_{42}$ は、推定速度 ω_{r0} によって各増幅ゲインの値を変更するようにすることができる。同様に、ゲイン行列 H_f の $h_{13} \sim h_{44}$ の値も推定速度 ω_{r0} によって各増幅ゲインの値を変更することができる。

この場合、図 11 の変形例のシステム構成図に示すように、適応観測部 8 から推定速度 ω_{r0} も出力する。また、偏差増幅部 70 は、図 12 に示すようにゲイン行列演算器 701、702 に推定速度 ω_{r0} を入力するようにする。

図 12 において、加減算器 73 はゲイン行列演算器 701 とゲイン行列演算器 702 の出力ベクトルとを加算し、増幅偏差ベクトル $(e_1, e_2, e_3, e_4)^T$ を出力する。

また、前述のようにゲイン行列演算器 702 において、推定速度 ω_{r0} の絶対値が大きい場合は、 $h_{13} \sim h_{44}$ の値が零になるようにして、高回転速度域でゲイン行列演算器 702 の出力は零とする。

[0070] 以上説明したように、実施の形態 1 に係る交流回転機の制御装置 1 は、検出磁束ベクトルと推定磁束ベクトルの偏差である磁束偏差ベクトルと、検出電流ベクトルと推定電流ベクトルの偏差である電流偏差ベクトルを求め、磁束偏差ベクトルを増幅した増幅偏差ベクトルを用いることで零速～高速域まで適応観測部が出力する 1 種類の推定速度や推定位置のみを用いて交流回転機を駆動することができる。このため、低周波領域位相生成器と高周波領域位相生成器の両方を同時に演算処理する必要がなく、演算処理を大幅に低減することができる。

さらにまた、磁束ベクトル検出部が出力する検出磁束ベクトル ϕ_{drD} 、 ϕ_{qrD} を演算する際、検出電流ベクトルから高周波電圧ベクトルと同一周波数成分の高周波電流ベクトルを抽出している。この抽出した高周波電流ベクトルのうち、高周波電圧ベクトルと直交方向の i_{qh} の大きさ $|i_{qh}|$ を用いて $|i_{qh}|$ に含まれる高周波電圧ベクトルを印加している d 軸と回転子磁束ベクトルと平行方向である d_m 軸との差分 $\Delta\theta$ を演算し、 $\Delta\theta$ と回転子磁束ベクトルの大きさ ϕ_f をのみ用いている。したがって、検出磁束ベ

クトルを求めるためにあらかじめ回転子角度を用意する必要がなく、演算量を低減することができ、また、回転子角度の推定応答も全く関係ないため、速度制御応答やトルク制御応答などの応答性を高く保つことができる効果がある。

[0071] 実施の形態 2.

実施の形態 2 に係る交流回転機の制御装置は、磁束ベクトル検出部 9 について、検出磁束ベクトル (ϕ_{drD} 、 ϕ_{qrD}) を演算する際、検出電流ベクトルから高周波電圧ベクトルと同一周波数成分の高周波電流ベクトルを抽出する。この抽出した高周波電流ベクトルのうち、高周波電圧ベクトルと平行方向の i_{dh} の大きさ $|i_{dh}|$ より、 $|i_{dh}|$ に含まれる高周波電圧ベクトルを印加している d 軸と回転子磁束ベクトルと平行方向である d_m 軸との差分 $\Delta\theta$ および回転子磁束ベクトルの大きさ ϕ_f のみを用いる構成としたものである。

[0072] 本実施の形態 2 では、この磁束ベクトル検出部以外は実施の形態 1 と同様の構成であるため、磁束ベクトル検出部以外の説明は省略する。

以下、本願発明の実施の形態 2 について、交流回転機の制御装置に係る磁束ベクトル検出部 9 の構成図および内部構成図である図 13 から図 15 に基づいて説明する。

図 13 から図 15 において、実施の形態 1 の図 6 から図 9 と同一あるいは相当部分には、同一の符号を付している。

[0073] 図 13 は本実施の形態の磁束ベクトル検出部 9 の構成図である。図 13 で、実施の形態 1 と異なるのは、平行成分抽出器 94 と検出磁束ベクトル演算器 95 であり、フィルタ 91 は実施の形態 1 と同様であるので説明は省略する。

図 14 は平行成分抽出器 94 の構成図である。平行成分選択器 941 は、高周波電流ベクトル (i_{dh} 、 i_{qh}) に行列 $(1, 0)^T$ を乗算することで d 軸と平行方向の高周波電流ベクトルである i_{dh} のみを選択する。振幅演算器 942 では、 i_{dh} の大きさ $|i_{dh}|$ を (19) 式で演算して出力す

る。

[0074] [数19]

【数19】

$$|idh| = \sqrt{\frac{2}{T} \int_0^T idh^2 dt} \quad \dots (19)$$

[0075] 図15は検出磁束ベクトル演算器95の構成図である。平行成分抽出器94の出力である $|idh|$ は(12)式より(20)式となる。差分演算器951では(20)式および(21)式の演算を行い、 $\Delta\theta$ を出力する。

[0076] [数20]

【数20】

$$|idh| = -\frac{V_h}{\omega_h(L^2 - l^2)}(L + l \cos 2\Delta\theta) \quad \dots (20)$$

[0077] [数21]

【数21】

$$\Delta\theta = \frac{\cos^{-1} \left\{ \frac{|idh| \omega_h (L^2 - l^2)}{V_h l} + L \right\}}{2} \quad \dots (21)$$

[0078] 余弦演算器932では、差分演算器951の出力である $\Delta\theta$ を用いて余弦演算を行い、 $\cos \Delta\theta$ を出力する。乗算器934では、余弦演算器932の出力である $\cos \Delta\theta$ に回転子磁束の大きさ ϕ_f を乗算して、高周波電圧ベクトルと平行方向の検出磁束ベクトルである ϕ_{drD} として出力する。

正弦演算器933では、差分演算器951の出力である $\Delta\theta$ を用いて正弦演算を行い、 $\sin \Delta\theta$ を出力する。乗算器935では正弦演算器933の出力である $\sin \Delta\theta$ に回転子磁束の大きさ ϕ_f を乗算して、高周波電圧ベクトルと直交方向の検出磁束ベクトルである ϕ_{qrD} として出力する。

[0079] 以上説明したように、実施の形態 2 に係る交流回転機の制御装置は、磁束ベクトル検出部 9 が出力する検出磁束ベクトル ϕ_{drD} 、 ϕ_{qrD} を演算する際、検出電流ベクトルから高周波電圧ベクトルと同一周波数成分の高周波電流ベクトルを抽出している。この抽出した高周波電流ベクトルのうち、高周波電圧ベクトルと平行方向の i_{dh} の大きさ $|i_{dh}|$ を用いて $|i_{dh}|$ に含まれる高周波電圧ベクトルを印加している d 軸と回転子磁束ベクトルと平行方向である d_m 軸との差分 $\Delta\theta$ を演算し、 $\Delta\theta$ と回転子磁束ベクトルの大きさ ϕ_f のみを用いる。このため、実施の形態 1 と同様に、演算量の低減ができ、また、速度制御応答やトルク制御応答などの応答性を高く保つことができる効果がある。

[0080] 実施の形態 3.

実施の形態 1 では電流ベクトル検出部が出力する検出電流ベクトルは、交流回転機の回転子に同期して回転する直交座標である $d-q$ 軸上の検出電流ベクトルであり、制御部、偏差ベクトル演算部、偏差増幅部、適応観測部、磁束ベクトル検出部も $d-q$ 軸上で構成していた。

一方、本実施の形態 3 では、電流ベクトル検出部が出力する検出電流ベクトルを静止直交座標系として公知である $\alpha-\beta$ 軸上の検出電流ベクトル (i_α 、 i_β) を出力し、制御部、偏差ベクトル演算部、偏差増幅部、適応観測部、磁束ベクトル検出部も $\alpha-\beta$ 軸上で構成したものである。

[0081] 以下、本願発明の実施の形態 3 について、交流回転機の制御装置 10 に係るシステム構成図である図 16、制御部の構成図である図 17、制御部の内部構成図である図 18、適応観測部の構成図である図 19、適応観測部の内部構成図である図 20、磁束ベクトル検出部の構成図である図 21、磁束ベクトル検出部の内部構成図である図 22～図 24、回転子磁束ベクトルの説明図である図 25 に基づいて説明する。

[0082] まず、本願発明の実施の形態 3 に係る交流回転機の制御装置 10 を含む全体システム構成について説明する。

図 16 において、交流回転機の制御装置 10 は、交流回転機 2 を制御する

ために、電流ベクトル検出部 13、制御部 14、電圧印加部 5、偏差ベクトル演算部 6、偏差増幅部 7、適応観測部 18、磁束ベクトル検出部 19 から構成される。

図 16 において、図 1 と同一あるいは相当部分には、同一の符号を付している。

[0083] 実施の形態 3 の交流回転機の制御装置 10 が、実施の形態 1 の交流回転機の制御装置 1 と異なる点は、電流ベクトル検出部 13、制御部 14、適応観測部 18、磁束ベクトル検出部 19 の構成のみであるため、以下、順次、交流回転機の制御装置 10 の各構成部の構成、機能および動作について、この差異を中心に説明する。

[0084] 電流ベクトル検出部 13 は、交流回転機 2 に流れる 3 相電流を検出し、座標変換器 131 において、交流回転機 2 の回転子の静止直交座標系である α - β 軸に 3 相電流を α 軸方向に座標変換した α 軸電流 i_α と β 軸方向に座標変換した β 軸電流 i_β とを検出電流ベクトル (i_α 、 i_β) として出力する。

[0085] 次に、図 17 に基づき制御部 14 の構成、機能および動作について説明する。

制御部 14 は、座標変換器 141、加減算器 142、電流制御器 143、座標変換器 144、高周波電圧ベクトル発生器 145、加減算器 146 から構成される。

なお、制御部 14 の演算は d - q 軸上で行う。座標変換器 141 は、後述する適応観測部 18 の出力である推定位置 θ_0 を用いて、検出電流ベクトル (i_α 、 i_β) を d - q 軸上のベクトルに変換する。加減算器 142 では、外部から与えられる電流指令ベクトル (i_{d_ref} 、 i_{q_ref}) から座標変換器 141 の出力である検出電流ベクトル (i_{ds} 、 i_{qs}) をそれぞれ減算する。電流制御器 143 では、加減算器 142 の出力である電流指令ベクトルと検出電流ベクトルの偏差が無くなるように、比例積分制御して基本波電圧ベクトル (v_{df} 、 v_{qf}) を出力する。座標変換器 144 では

、推定位置 θ_0 を用いて基本波電圧ベクトル (v_{df} , v_{qf}) を $d-q$ 軸から静止座標の電圧指令ベクトル (v_{uf} , v_{vf} , v_{wf}) に変換し出力する。

高周波電圧ベクトル発生器 145 は、図 18 の高周波電圧ベクトル発生器 145 の構成図のように、(22) 式で表す静止直交座標である $\alpha-\beta$ 軸の高周波電圧指令ベクトル ($v_{\alpha h}$, $v_{\beta h}$) を与え、座標変換器 401 により、静止座標の高周波電圧ベクトル指令 (v_{uh} , v_{vh} , v_{wh}) に変換して出力する。

本実施の形態 3 では、このように高周波電圧ベクトル指令を与えることで、実施の形態 1 の交番電圧とは異なり、回転電圧の高周波電圧ベクトル指令を与えることができる。

[0086] [数22]

【数22】

$$\begin{aligned} v_{\alpha h} &= V_h \sin \omega t \\ v_{\beta h} &= V_h \cos \omega t \end{aligned} \quad \dots (22)$$

[0087] 加減算器 146 では、座標変換器 144 の出力である電圧指令ベクトル (v_{uf} , v_{vf} , v_{wf}) と高周波電圧ベクトル指令 (v_{uh} , v_{vh} , v_{wh}) を加算して、電圧指令ベクトル (v_u , v_v , v_w) を出力する。

[0088] 次に、偏差ベクトル演算部 6 について説明する。

偏差ベクトル演算部 6 は、入力と出力が $d-q$ 軸から $\alpha-\beta$ 軸に変わっているが、実施の形態 1 と同様に推定電流ベクトル ($i_{\alpha 0}$, $i_{\beta 0}$) と検出電流ベクトル (i_{α} , i_{β}) の差分である電流偏差ベクトル ($e_{i\alpha}$, $e_{i\beta}$) と、推定磁束ベクトル ($\phi_{\alpha r 0}$, $\phi_{\beta r 0}$) と検出磁束ベクトル ($\phi_{\alpha r D}$, $\phi_{\beta r D}$) の差分である磁束偏差ベクトル ($e_{\phi\alpha r}$, $e_{\phi\beta r}$) とを出力する。

[0089] 次に、偏差増幅部 7 について説明する。

偏差増幅部 7 も、入力と出力が $d-q$ 軸から $\alpha-\beta$ 軸に変わっているが、

実施の形態１と同様に、電流偏差ベクトル（ $e_{i\alpha}$ 、 $e_{i\beta}$ ）に（１）式の行列 H_c を乗算したものと、磁束偏差ベクトル（ $e_{\phi\alpha r}$ 、 $e_{\phi\beta r}$ ）に（１）式の行列 H_f を乗算したものを加算した増幅偏差ベクトル（ e_1 、 e_2 、 e_3 、 e_4 ）を出力する。

[0090] 次に、適応観測部１８について説明する。適応観測部１８も基本的な構成は実施の形態１の適応観測部８と同様であるが、内部の行列 A と行列 C_1 が異なる。

図１９は適応観測部１８の構成図であり、図２０は適応観測部１８の主要構成要素である状態観測器１８２の構成図である。

図１９において、適応観測部１８は、座標変換器１８１、状態観測器１８２、積分器１８３から構成される。

図２０において、状態観測器１８２は、ゲイン行列演算器８３１、８３３、８３５、８３６、および加減算器８３２、積分器８３４、速度推定器８３７から構成される。

[0091] 次に、適応観測部１８の全体動作について説明する。

適応観測部１８において、実施の形態１の適応観測部８の（２）～（４）式の演算に相当する式は、それぞれ下記の（２３）～（２５）式であり、（６）～（７）式に相当する式は、それぞれ（２６）～（２７）式である。

[0092] [数23]

【数23】

$$A = \begin{pmatrix} -\frac{R}{L\alpha} & 0 & 0 & \omega r_0 \\ 0 & -\frac{R}{L\beta} & -\omega r_0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\omega r_0 \\ 0 & 0 & \omega r_0 & 0 \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, C_1 = \begin{pmatrix} \frac{1}{L\alpha} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{L\beta} & 0 & 0 \end{pmatrix}, C_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \dots (23)$$

[0093]

[数24]

【数24】

$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} \phi_{\alpha s0} \\ \phi_{\beta s0} \\ \phi_{\alpha r0} \\ \phi_{\beta r0} \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} \phi_{\alpha s0} \\ \phi_{\beta s0} \\ \phi_{\alpha r0} \\ \phi_{\beta r0} \end{pmatrix} + B \begin{pmatrix} v_{\alpha s} \\ v_{\beta s} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} e1 \\ e2 \\ e3 \\ e4 \end{pmatrix} \quad \dots \quad (24)$$

[0094] [数25]

【数25】

$$\omega r0 = \left(k_p + \frac{k_i}{s} \right) (e1 \beta s \cdot \phi_{\alpha r0} - e1 \alpha s \cdot \phi_{\beta r0}) \quad \dots \quad (25)$$

[0095] [数26]

【数26】

$$\begin{pmatrix} i_{\alpha s0} \\ i_{\beta s0} \end{pmatrix} = C1 \begin{pmatrix} \phi_{\alpha s0} \\ \phi_{\beta s0} \\ \phi_{\alpha r0} \\ \phi_{\beta r0} \end{pmatrix} \quad \dots \quad (26)$$

[0096] [数27]

【数27】

$$\begin{pmatrix} \phi_{\alpha r0} \\ \phi_{\beta r0} \end{pmatrix} = C2 \begin{pmatrix} \phi_{\alpha s0} \\ \phi_{\beta s0} \\ \phi_{\alpha r0} \\ \phi_{\beta r0} \end{pmatrix} \quad \dots \quad (27)$$

[0097] 次に、適応観測部 18 の各主要構成要素の機能および動作について説明する。

図 19 において、座標変換器 181 は制御部 14 の出力である 3 相交流の

電圧指令ベクトルを静止直交座標である $\alpha-\beta$ 軸の電圧指令ベクトル($v_{\alpha s}$ 、 $v_{\beta s}$)に変換し、状態観測器182へ出力する。図20の状態観測器182では、座標変換器181の出力である電圧指令ベクトル($v_{\alpha s}$ 、 $v_{\alpha s}$)^Tにゲイン行列演算器831で(23)式の行列Bを乗算した結果を出力する。加減算器832はゲイン行列演算器831の出力とゲイン行列演算器833の出力と増幅偏差ベクトル(e_1 、 e_2 、 e_3 、 e_4)^Tとを加減算したベクトルを出力する。積分器834は加減算器832が出力するベクトルを要素毎に積分し、ベクトル($\phi_{\alpha s 0}$ 、 $\phi_{\beta s 0}$ 、 $\phi_{\alpha r 0}$ 、 $\phi_{\beta r 0}$)^Tとして出力する。以上が、(24)式右辺に相当する部分である。(24)式の左辺は、積分器834の入力部分に相当する。

ゲイン行列演算器835は、(23)式の行列C1をベクトル($\phi_{\alpha s 0}$ 、 $\phi_{\beta s 0}$ 、 $\phi_{\alpha r 0}$ 、 $\phi_{\beta r 0}$)^Tに乗算することで、推定電流ベクトル($\phi_{\alpha s 0}$ 、 $\phi_{\beta s 0}$)^Tを出力する。この部分は(26)式に相当する。

なお、ここでベクトル($\phi_{\alpha s 0}$ 、 $\phi_{\beta s 0}$ 、 $\phi_{\alpha r 0}$ 、 $\phi_{\beta r 0}$)^Tは、固定子・回転子推定磁束ベクトルである。

ゲイン行列演算器836は行列C2をベクトル($\phi_{\alpha s 0}$ 、 $\phi_{\beta s 0}$ 、 $\phi_{\alpha r 0}$ 、 $\phi_{\beta r 0}$)^Tに乗算することで、推定磁束ベクトル($\phi_{\alpha r 0}$ 、 $\phi_{\beta r 0}$)^Tを出力する。この部分は(27)式に相当する。

ゲイン行列演算器833は、速度推定器837の出力である推定速度 $\omega_{r 0}$ を入力し、積分器834の出力であるベクトル($\phi_{\alpha s 0}$ 、 $\phi_{\beta s 0}$ 、 $\phi_{\alpha r 0}$ 、 $\phi_{\beta r 0}$)^Tに行列Aを施して、結果を加減算器832に出力する。

図19の積分器183では、実施の形態1と同様に(5)式により、状態観測器182の出力である推定速度 $\omega_{r 0}$ を積分することで推定位置 θ_0 を求める。

以上が、適応観測部18の構成、機能および動作の説明である。

[0098] 次に、磁束ベクトル検出部19の構成、機能および動作について図21から図25に基づいて説明する。

まず、磁束ベクトル検出部 19 の構成を説明する。

磁束ベクトル検出部 19 の構成図である図 21 において、磁束ベクトル検出部 19 は、フィルタ 91、 α 軸成分抽出器 192、 β 軸成分抽出器 193、検出磁束ベクトル演算器 194 から構成される。

α 軸成分抽出器 192 は、図 22 に示すように、 α 軸成分選択器 961、振幅演算器 962 から構成される。 β 軸成分抽出器 193 は、図 23 に示すように、 β 軸成分選択器 963、振幅演算器 964 から構成される。検出磁束ベクトル演算器 194 は、図 24 に示すように、差分演算器 965、余弦演算器 966、正弦演算器 967、乗算器 968、969 から構成される。

[0099] 次に、磁束ベクトル検出部 19 の機能および動作について説明するが、まず、磁束ベクトル検出部 19 の全体の動作を説明し、その後、各構成要素の機能、動作を説明する。

[0100] 図 17 の高周波電圧ベクトル発生器 145 から、高周波電圧ベクトル ($v_{\alpha h}$, $v_{\beta h}$) を印加しているときの交流回転機 2 の α - β 軸上の数式は、(28) 式のように表現することができる。ここで、式中の p は微分演算子である。

[0101] [数28]

【数28】

$$\begin{bmatrix} v_{\alpha h} \\ v_{\beta h} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R+pL_{\alpha} & 0 \\ 0 & R+pL_{\beta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{\alpha h} \\ i_{\beta h} \end{bmatrix} + \omega_r \phi_f \begin{bmatrix} -\sin \theta_{dm} \\ \cos \theta_{dm} \end{bmatrix} \dots (28)$$

$$\text{ただし、} \begin{pmatrix} L_{\alpha} = L - l \cos 2\theta_{dm}, \quad L_{\beta} = L + l \cos 2\theta_{dm} \\ \theta_{dm}: \text{回転子位置 (回転子磁束ベクトルの位置)} \\ i_{\alpha h}: \alpha \text{ 軸高周波電流}, i_{\beta h}: \beta \text{ 軸高周波電流} \end{pmatrix}$$

[0102] 実施の形態 1 と同様に、高周波電圧ベクトルは零速～低速でのみ印加するので、回転速度 $\omega_r \doteq 0$ とすれば (29) 式を得ることができる。

[0103]

[数29]

【数29】

$$\begin{bmatrix} v_{\alpha h} \\ v_{\beta h} \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} i_{\alpha h} \\ i_{\beta h} \end{bmatrix} + p \begin{bmatrix} L_{\alpha} & 0 \\ 0 & L_{\beta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{\alpha h} \\ i_{\beta h} \end{bmatrix} \dots (29)$$

[0104] さらに、右辺第2項は、高周波電流の微分であり、高周波電流の微分は高周波電圧の角周波数 ωh 倍されるため、右辺第2項 $\gg$ 右辺第1項となるため、右辺第1項は無視することができ、その結果(30)式を得ることができる。

[0105] [数30]

【数30】

$$p \begin{bmatrix} i_{\alpha h} \\ i_{\beta h} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L - l \cos 2\theta_{dm} & 0 \\ 0 & L + l \cos 2\theta_{dm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{\alpha h} \\ v_{\beta h} \end{bmatrix} \dots (30)$$

[0106] ここで、高周波電圧ベクトル($v_{\alpha h}$ 、 $v_{\beta h}$)は(22)式で与えられるので、高周波電流ベクトル($i_{\alpha h}$ 、 $i_{\beta h}$)は(30)式に(22)式を代入し、両辺を積分することで、(31)式のようになる。

[0107] [数31]

【数31】

$$\begin{bmatrix} i_{\alpha h} \\ i_{\beta h} \end{bmatrix} = \frac{V_h}{\omega h} \begin{bmatrix} \frac{1}{L + l \cos 2\theta_{dm}} & 0 \\ 0 & \frac{1}{L - l \cos 2\theta_{dm}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\cos \omega h t \\ \sin \omega h t \end{bmatrix} \dots (31)$$

[0108] 次に検出磁束ベクトルについて説明する。図25のように、ある瞬間において、回転子磁束ベクトル Φ_r と α 軸が図25のような関係となり、それらのなす角を θ_{dm} とする。回転子位置は回転子磁束ベクトルと平行方向とするので、 α 軸から見た回転子位置は θ_{dm} となる。前述したように、本実施の形態3では偏差ベクトル演算部6で、 $\alpha - \beta$ 軸上の磁束偏差ベクトルを演算するので、磁束ベクトル検出部19が出力する検出磁束ベクトルは $\alpha - \beta$

軸上のものである。図 25 より、回転子磁束ベクトルの α 軸方向の射影成分を $\phi_{\alpha r D}$ 、 β 軸方向の射影成分を $\phi_{\beta r D}$ とする。 $\phi_{\alpha r D}$ と $\phi_{\beta r D}$ は、(32) 式で求められ、検出磁束ベクトル ($\phi_{\alpha r D}$, $\phi_{\beta r D}$) を磁束ベクトル検出部 19 が出力する。

[0109] [数32]

【数32】

$$\begin{aligned}\phi_{\alpha r D} &= |\Phi_r| \cos \theta_{dm} \\ &= \phi_f \cos \theta_{dm} \\ \phi_{\beta r D} &= |\Phi_r| \sin \theta_{dm} \\ &= \phi_f \sin \theta_{dm}\end{aligned} \quad \dots (32)$$

[0110] (32) 式中の ϕ_f は、回転子磁束ベクトル Φ_r の大きさに既知の値である。(32) 式から検出磁束ベクトルの成分 $\phi_{\alpha r D}$ 、 $\phi_{\beta r D}$ を演算するためには θ_{dm} が分かればよい。

(31) 式に着目すると、高周波電流ベクトル ($i_{\alpha h}$ 、 $i_{\beta h}$) の大きさに θ_{dm} が含まれているので、高周波電流ベクトル ($i_{\alpha h}$ 、 $i_{\beta h}$) の大きさから θ_{dm} を求めることができる。 α 軸の高周波電流 $i_{\alpha h}$ の大きさを $|i_{\alpha h}|$ 、 β 軸の高周波電流 $i_{\beta h}$ の大きさを $|i_{\beta h}|$ とすると、 $|i_{\alpha h}|$ 、 $|i_{\beta h}|$ は (33) 式となる。

[0111] [数33]

【数33】

$$\begin{aligned}|i_{\alpha h}| &= \frac{V_h}{\omega_h L} \frac{1}{-|\cos 2 \theta_{dm}|} \\ |i_{\beta h}| &= \frac{V_h}{\omega_h L} \frac{1}{+|\cos 2 \theta_{dm}|}\end{aligned} \quad \dots (33)$$

[0112] また、 $|i_{\alpha h}|$ 、 $|i_{\beta h}|$ の大きさは、高周波電流ベクトル ($i_{\alpha h}$ 、 $i_{\beta h}$) より、(34) 式の演算を行うことで求めることができる。ここで、式 (34) 中の T は、高周波電流ベクトル ($i_{\alpha h}$ 、 $i_{\beta h}$) の周期である。

[0113] [数34]

【数34】

$$|i \alpha h| = \sqrt{\frac{2}{T} \int_0^T |i \alpha h|^2 dt} \quad \dots (34)$$

$$|i \beta h| = \sqrt{\frac{2}{T} \int_0^T |i \beta h|^2 dt}$$

[0114] (33) 式より、 $|i \beta h|$ の逆数から $|i \alpha h|$ の逆数を減算したものは (35) 式となるので、(35) 式より θ_{dm} は (36) 式のようにして求めることができる。

[0115] [数35]

【数35】

$$\frac{1}{|i \beta h|} - \frac{1}{|i \alpha h|} = \frac{2 \omega h}{Vh} \cos 2 \theta_{dm} \quad \dots (35)$$

[0116] [数36]

【数36】

$$\theta_{dm} = \frac{\cos^{-1} \left\{ \frac{Vh}{2 \omega h} \left(\frac{1}{|i \beta h|} - \frac{1}{|i \alpha h|} \right) \right\}}{2} \quad \dots (36)$$

[0117] 以上により、検出磁束ベクトル ($\phi \alpha r D$ 、 $\phi \beta r D$) は (32)、(36) 式より求めることができる。

以上が磁束ベクトル検出部 19 の全体の動作である。

[0118] 次に、磁束ベクトル検出部 19 の各構成要素の機能、動作について説明をする。

図 21 のフィルタ 91 は、入力と出力が $\alpha - \beta$ 軸上の検出電流ベクトルと高周波電流ベクトルになっただけで実施の形態 1 と同じであり、検出電流ベクトル ($i \alpha s$ 、 $i \beta s$) から高周波電流ベクトル ($i \alpha h$ 、 $i \beta h$) を出力する。

α 軸成分抽出器192は、図22のように、 α 軸成分選択器961により高周波電流ベクトル($i_{\alpha h}$, $i_{\beta h}$)に行列 $(1, 0)^T$ を乗算することで α 軸方向の高周波電流ベクトルの成分である $i_{\alpha h}$ のみを選択する。振幅演算器962では(34)式の演算をすることで、 $i_{\alpha h}$ の大きさ $|i_{\alpha h}|$ を演算し出力する。 β 軸成分抽出器193は、図23のように、

β 軸成分選択器963により高周波電流ベクトル($i_{\alpha h}$, $i_{\beta h}$)に行列 $(0, 1)^T$ を乗算することで β 軸方向の高周波電流ベクトルの成分である $i_{\beta h}$ のみを選択する。振幅演算器964では(34)式の演算をすることで、 $i_{\beta h}$ の大きさ $|i_{\beta h}|$ を演算し出力する。

[0119] 検出磁束ベクトル演算器194について説明する。図24において、差分演算器965は、 α 軸成分抽出器192の出力である $|i_{\alpha h}|$ と β 軸成分抽出器193の出力である $|i_{\beta h}|$ より、(36)式の演算をして θ_{dm} を出力する。余弦演算器966では、差分演算器965の出力である θ_{dm} を用いて余弦演算を行い、 $\cos \theta_{dm}$ を出力する。乗算器968では、余弦演算器966の出力である $\cos \theta_{dm}$ に回転子磁束の大きさ ϕ_f を乗算して、 α 軸方向の検出磁束ベクトル成分である $\phi_{\alpha r D}$ を出力する。正弦演算器967では、差分演算器965の出力である θ_{dm} を用いて正弦演算を行い、 $\sin \theta_{dm}$ を出力する。乗算器969では、正弦演算器967の出力である $\sin \theta_{dm}$ に、回転子磁束の大きさ ϕ_f を乗算して、 β 軸方向の検出磁束ベクトル成分である $\phi_{\beta r D}$ を出力する。

以上が、磁束ベクトル検出部19の構成、機能および動作の説明である。

[0120] 以上説明したように、実施の形態3に係る交流回転機の制御装置は、検出磁束ベクトルと推定磁束ベクトルの偏差である磁束偏差ベクトルと、検出電流ベクトルと推定電流ベクトルの偏差である電流偏差ベクトルを求め、磁束偏差ベクトルを増幅した増幅偏差ベクトルを用いる。これにより零速～高速域まで適応観測部が出力する1種類の推定速度や推定位置のみで交流回転機を駆動することができるため、低周波領域位相生成器と高周波領域位相生成器の両方を同時に演算処理する必要がなく、演算処理を大幅に低減すること

ができる。

また、磁束ベクトル検出部が出力する検出磁束ベクトル ϕ_{drD} 、 ϕ_{qrD} を演算する際、検出電流ベクトルから高周波電圧ベクトルと同一周波数成分の高周波電流ベクトルを抽出し、抽出した高周波電流ベクトルの α 軸方向の $i_{\alpha h}$ の大きさ $|i_{\alpha h}|$ と β 軸方向の $i_{\beta h}$ の大きさ $|i_{\beta h}|$ から θ_{dm} を求め、 θ_{dm} と回転子磁束ベクトルの大きさ ϕ_f をのみを用いる。したがって、検出磁束ベクトルを求めるためにあらかじめ回転子角度を用意する必要がないため、演算量を低減することができ、また、回転子角度の推定応答も全く関係ないため、速度制御応答やトルク制御応答などの応答性を高く保つことができる。

さらに、検出磁束ベクトルを $\alpha-\beta$ 軸上のベクトルとすることで、適応観測部も $\alpha-\beta$ 軸で構成でき、電流ベクトル検出部や適応観測部内部の座標変換器を、推定位置 θ_0 を必要とする $d-q$ 軸上へ変換する座標変換器から演算量が少ない $\alpha-\beta$ 軸へ変換する座標変換器に置き換えることができるため、演算量を低減できる効果がある。

[0121] なお、本発明は、その発明の範囲内において、各実施の形態を自由に組み合わせたり、各実施の形態を適宜、変形、省略したりすることが可能である。

産業上の利用可能性

[0122] この発明は、全速度領域において位置センサを用いずに円滑な交流回転機の駆動が可能で、演算量の低減と応答性の向上を図ることができ、交流回転機の制御装置に広く適用できる。

請求の範囲

- [請求項1] 交流回転機の電流から検出電流ベクトルを検出する電流ベクトル検出部と、
前記交流回転機の前記検出電流ベクトルから回転子磁束ベクトルを検出し検出磁束ベクトルとして出力する磁束ベクトル検出部と、
前記交流回転機の推定電流ベクトルと推定磁束ベクトルと推定位置とを出力する適応観測部と、
前記検出電流ベクトルが電流指令ベクトルに一致するように電圧指令ベクトルを出力する制御部と、
前記電圧指令ベクトルに基づいて前記交流回転機に電圧を印加する電圧印加部と、
前記推定電流ベクトルと前記検出電流ベクトルの偏差である電流偏差ベクトルと、前記推定磁束ベクトルと前記検出磁束ベクトルの偏差である磁束偏差ベクトルとを出力する偏差ベクトル演算部と、
前記電流偏差ベクトルと前記磁束偏差ベクトルを増幅して増幅偏差ベクトルとして出力する偏差増幅部とを備え、
前記適応観測部は前記電圧指令ベクトルと前記増幅偏差ベクトルとに基づいて前記推定電流ベクトルと前記推定磁束ベクトルと前記推定位置とを演算して出力し、
さらに、前記制御部は前記交流回転機を駆動する周波数とは異なる周波数成分の高周波電圧ベクトルを重畳した電圧指令ベクトルを出力し、
前記磁束ベクトル検出部は前記検出電流ベクトルに含まれる前記高周波電圧ベクトルと同一周波数成分の高周波電流ベクトルの大きさと回転子磁束の大きさから前記検出磁束ベクトルを演算し出力する交流回転機の制御装置。
- [請求項2] 前記制御部は交番電圧の高周波電圧ベクトルを重畳した電圧ベクトルを出力し、
前記磁束ベクトル検出部は前記高周波電流ベクトルの前記交番電圧の

高周波電圧ベクトルと平行方向成分の大きさと直交方向成分の大きさのうち少なくとも一方と回転子磁束の大きさから前記検出磁束ベクトルを演算し出力する請求項 1 に記載の交流回転機の制御装置。

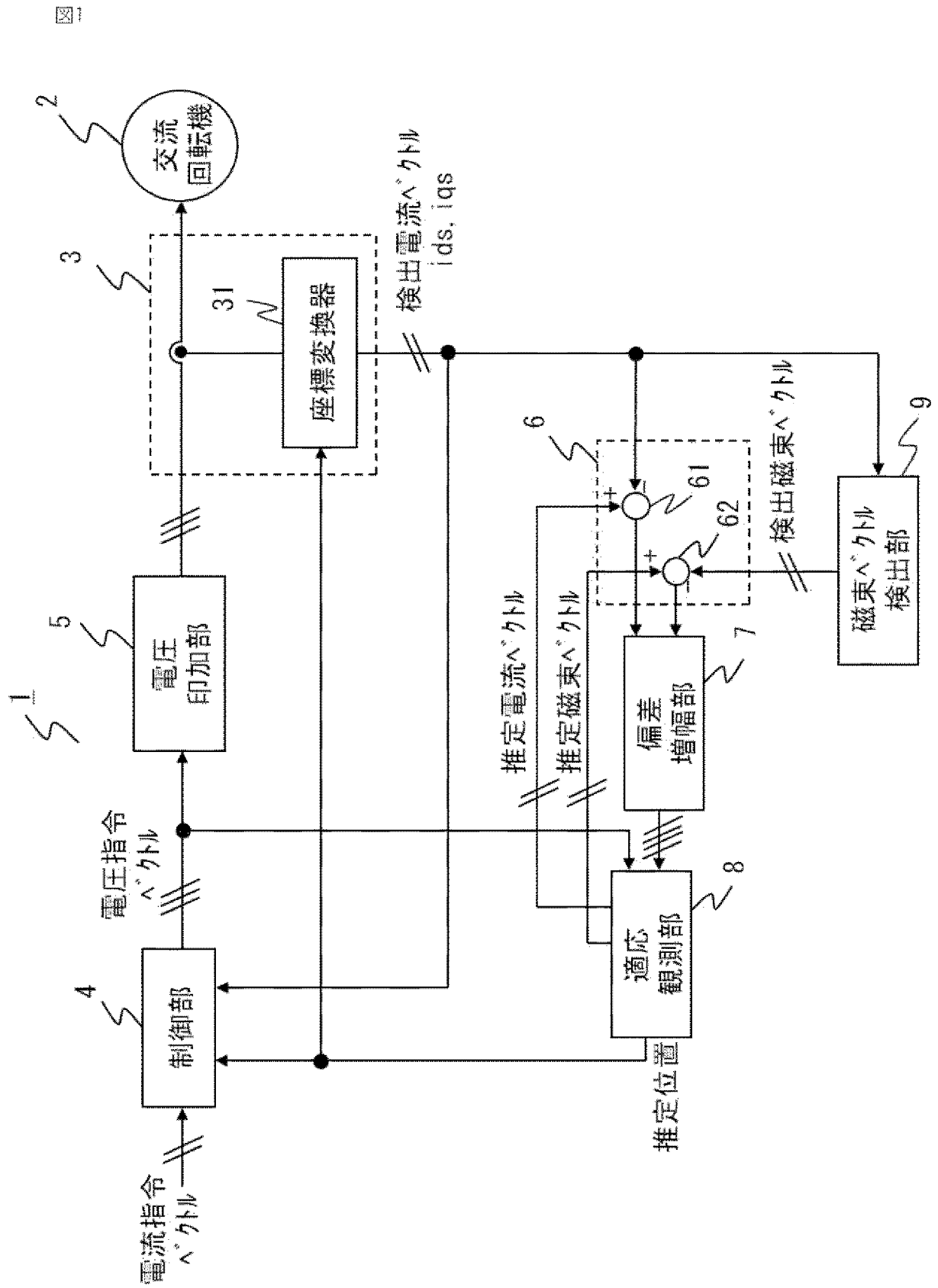
[請求項3] 前記磁束ベクトル検出部から出力する前記検出磁束ベクトルは、前記交番電圧ベクトルと平行方向成分と直交方向成分から構成される請求項 2 に記載の交流回転機の制御装置。

[請求項4] 前記制御部は回転電圧の高周波電圧ベクトルを重畳した電圧ベクトルを出力し、
前記磁束ベクトル検出部は前記高周波電流ベクトルを α 軸と β 軸からなる静止直交座標へ分解するとともに、前記高周波電流ベクトルの α 軸方向成分の大きさと β 軸方向成分の大きさと回転子磁束の大きさから前記検出磁束ベクトルを演算し出力する請求項 1 に記載の交流回転機の制御装置。

[請求項5] 前記磁束ベクトル検出部から出力する前記検出磁束ベクトルは、前記 α 軸方向成分と前記 β 軸方向成分から構成される請求項 4 に記載の交流回転機の制御装置。

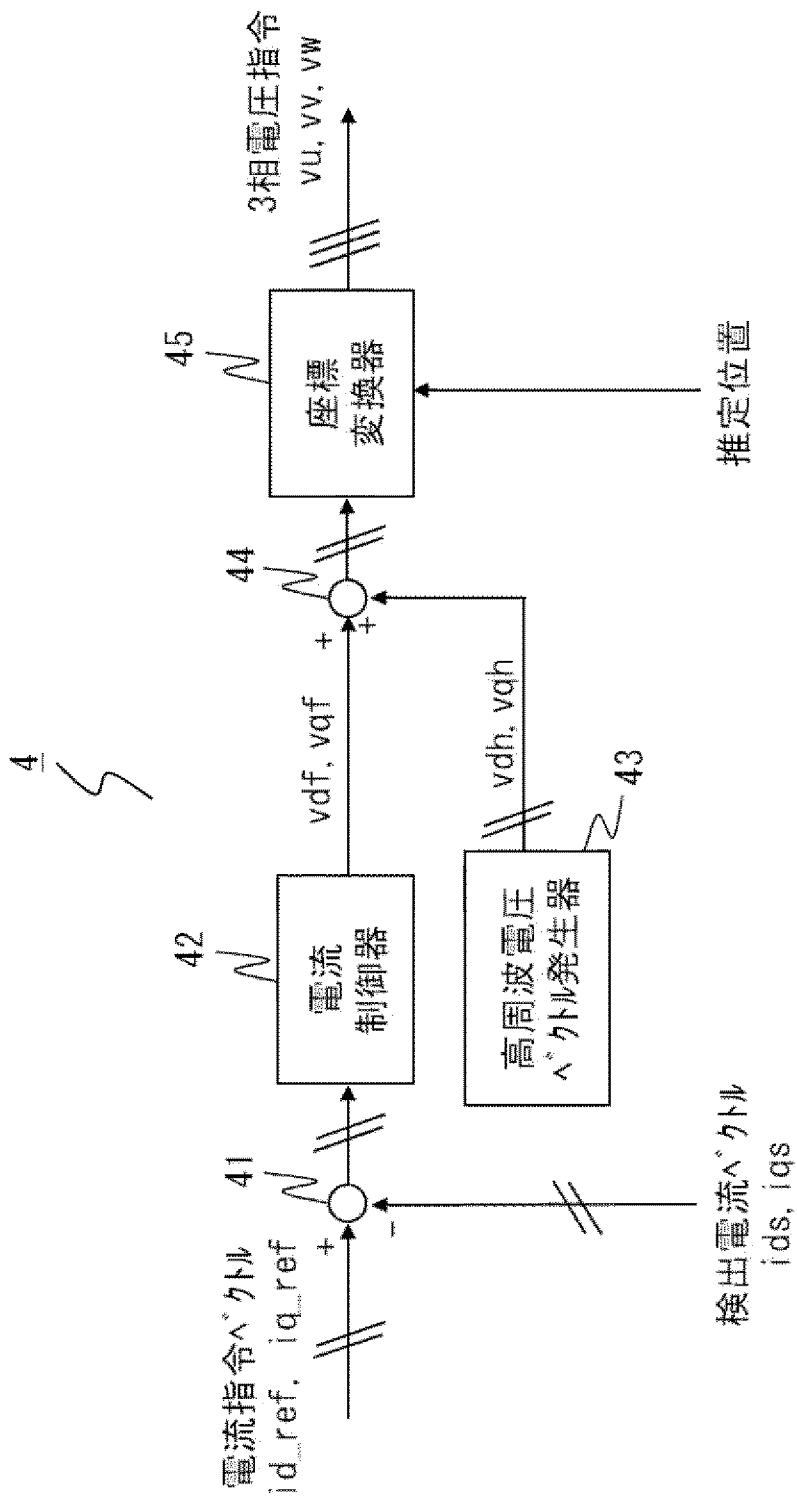
[請求項6] 前記偏差増幅部は前記電流偏差ベクトルと前記磁束偏差ベクトルを増幅する増幅ゲインを、前記適応観測部が演算した前記交流回転機の推定速度によって変更する構成とした請求項 1 に記載の交流回転機の制御装置。

[図1]



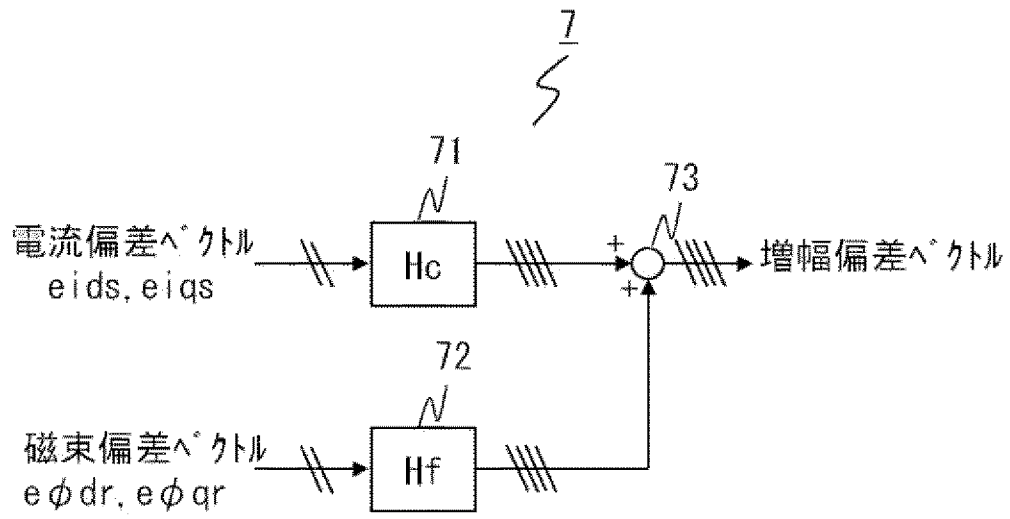
[図2]

図2



[図3]

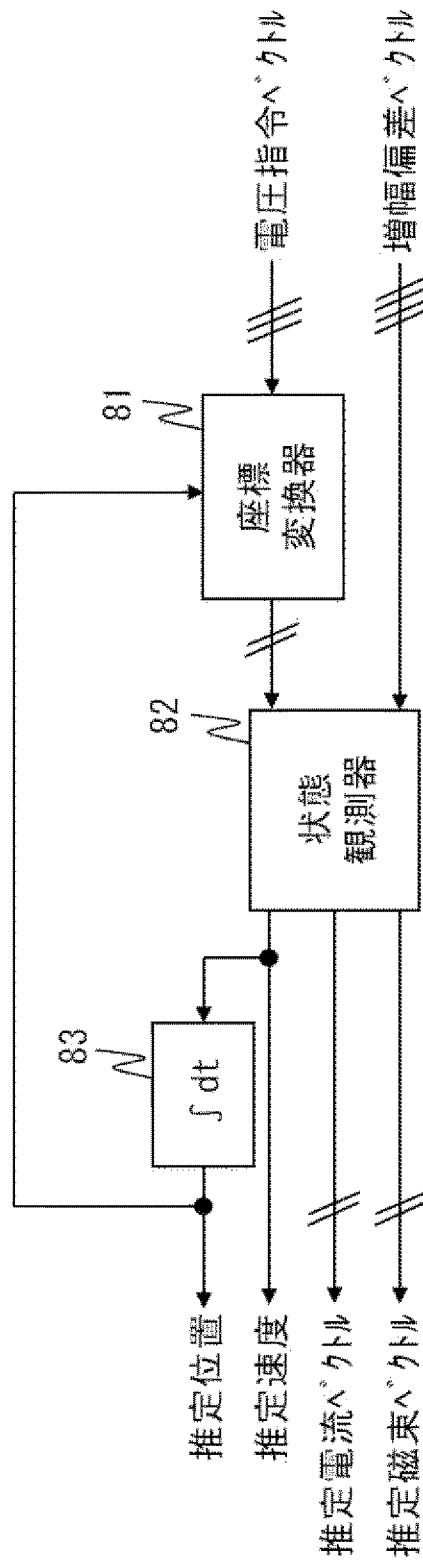
図3



[図4]

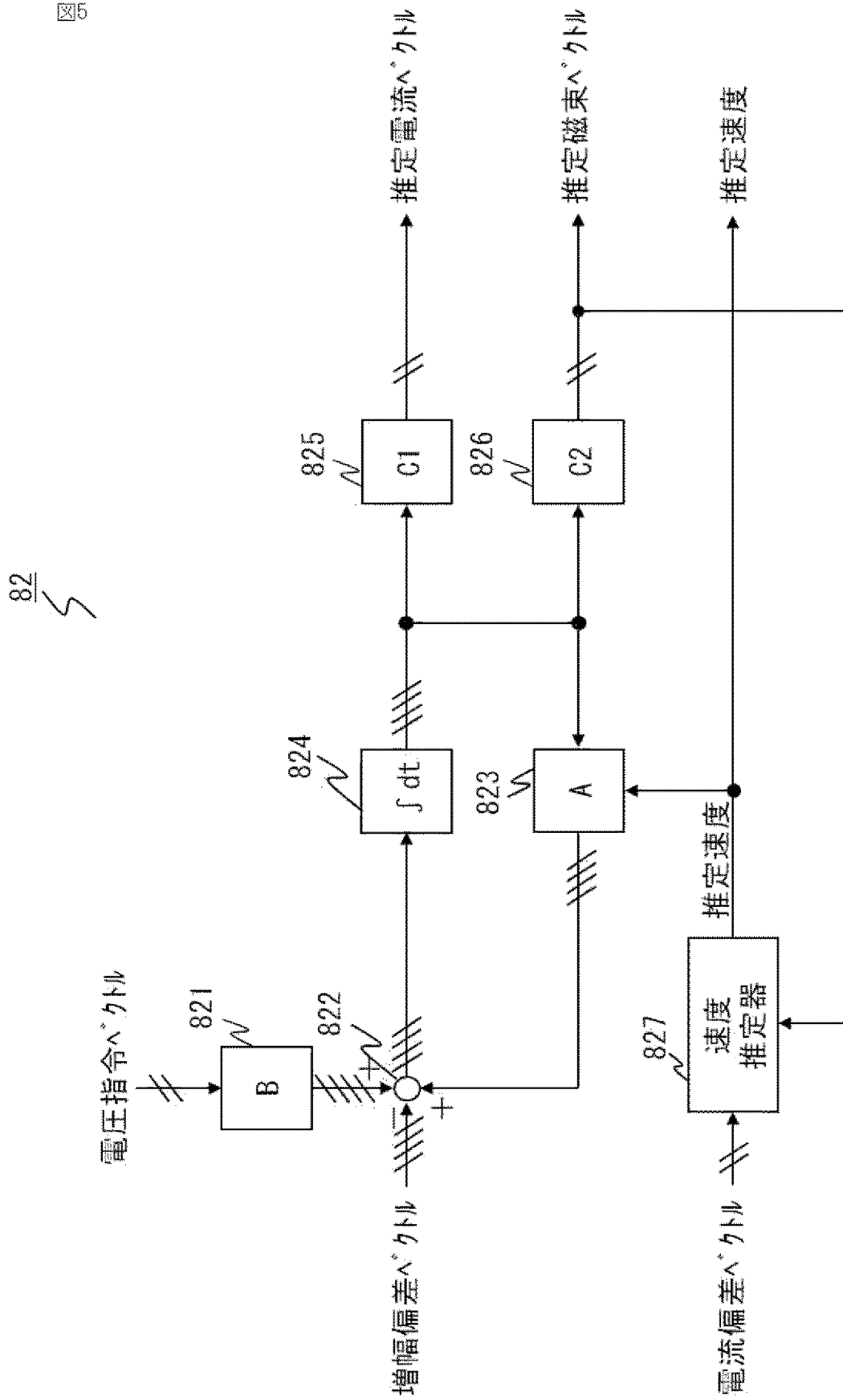
図4

8



[図5]

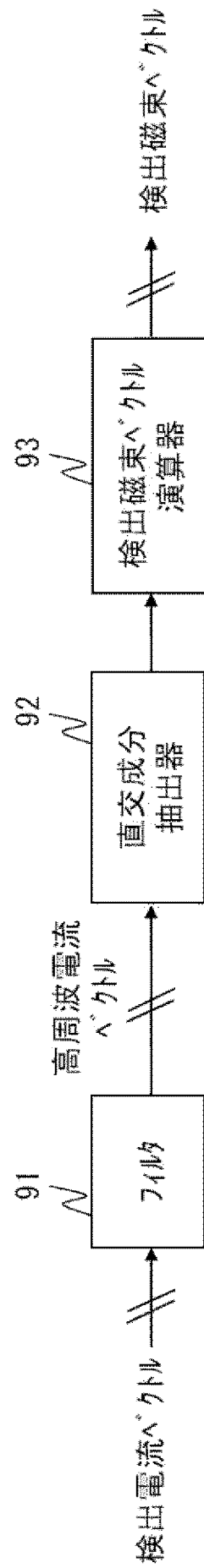
図5



[図6]

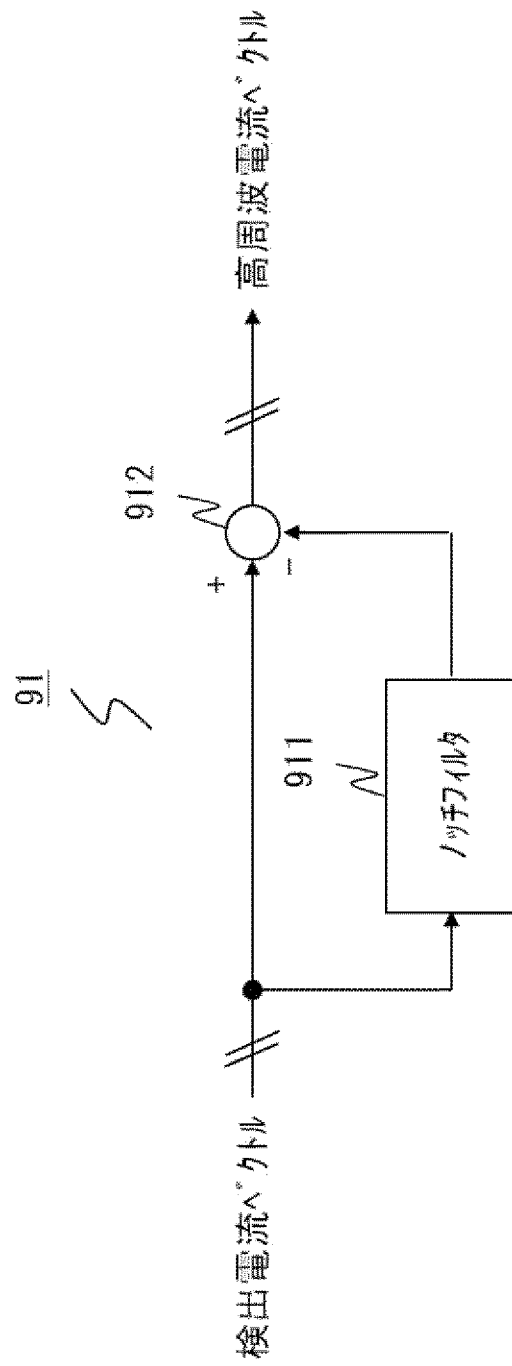
図6

9



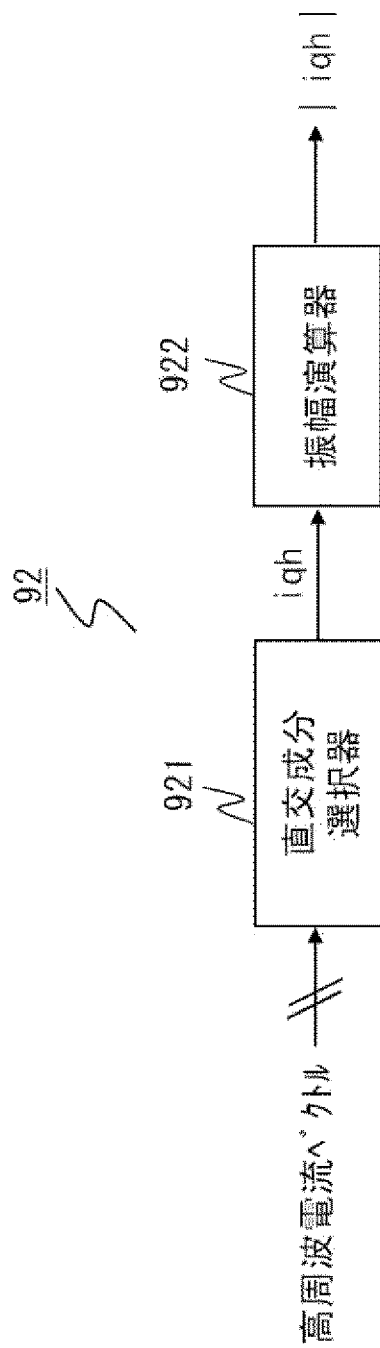
[図7]

図7



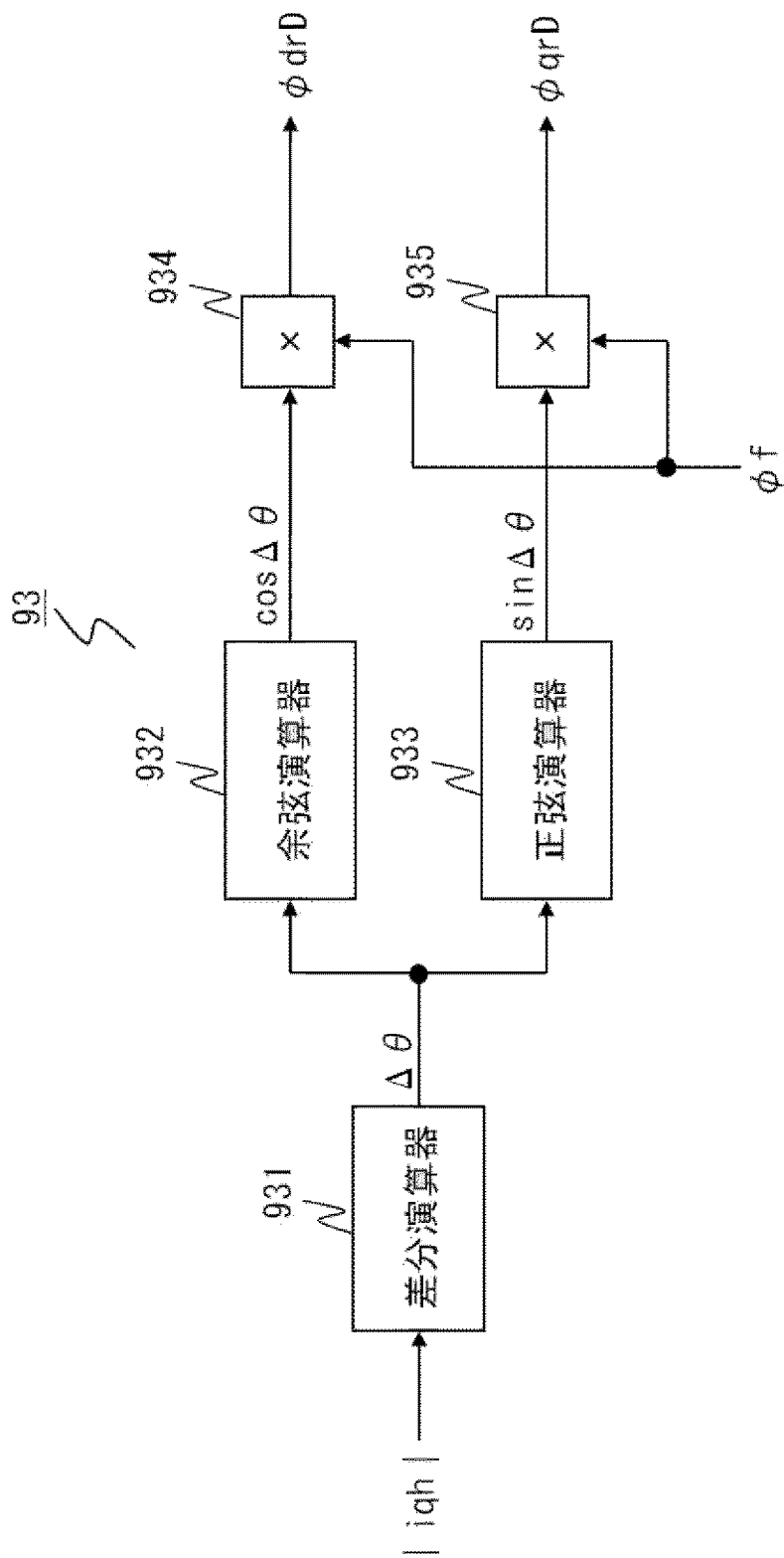
[図8]

図8



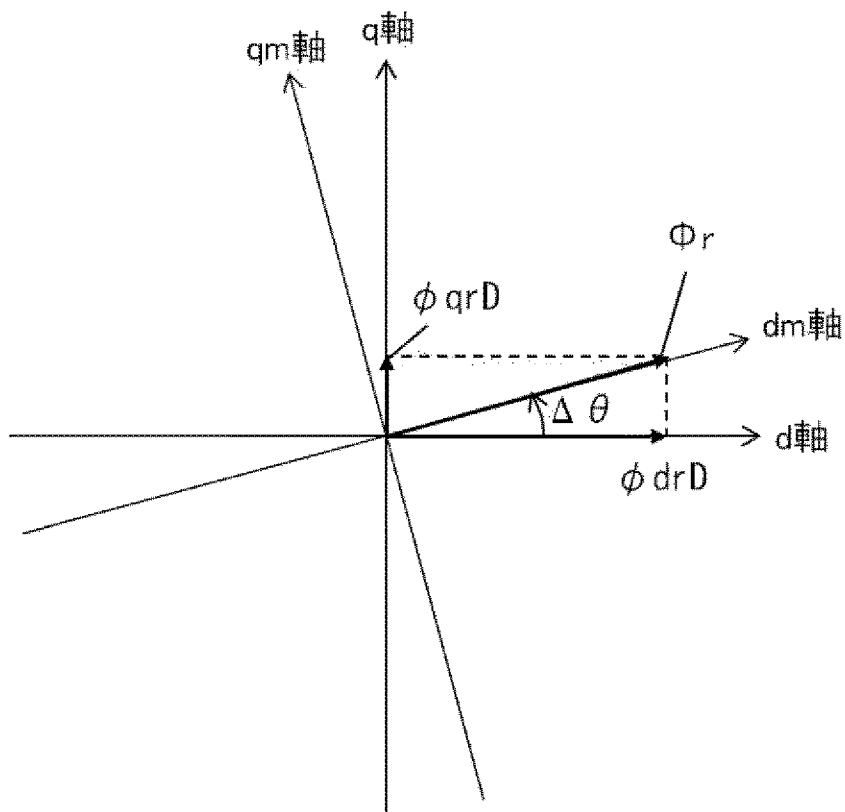
[図9]

図9



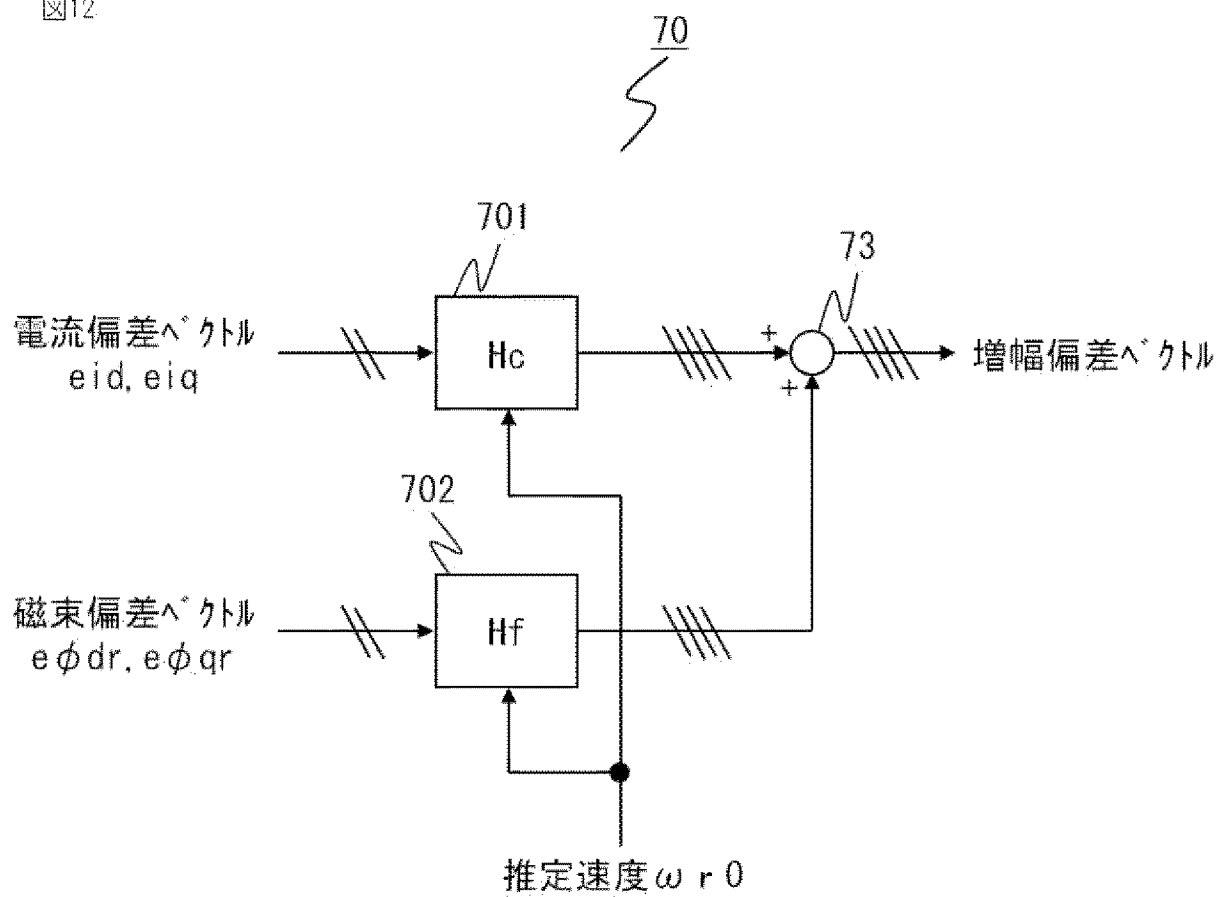
[図10]

図10



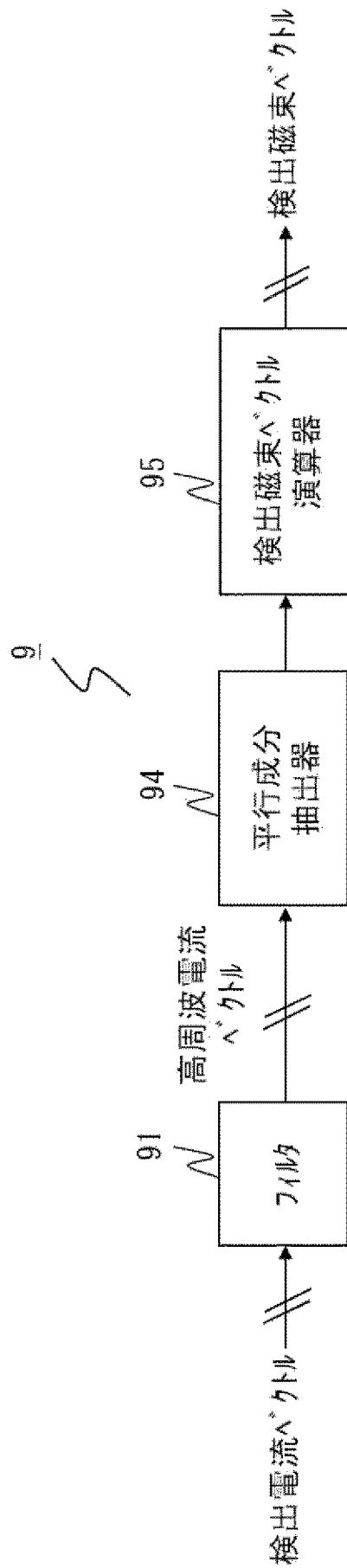
[図12]

図12



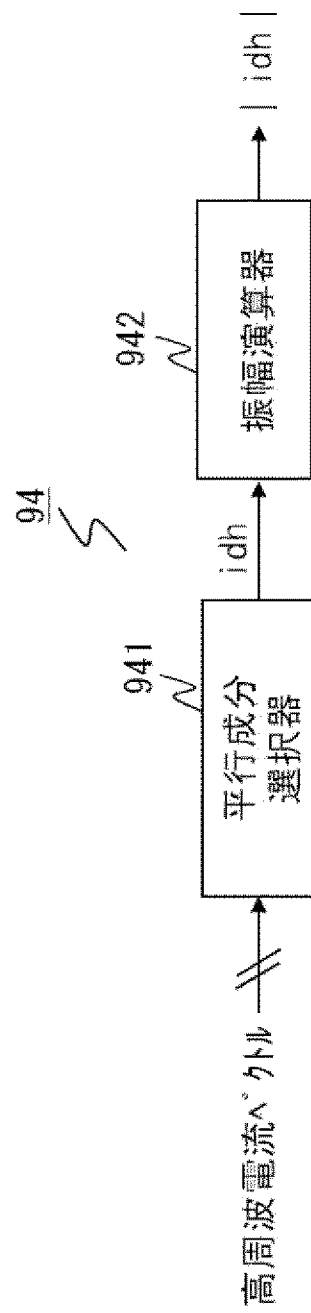
[図13]

図13



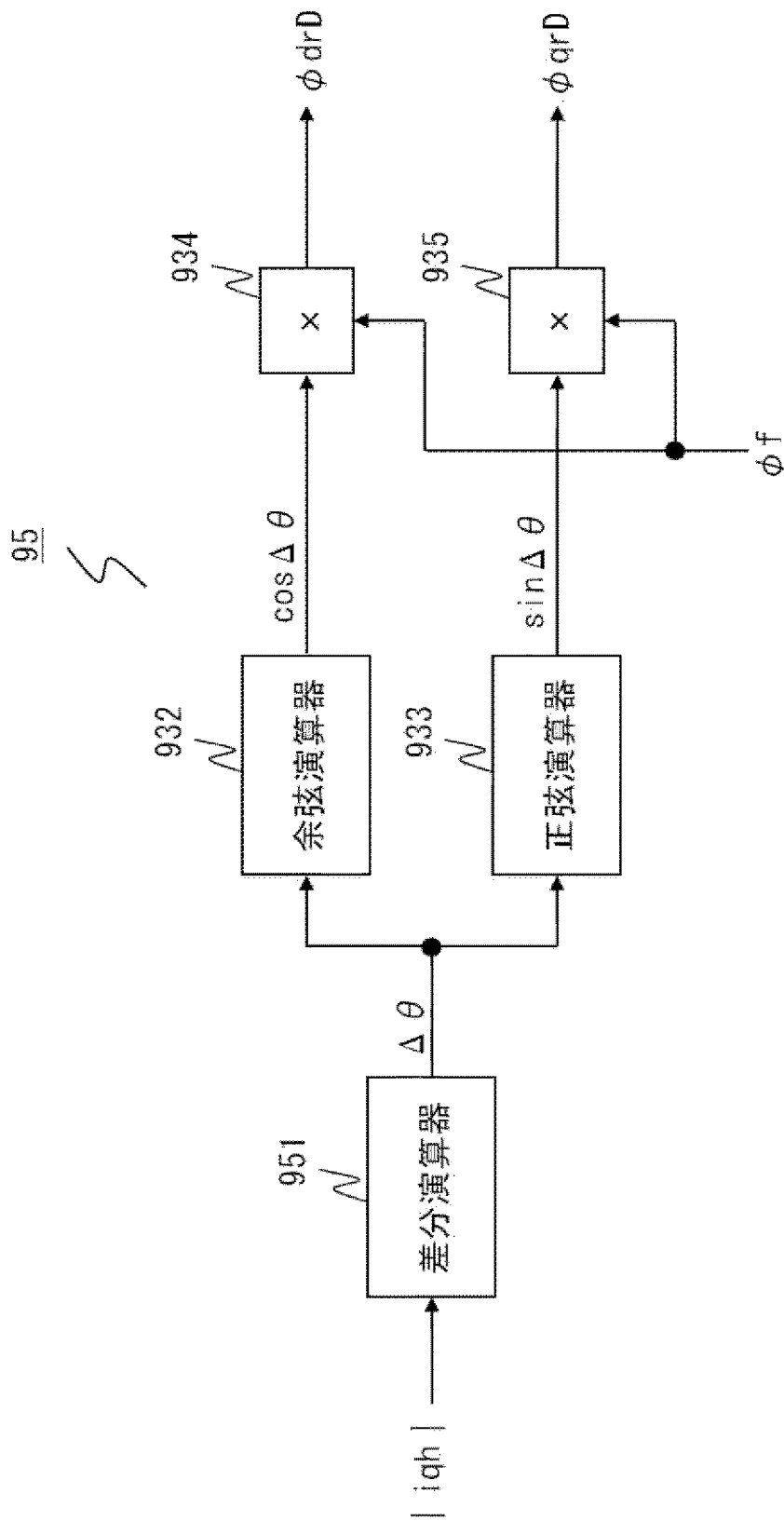
[図14]

図14



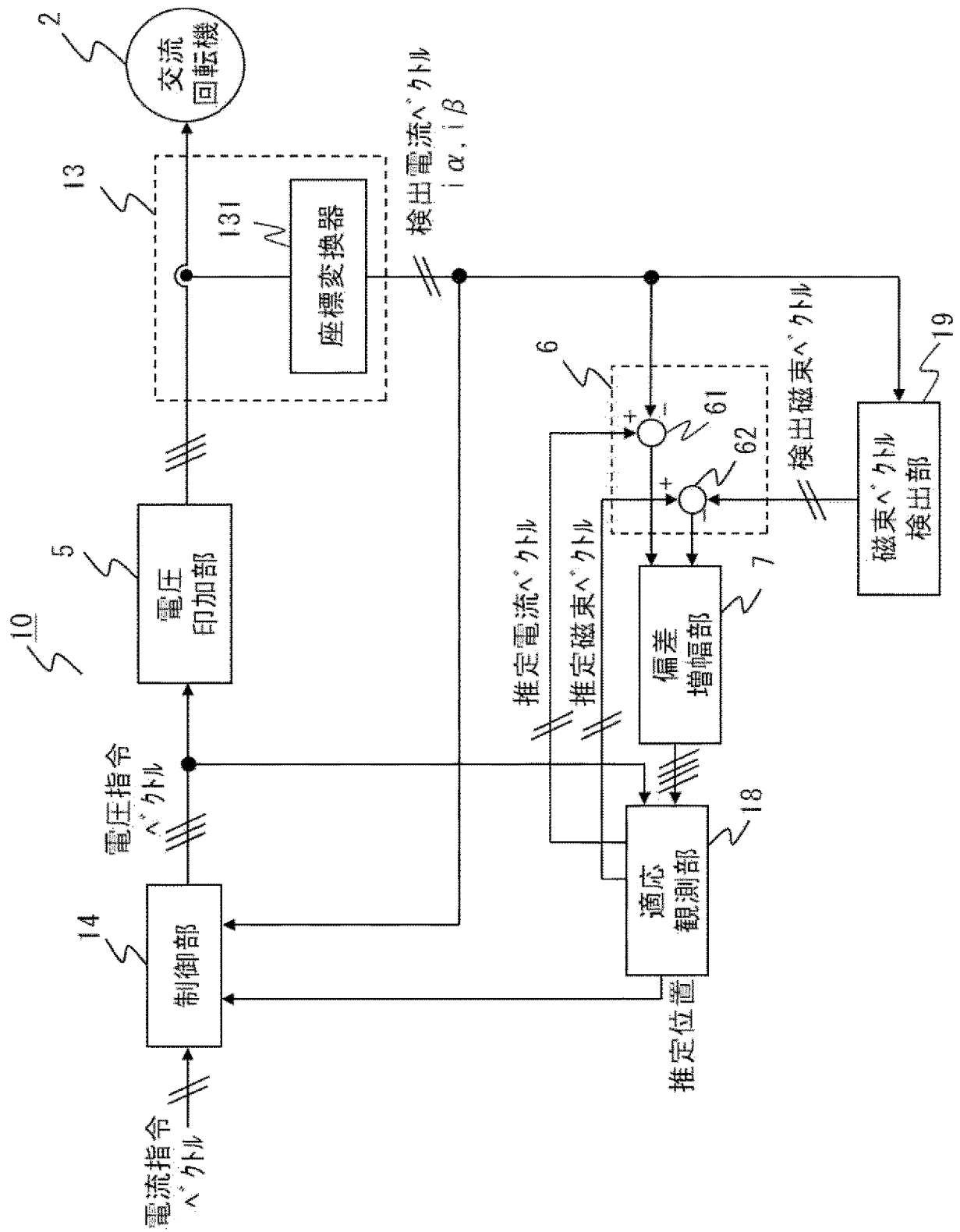
[図15]

図15



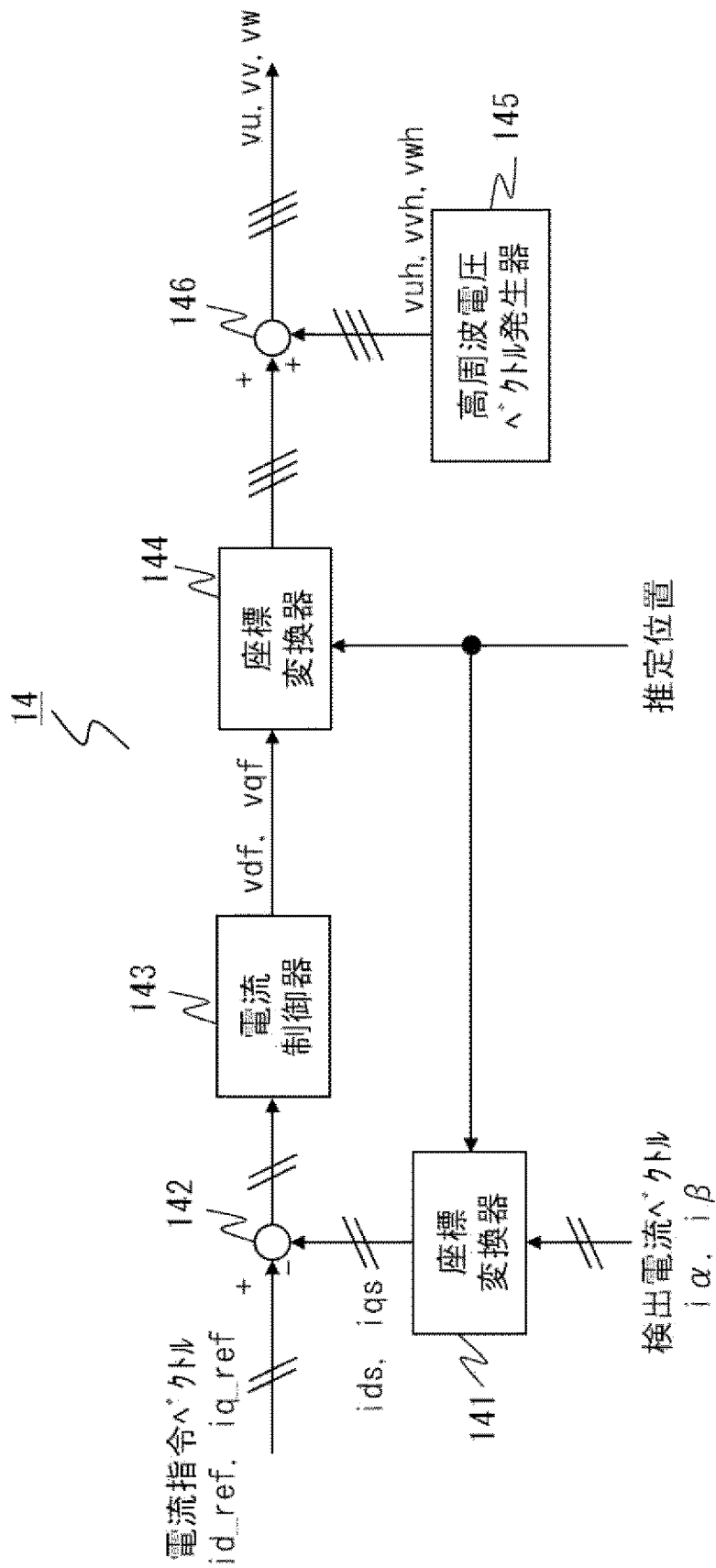
[図16]

図16



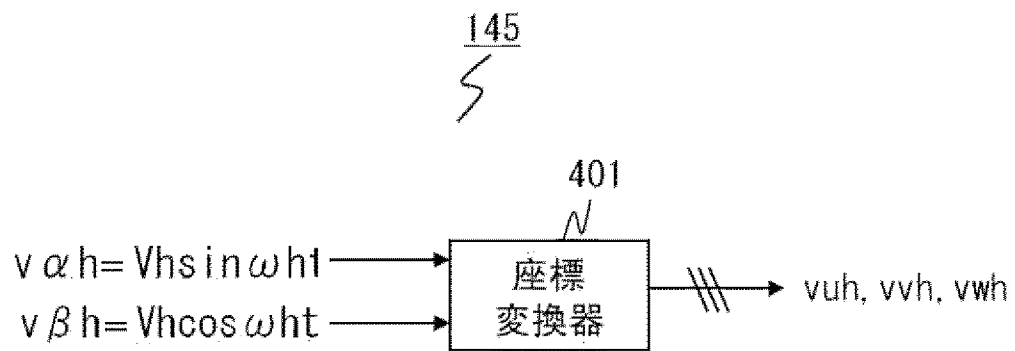
[図17]

図17



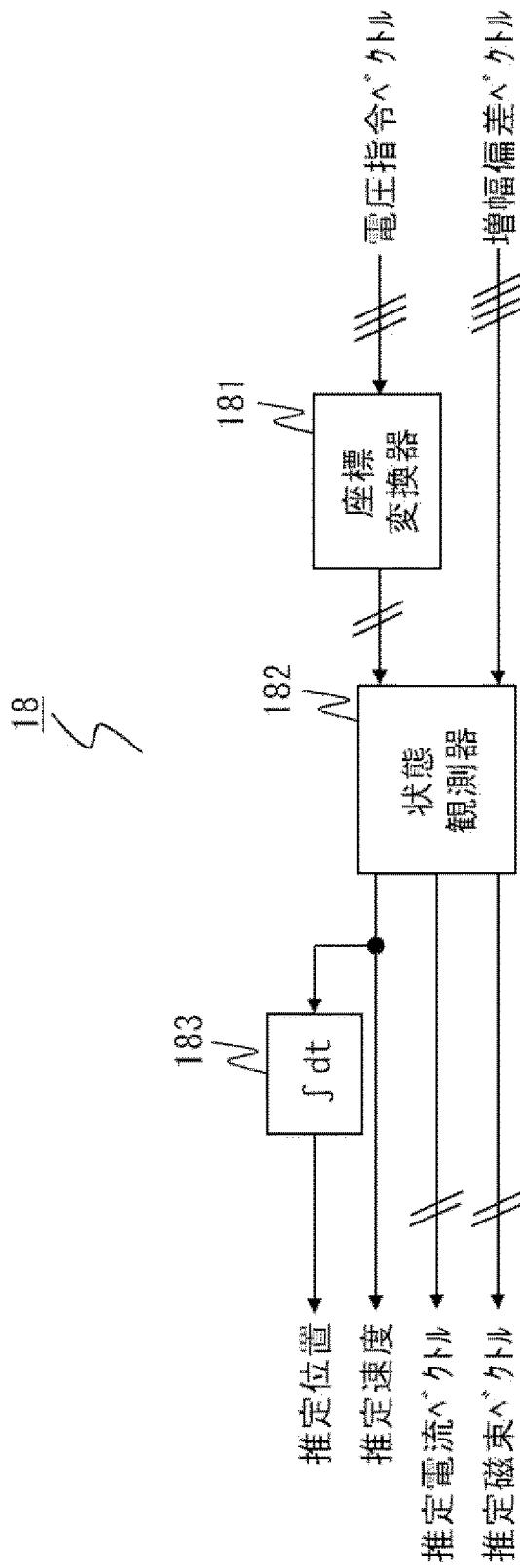
[図18]

図18



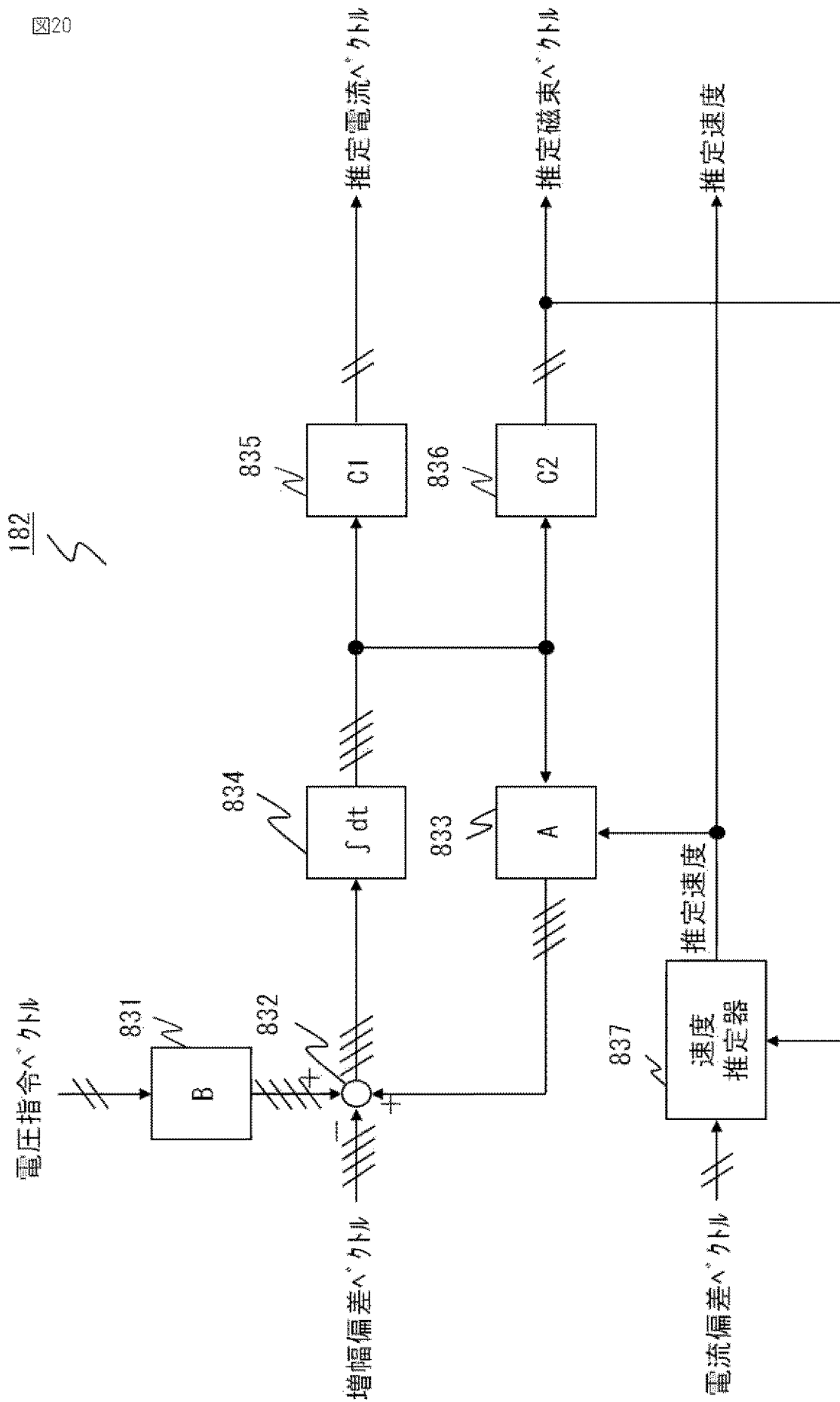
[図19]

図19



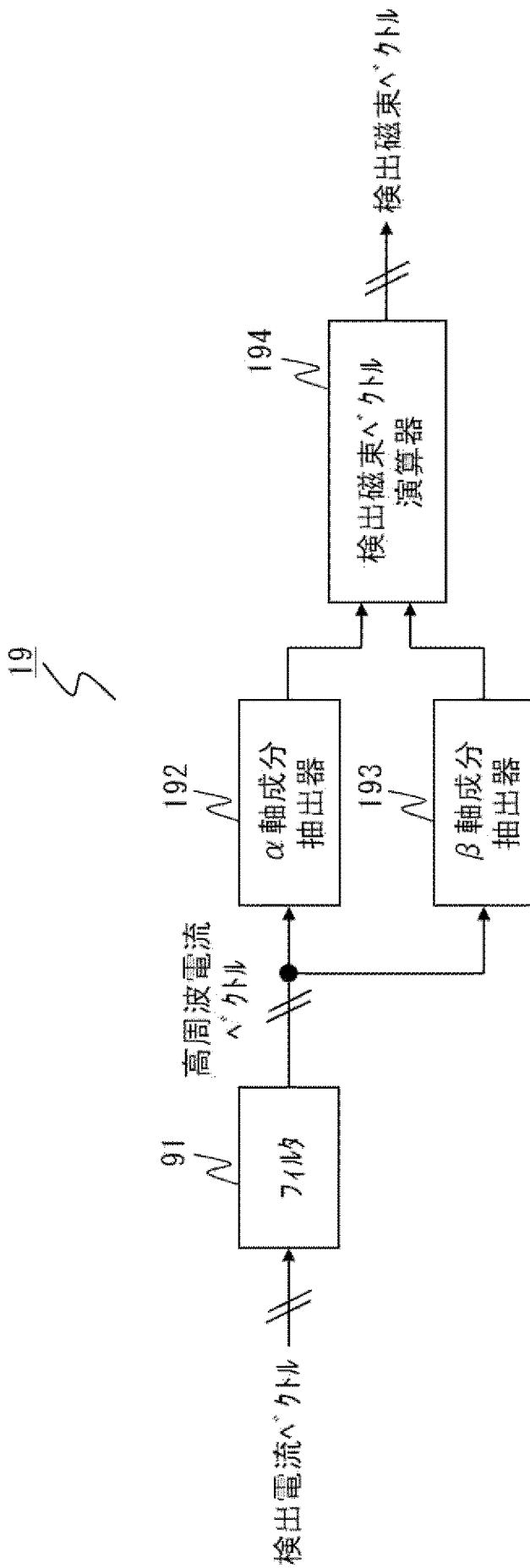
[図20]

図20



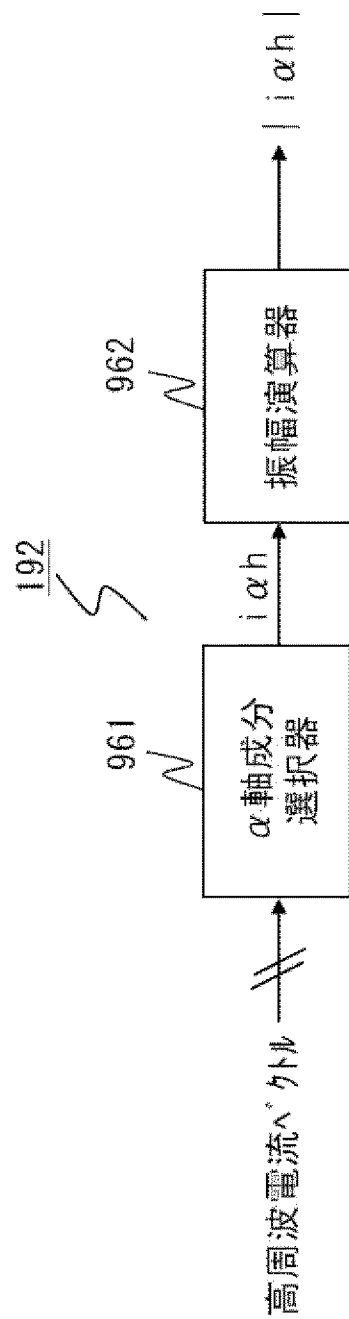
[図21]

図21



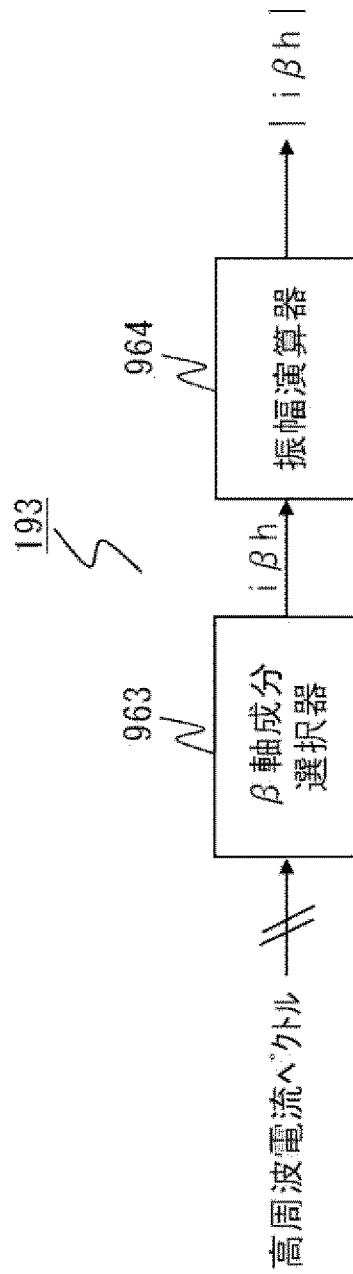
[図22]

図22.



[図23]

図23

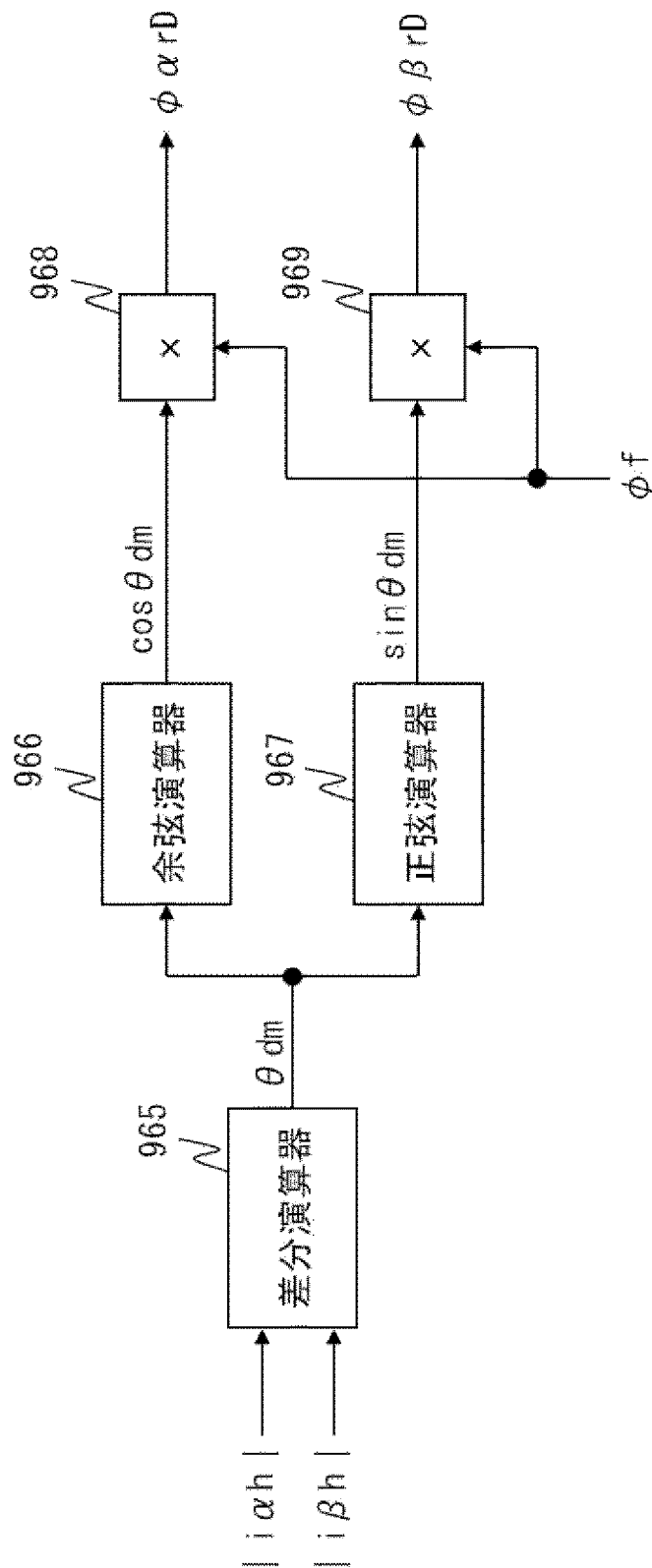


[図24]

図24

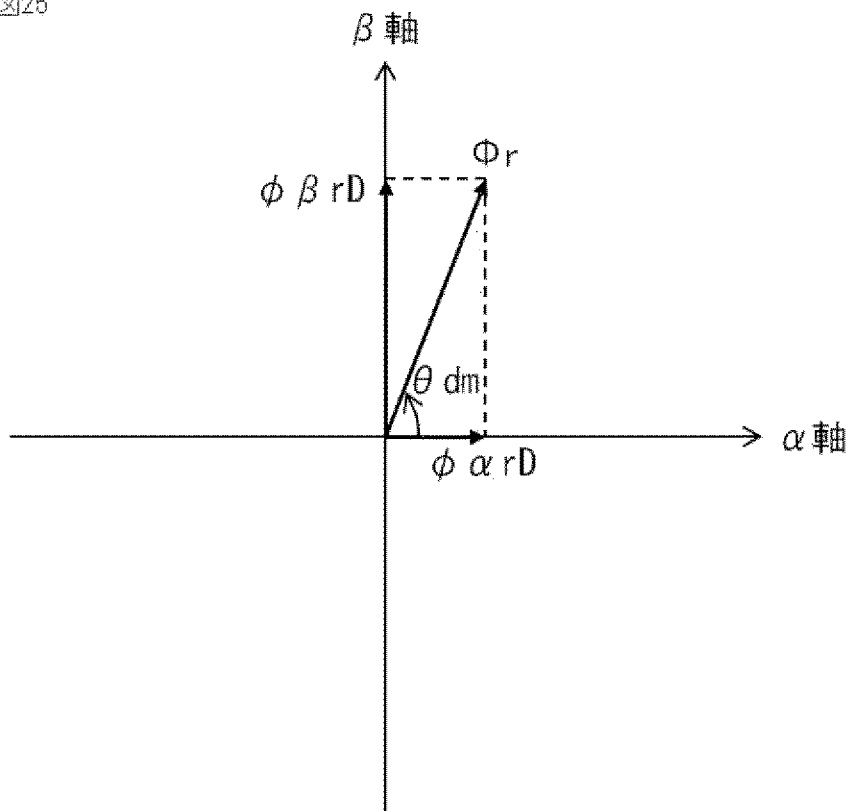
194

S



[図25]

図25



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/074639

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02P21/00 (2006.01) i, H02P27/04 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H02P21/00, H02P27/04

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

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2012

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2012 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2012

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	WO 2010/109528 A1 (Mitsubishi Electric Corp.), 30 September 2010 (30.09.2010), paragraphs [0015] to [0019], [0065] to [0077]; fig. 11 to 14 & EP 2413494 A1 & CA 2756719 A1	1-6
A	JP 2006-158046 A (Yaskawa Electric Corp.), 15 June 2006 (15.06.2006), paragraphs [0028] to [0030] (Family: none)	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

"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

17 December, 2012 (17.12.12)

Date of mailing of the international search report

25 December, 2012 (25.12.12)

Name and mailing address of the ISA/

Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C）） Int.Cl. H02P21/00(2006.01)i, H02P27/04(2006.01)i			
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C）） Int.Cl. H02P21/00, H02P27/04			
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1 9 2 2 - 1 9 9 6 年 日本国公開実用新案公報 1 9 7 1 - 2 0 1 2 年 日本国実用新案登録公報 1 9 9 6 - 2 0 1 2 年 日本国登録実用新案公報 1 9 9 4 - 2 0 1 2 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	WO 2010/109528 A1（三菱電機株式会社）2010.09.30, [0015]-[0019], [0065]-[0077], 図 11-14 & EP 2413494 A1 & CA 2756719 A1	1-6	
A	JP 2006-158046 A（株式会社安川電機）2006.06.15, [0028]-[0030]（ファミリーなし）	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、一般的技術水準を示すもの 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願 の日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献			
国際調査を完了した日 1 7 . 1 2 . 2 0 1 2		国際調査報告の発送日 2 5 . 1 2 . 2 0 1 2	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（I S A / J P） 郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官（権限のある職員） 高橋 祐介 電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 3 5 8	3 V 3 0 2 7