

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6710324号
(P6710324)

(45) 発行日 令和2年6月17日 (2020.6.17)

(24) 登録日 令和2年5月28日 (2020.5.28)

(51) Int.Cl.	F 1
H 0 2 P 7/06 (2006.01)	H 0 2 P 7/06 G
	H 0 2 P 7/06 K

請求項の数 16 (全 36 頁)

(21) 出願番号	特願2019-514540 (P2019-514540)	(73) 特許権者	000010098
(86) (22) 出願日	平成30年4月24日 (2018.4.24)		アルプスアルパイン株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2018/016644		東京都大田区雪谷大塚町 1 番 7 号
(87) 国際公開番号	W02018/199104	(74) 代理人	100107766
(87) 国際公開日	平成30年11月1日 (2018.11.1)		弁理士 伊東 忠重
審査請求日	令和1年10月9日 (2019.10.9)	(74) 代理人	100070150
(31) 優先権主張番号	特願2017-88716 (P2017-88716)		弁理士 伊東 忠彦
(32) 優先日	平成29年4月27日 (2017.4.27)	(72) 発明者	都 軍安
(33) 優先権主張国・地域又は機関	日本国 (JP)		東京都大田区雪谷大塚町 1 番 7 号 アルプス電気株式会社内
		(72) 発明者	阿部 勤
			東京都大田区雪谷大塚町 1 番 7 号 アルプス電気株式会社内
		審査官	池田 貴俊
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 回転角度検出器付き電動機、電動機の回転角度検出器、及び、整流子を備えた電動機の回転角度を検出する方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

電動機と、

前記電動機の回転角度を検出する回転角度検出器とを備え、

前記電動機は、複数の整流子片からなる整流子を有し、

前記回転角度検出器は、

前記電動機の端子間電圧と前記電動機を流れる電流とに基づいて、前記回転角度を算出し、回転角度信号を出力する回転角度算出部と、

前記電動機を流れる電流に含まれるリップル成分に基づいて第 1 信号を生成する第 1 信号生成部と、

前記第 1 信号と前記回転角度信号との双方の信号に基づいて前記回転角度を補正する演算部と、

前記演算部の出力に基づいて前記電動機の回転に関する情報を算出する回転情報算出部と、を含み、

前記演算部は、前記回転角度が所定の角度範囲内で最初に前記第 1 信号が生成された場合に、前記回転角度を前記所定の角度範囲内の第 1 の角度に補正する指令を前記回転角度算出部に出力し、

前記回転角度が前記所定の角度範囲内であっても、前記所定の角度範囲内で 2 番目以降に生成された前記第 1 信号を無視することを特徴とする回転角度検出器付き電動機。

【請求項 2】

10

20

前記演算部は、前記回転角度が第2の角度に達すると、前記回転角度をゼロに補正する指令を前記回転角度算出部に出力することを特徴とする請求項1に記載の回転角度検出器付き電動機。

【請求項3】

前記第2の角度は、前記リップル成分の1周期に相当する角度であることを特徴とする請求項2に記載の回転角度検出器付き電動機。

【請求項4】

前記第2の角度は、スリットで隔てられた前記整流子片の中心角に等しいことを特徴とする請求項3に記載の回転角度検出器付き電動機。

【請求項5】

前記所定の角度範囲は、前記第2の角度より小さい第3の角度以上、且つ、前記第2の角度以下の範囲と、

ゼロ以上、且つ、前記第3の角度より小さい第4の角度以下の範囲であることを特徴とする請求項2乃至4の何れかに記載の回転角度検出器付き電動機。

【請求項6】

前記第1の角度がゼロであり、

前記演算部は、

前記回転角度が、前記第3の角度より大きく、前記第2の角度より小さい範囲で、最初に前記第1信号が生成された場合に、前記電動機が所定角度だけ回転したことを表す第2信号を生成すると共に、前記回転角度を前記第1の角度に補正する指令を前記回転角度算出部に出力し、

前記第1信号が生成される前に、前記回転角度が前記第2の角度に達した場合に、前記第2信号を生成する

ことを特徴とする請求項5に記載の回転角度検出器付き電動機。

【請求項7】

前記第1の角度が、前記第3の角度より大きく、前記第2の角度より小さく、

前記演算部は、

前記回転角度が、前記第3の角度より大きく、前記第2の角度より小さい範囲で、最初に前記第1信号が生成された場合に、前記電動機が所定角度だけ回転したことを表す第2信号を生成すると共に、前記回転角度を前記第1の角度に補正する指令を前記回転角度算出部に出力し、

前記第1信号が生成される前に、前記回転角度が前記第1の角度に達した場合に、前記第2信号を生成する

ことを特徴とする請求項5に記載の回転角度検出器付き電動機。

【請求項8】

前記第1の角度が、ゼロより大きく、前記第4の角度より小さく、

前記演算部は、

前記回転角度が、前記第3の角度より大きく、前記第2の角度より小さい範囲、及び、前記回転角度が、前記第1の角度より小さい範囲で、最初に前記第1信号が生成された場合に、前記電動機が所定角度だけ回転したことを表す第2信号を生成すると共に、前記回転角度を前記第1の角度に補正する指令を前記回転角度算出部に出力し、

前記第1信号が生成される前に、前記回転角度が前記第1の角度に達した場合に、前記第2信号を生成する

ことを特徴とする請求項5に記載の回転角度検出器付き電動機。

【請求項9】

前記所定の角度範囲は、前記第1の角度よりも小さい第3の角度以上、且つ、前記第1の角度よりも大きい第4の角度以下の範囲であり、

前記演算部は、

前記回転角度が前記第3の角度以上、且つ、前記第1の角度以下の範囲内で最初に前記第1信号が生成された場合に、前記電動機が所定角度だけ回転したことを表す第2信号

10

20

30

40

50

を生成し、

前記第 1 信号が生成される前に、前記回転角度が前記第 1 の角度に達した場合に、前記第 2 信号を生成する

ことを特徴とする請求項 2 乃至 4 何れかに記載の回転角度検出器付き電動機。

【請求項 10】

前記第 3 の角度がゼロであることを特徴とする請求項 9 に記載の回転角度検出器付き電動機。

【請求項 11】

前記第 2 の角度と前記第 4 の角度とが等しいことを特徴とする請求項 9 に記載の回転角度検出器付き電動機。

【請求項 12】

前記回転角度が前記第 1 の角度になったときの、前記回転角度と前記電動機の実際の回転角度との最大位相差によって、前記第 3 の角度と、前記第 4 の角度とを設定することを特徴とする請求項 5 乃至 11 の何れかに記載の回転角度検出器付き電動機。

【請求項 13】

前記演算部は、前記所定の角度範囲内で最初に前記第 1 信号が生成されたときに、前記電動機が所定角度だけ回転したことを表す第 2 信号を出力することを特徴とする請求項 1 乃至 5 の何れかに記載の回転角度検出器付き電動機。

【請求項 14】

前記演算部と前記回転情報算出部とは一体化されており、

前記演算部は、電動機が所定角度だけ回転したことを表すソフトウェア命令としての繰り上がり指令を出力するように構成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 5 の何れかに記載の回転角度検出器付き電動機。

【請求項 15】

整流子を備えた電動機の回転角度を検出するための電動機の回転角度検出器であって、前記電動機の端子間電圧と前記電動機を流れる電流とに基づいて前記回転角度を算出し、回転角度信号を出力する回転角度算出部と、

前記電動機を流れる電流に含まれるリップル成分に基づいて第 1 信号を生成する第 1 信号生成部と、

前記第 1 信号と前記回転角度信号との双方の信号に基づいて前記回転角度を補正する演算部と、

前記演算部の出力に基づいて前記電動機の回転に関する情報を算出する回転情報算出部と、を含み、

前記演算部は、前記回転角度が所定の角度範囲内で最初に前記第 1 信号が生成された場合に、前記回転角度を前記所定の角度範囲内の第 1 の角度に補正する指令を前記回転角度算出部に出力し、前記回転角度が前記所定の角度範囲内であっても、前記所定の角度範囲内で 2 番目以降に生成された前記第 1 信号を無視することを特徴とする回転角度検出器。

【請求項 16】

整流子を備えた電動機の回転角度を検出する方法であって、

前記電動機の端子間電圧と前記電動機を流れる電流とに基づいて前記回転角度を算出するステップと、

前記電動機を流れる電流に含まれるリップル成分に基づいて第 1 信号を生成するステップと、

前記第 1 信号と算出された前記回転角度とに基づいて前記電動機がリップル成分の周期に応じた第 1 の角度だけ回転したことを表す第 2 信号を生成するステップと、

前記第 2 信号に基づいて前記回転角度を算出するステップと、を含み、

前記第 2 信号を生成するステップでは、前記回転角度が所定の角度範囲内であっても、前記所定の角度範囲内で 2 番目以降に生成された前記第 1 信号が無視されることを特徴とする方法。

【発明の詳細な説明】

10

20

30

40

50

【技術分野】

【0001】

本発明は、回転角度検出器付き電動機、電動機の回転角度検出器、及び、整流子を備えた電動機の回転角度を検出する方法に関する。特に、位置検出センサを用いずに、電動機に加えらる電圧値、及び、電動機を流れる電流値から、回転角度を検出する電動機、回転角度検出器、及び、その方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、位置検出センサを用いずに電動機の回転角度を検出するために、電動機を流れる電流に含まれるリップル成分に基づいて電動機の回転量を取得する装置が知られている（特許文献1参照。）。この装置は、リップル成分と同じ周波数を有するパルス信号を生成し、そのパルス信号の数をカウントして電動機の回転量を取得する。そのため、電動機が一定の回転角速度で回転している場合にはある程度の精度で回転量を取得できる。しかし、電源をオフした後の惰性回転中等、リップル成分が小さくなる場合にはその回転量を高精度に取得することができない。

10

【0003】

これに対し、リップル成分が小さい場合の回転量をより高精度に取得できるようにした装置が知られている（特許文献2参照。）。この装置は、電動機を流れる電流とその端子間電圧から算出される逆起電圧の積分値に基づいてパルス信号の数を補正することで電動機の回転量をより高精度に取得できるようにしている。

20

【0004】

具体的には、パルス信号が生成された時の実際の積分値が、リップル成分の1周期の間の平均的な積分値よりも著しく小さい場合にそのパルス信号を誤パルスとし、パルス信号の数をマイナス補正する。或いは、前回のパルス信号が生成されてから所定時間が経過した時の実際の積分値が、その平均的な積分値よりも著しく大きい場合にパルス信号の生成漏れが発生したとしてパルス信号の数をプラス補正する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2005-261134号公報

30

【特許文献2】特開2005-323488号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、特許文献2に記載の装置は、電動機が停止したと考えられる十分な時間が経過するまではパルス信号の数をプラス補正することができない。そのため、正確な回転量を適時に取得できず、信頼性の高い回転量を取得できないおそれがある。

【0007】

上述の点に鑑み、直流整流子電動機の回転に関する情報をより高い信頼性で取得できる装置を提供することが望まれる。

40

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の実施例に従った装置は、電動機と、前記電動機の回転角度を検出する回転角度検出器とを備え、前記電動機は、複数の整流子片からなる整流子を有し、前記回転角度検出器は、前記電動機の端子間電圧と前記電動機を流れる電流とに基づいて、前記回転角度を算出し、回転角度信号を出力する回転角度算出部と、前記電動機を流れる電流に含まれるリップル成分に基づいて第1信号を生成する第1信号生成部と、前記第1信号と前記回転角度信号との双方の信号に基づいて前記回転角度を補正する演算部と、前記演算部の出力に基づいて前記電動機の回転に関する情報を算出する回転情報算出部と、を含み、前記演算部は、前記回転角度が所定の角度範囲内で最初に前記第1信号が生成された場合に、

50

前記回転角度を前記所定の角度範囲内の第1の角度に補正する指令を前記回転角度算出部に出力し、前記回転角度が前記所定の角度範囲内であっても、前記所定の角度範囲内で2番目以降に生成された前記第1信号を無視することを特徴とする。

【発明の効果】

【0009】

上述の手段により、直流整流子電動機の回転に関する情報をより高い信頼性で取得できる装置を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】本発明の実施例に係る回転角度検出器の構成例を示す概略図である。

10

【図2】整流子の概略図である。

【図3A】第1信号生成部が第1パルス信号を生成するタイミングの一例を示す図である。

【図3B】第1信号生成部が第1パルス信号を生成するタイミングの別の一例を示す図である。

【図4】第2パルス信号が生成されるタイミングの一例を示す図である。

【図5】回転量算出処理のフローチャートである。

【図6】合成パルス信号及びホールパルス信号のそれぞれの推移を示す図である。

【図7】回転量算出処理の別の一例を示すフローチャートである。

【図8】第2パルス信号が生成されるタイミングの別の一例を示す図である。

20

【図9】回転量算出処理の更に別の一例を示すフローチャートである。

【図10】第2パルス信号が生成されるタイミングの更に別の一例を示す図である。

【図11】回転量算出処理の更に別の一例を示すフローチャートである。

【図12】第2パルス信号が生成されるタイミングの更に別の一例を示す図である。

【図13】回転量算出処理の更に別の一例を示すフローチャートである。

【図14】第2パルス信号が生成されるタイミングの更に別の一例を示す図である。

【図15】回転量算出処理の更に別の一例を示すフローチャートである。

【図16】第2パルス信号が生成されるタイミングの更に別の一例を示す図である。

【図17】回転角度検出器の別の構成例を示す概略図である。

【図18】図17の回転角度検出器が実行する回転量算出処理の一例を示すフローチャートである。

30

【図19】繰り上がり指令が出力されるタイミングの一例を示す図である。

【図20】図17の回転角度検出器が実行する回転量算出処理の別の一例を示すフローチャートである。

【図21】繰り上がり指令が出力されるタイミングの別の一例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

以下、図を参照し、本発明の実施例に係る回転角度検出器100について説明する。図1は、本発明の実施例に係る回転角度検出器100の構成例を示す概略図である。

【0012】

40

回転角度検出器100は、電動機10の回転角度を検出する装置である。図1の例では、回転角度検出器100は、電動機10の端子間電圧Vと電動機10を流れる電流Imとに基づいて電動機10の回転角度を検出する。

【0013】

電動機10は、整流子を備えた直流整流子電動機である。電動機10は、例えば、自動車のウィンドウの昇降、ドアミラーの角度の調整、空調装置における送風量の調整、ヘッドライトの光軸の調整等で使用される。

【0014】

図2は整流子20の概略図である。図2に示すように、整流子20は、スリット20sによって互いに隔てられた8つの整流子片20aで構成されている。各整流子片20aの

50

円弧の中心角であるスリット間角度（第２の角度 θ_c ）は約４５度である。

【００１５】

電動機１０は、４つのスイッチＳＷ１～ＳＷ４を介して電源に接続されている。そして、スイッチＳＷ１とスイッチＳＷ３とが閉状態となったときに時計回りに順回転し、スイッチＳＷ２とスイッチＳＷ４とが閉状態となったときに反時計回りに逆回転するように構成されている。電源に接続されている図１の例では、順回転する電動機１０を流れる電流が正の値を有し、逆回転する電動機１０を流れる電流が負の値を有する。惰性回転中は、スイッチＳＷ２とスイッチＳＷ３とが閉状態となり、順回転する電動機１０を流れる電流は負の値を有し、逆回転する電動機１０を流れる電流は正の値を有する。本実施例では、惰性回転中も回転を検出するために、電動機１０と電流検出部１０ｂは、閉ループ中に存在する。なお、本実施例では、電動機１０は、電気抵抗値が十分大きい場合、電動機１０の２つの端子を短絡しても、惰性で回転する。一方、電動機１０は、電気抵抗値が小さい場合には、電動機１０の２つの端子を短絡すると、急速に減速する。惰性回転中の電動機１０の減速を抑制するためには、抵抗器を通る閉ループを形成すればよい。

10

【００１６】

電圧検出部１０ａは、電動機１０の端子間電圧 V を検出する。電流検出部１０ｂは、電動機１０を流れる電流 I_m を検出する。

【００１７】

回転角度検出器１００は、主に、電圧フィルタ部３０、回転角速度算出部３１、回転角度算出部３２、電流フィルタ部３３、第１信号生成部３４、第２信号生成部３５、回転情報算出部３６等の要素を含む。各要素は、電気回路で構成されていてもよく、ソフトウェアで構成されていてもよい。

20

【００１８】

電圧フィルタ部３０は、電圧検出部１０ａが出力する端子間電圧 V の波形を滑らかにする。電圧フィルタ部３０は、例えば、回転角速度算出部３１が電動機１０の回転角速度を精度良く算出できるように端子間電圧 V の波形を滑らかにする。図１の例では、電圧フィルタ部３０は、ローパスフィルタであり、電圧検出部１０ａが出力する端子間電圧 V の波形のうちの高周波成分をノイズとして除去した端子間電圧 V' を出力する。

【００１９】

回転角速度算出部３１は、電動機１０の端子間電圧 V' と電動機１０を流れる電流 I_m とに基づいて電動機１０の回転角速度を算出する。図１の例では、回転角速度算出部３１は、式（１）に基づいて回転角速度 ω を算出する。

30

【００２０】

【数１】

$$\omega = \frac{1}{K_e} \times \left(V' - I_m \times R_m - L_m \times \frac{dI_m}{dt} \right) \cdots (1)$$

40

K_e は逆起電圧定数であり、 R_m は電動機１０の内部抵抗であり、 L_m は電動機１０のインダクタンスであり、 dI_m/dt は電流 I_m の一回微分である。電流 I_m の一回微分は、例えば、前回の電流 I_m の値と今回の電流 I_m の値との差である。

50

【0021】

回転角速度算出部31は、一定の制御周期毎に電動機10の回転角速度 ω を算出し、算出した回転角速度 ω を回転角度算出部32に対して出力する。

【0022】

回転角度算出部32は、電動機10の回転角度を算出する。回転角度算出部32は、式(2)に基づいて回転角度 θ を算出する。

【0023】

【数2】

$$\theta = \int_0 \omega \times dt \quad \cdots (2)$$

10

20

回転角度算出部32は、例えば、回転角速度算出部31が一定の制御周期毎に出力する回転角速度 ω を積算して回転角度 θ を算出し、算出した回転角度 θ に関する信号である回転角度信号を第2信号生成部35に対して出力する。

【0024】

また、回転角度算出部32は、第2信号生成部35からの同期指令に応じて回転角度 θ をゼロにリセットする。

【0025】

電流フィルタ部33は、電流検出部10bが出力する電流 I_m に含まれる特定の周波数成分であるリップル成分 I_r を出力する。電流フィルタ部33は、第1信号生成部34が電流 I_m のリップル成分 I_r を検出できるようにリップル成分 I_r の周波数を通すバンドパスフィルタで構成される。バンドパスフィルタで構成される電流フィルタ部33は、電流検出部10bが出力する電流 I_m の波形のうちのリップル成分 I_r 以外の周波数成分を除去する。本実施例で利用するリップル成分 I_r は、整流子片20aとブラシとの接触・分離に起因して生成される。そのため、リップル成分 I_r の1周期の間に電動機10が回転する角度はスリット間角度に等しい。

30

【0026】

第1信号生成部34は、電動機10が一定の角度だけ回転したことを、リップル成分 I_r の波形から推定した信号を生成する。この信号は、リップル成分 I_r の周期に応じた信号である。一定の角度は、リップル成分 I_r の1周期に対応する角度でもよいし、半周期に対応する角度でもよい。この実施例では、電動機10がスリット間角度(第2の角度 θ_c)だけ回転する毎に、リップル成分 I_r の波形から推定した信号(第1パルス信号 P_a)を生成する。第1信号生成部34は、電流フィルタ部33が出力するリップル成分 I_r の波形に基づいて第1パルス信号 P_a を生成する。

40

【0027】

図3Aは、第1信号生成部34が第1パルス信号 P_a を生成するタイミングの一例を示す図である。第1信号生成部34は、リップル成分 I_r の1周期毎に第1パルス信号 P_a を生成する。例えば、リップル成分 I_r が基準電流値 I_b を超える度に第1パルス信号 P_a を生成する。図3Aの例では、時刻 t_1 、 t_2 、 t_3 、 $\cdots$ 、 t_n 等で第1パルス信号 P_a を生成している。 T_1 、 T_2 、 T_3 、 $\cdots$ 、 T_n 等は、リップル成分 I_r の周期

50

を示し、 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 、 $\dots$ 、 θ_n 等は、第1信号生成部34が第1パルス信号を生成したときの回転角度 θ を示す。回転角度 θ は、回転角度算出部32が算出した値である。このように、第1信号生成部34は、典型的には、回転角度 θ がスリット間角度だけ増加する毎に第1パルス信号Paを生成する。

【0028】

但し、第1信号生成部34は、例えば、電動機10の電源オフ後の惰性回転期間において電流Im及びそのリップル成分Irが小さくなった場合、リップル成分Irを検出できずに、第1パルス信号Paを生成できないことがある。また、第1信号生成部34は、例えば、電動機10の電源オン直後に突入電流が発生した場合、その突入電流に応じて第1パルス信号Paを誤って生成してしまうことがある。このような第1パルス信号Paの生成漏れ又は誤生成は、回転角度検出器100が出力する電動機10の回転に関する情報（以下、「回転情報」とする。）の信頼性を低下させてしまう。

10

【0029】

そこで、回転角度検出器100は、第2信号生成部35により、電動機10の回転角度を表す信号をより高精度に生成できるようにしている。

【0030】

第2信号生成部35は、演算部の一例であり、電動機10がスリット間角度だけ回転したことを表す信号を生成する。第2信号生成部35は、回転角度算出部32が出力する回転角度信号と第1信号生成部34が出力する第1パルス信号Paとに基づいてスリット間角度毎に第2パルス信号Pbを生成する。第2パルス信号Pbは、電動機10が所定角度だけ回転したことを表す情報の一例である。第1パルス信号Paは、リップル成分Irの波形のみから推定した信号であるため、誤って出力されることがある。一方、第2パルス信号Pbは、第1パルス信号Paと、回転角度信号の双方から推定した信号であるため、誤差を一定値以下にできる。

20

【0031】

図4は、第2信号生成部35が第2パルス信号Pbを生成するタイミングの一例を示す図である。図4の実施例では、第1の角度 θ_p がゼロである。なお、他の実施例では、第1の角度 θ_p がゼロ以外である。また、第2の角度 θ_c は、電動機10のスリット間角度に等しい。第3の角度 θ_u 、及び、第4の角度 θ_d は、第1パルス信号Paの受付可否の閾値であり、回転角度 θ が第1の角度 θ_p になったときの回転角度 θ と電動機10の実際の回転角度との最大位相差に基づいて設定される。

30

【0032】

第2信号生成部35は、回転角度 θ が第3の角度 θ_u 以上で且つ第2の角度 θ_c 未満のときに第1信号生成部34が最初に生成した第1パルス信号Paに基づいて、第2パルス信号Pbを生成する。第3の角度 θ_u は、予め設定される値であってもよく、動的に設定される値であってもよい。図4は、回転角度 θ が第3の角度 θ_u 以上で且つ第2の角度 θ_c 未満の角度範囲である受付範囲をドットパターンで示す。図4の例では、第1信号生成部34が第1パルス信号Pa1、Pa2、Pa4を生成したときの回転角度 θ_1 、 θ_2 、 θ_5 が第3の角度 θ_u 以上で且つ第2の角度 θ_c 未満である。すなわち、回転角度 θ_1 、 θ_2 、 θ_5 のそれぞれが第2の角度 θ_c に達するまでの残りの角度が角度 α 未満である。角度 α は、回転角度 θ が第1の角度 θ_p になったときの、電動機10の実際の回転角度との最大誤差に基づき設定される。この場合、第2信号生成部35は、時刻t1、t2、t5において第1信号生成部34が生成した第1パルス信号Pa1、Pa2、Pa4がノイズでないとみなす。そのため、第2信号生成部35は、時刻t1、t2、t5において第2パルス信号Pb1、Pb2、Pb4を生成する。第2パルス信号Pbを生成すると、第2信号生成部35は、回転角度算出部32に対して同期指令を出力する。なお、回転角度 θ が第2の角度 θ_c 未満、且つ、第3の角度 θ_u 以上の場合に、リップル成分Irと同じ周波数成分を持つノイズが発生すると、誤った第1パルス信号Paが出力され、第2パルス信号Pbが生成されるおそれがある。しかし、次のタイミングで、本当のリップル成分Irが検出され、回転角度検出器100は、正しい回転角度を検出できる。したがって、

40

50

回転角度検出器 100 が検出する回転角度は、ノイズによって、一時的に誤って検出されても、正しい回転角度に戻る。また、誤差の範囲は、角度 α 未満であり、実用上、問題無い範囲である。

【0033】

また、第 2 信号生成部 35 は、回転角度 θ の大きさが第 2 の角度 θ_c に達したときに第 2 パルス信号 P b を生成する。但し、回転角度 θ は、回転角度算出部 32 が算出した角度であり、誤差が含まれる。図 4 の例では、時刻 t_3 、 t_7 、 t_9 において回転角度 θ_3 、 θ_7 、 θ_9 の絶対値が第 2 の角度 θ_c に達したときに第 2 パルス信号 P b 3、P b 5、P b 6 を生成している。第 2 パルス信号 P b を生成すると、第 2 信号生成部 35 は、回転角度算出部 32 に対して同期指令を出力する。回転角度算出部 32 は、同期指令を受けると回転角度 θ をゼロにリセットする。

10

【0034】

すなわち、第 2 信号生成部 35 は、例えば、時刻 t_2 において、第 2 パルス信号 P b 2 を生成した後で第 1 パルス信号 P a を受け取ることがない状態のまま、回転角度 θ の絶対値が第 2 の角度 θ_c に達したときに第 2 パルス信号 P b 3 を生成する。

【0035】

このように、第 2 信号生成部 35 は、何らかの理由で第 1 パルス信号 P a が生成されなかった場合であっても、回転角度算出部 32 によって算出された回転角度 θ の絶対値が第 2 の角度 θ_c に達しさえすれば、第 2 パルス信号 P b を生成する。そのため、第 1 パルス信号 P a の生成漏れを確実に防止できる。

20

【0036】

また、第 2 信号生成部 35 は、第 1 信号生成部 34 が第 1 パルス信号 P a を生成したときの回転角度 θ が第 4 の角度 θ_d 未満の場合、第 2 パルス信号 P b を生成しない。第 4 の角度 θ_d は、予め設定される値であってもよく、動的に設定される値であってもよい。このような状況は、典型的には、回転角度 θ の大きさが所定角度に達したことで第 2 パルス信号 P b が生成された後に発生する。図 4 は、回転角度 θ が第 1 の角度 θ_p (ゼロ) 以上で且つ第 4 の角度 θ_d 未満の角度範囲である受付範囲をドットパターンで示す。図 4 の例では、時刻 t_3 で回転角度 θ の絶対値が第 2 の角度 θ_c に達したことで第 2 パルス信号 P b 3 が生成された後の時刻 t_4 において、第 1 信号生成部 34 が第 1 パルス信号 P a 3 を生成している。このときの回転角度 θ_4 は、第 4 の角度 θ_d 未満である。すなわち、時刻 t_3 でリセットされた後に積算された回転角度 θ_4 は未だ角度 β 未満である。この場合、第 2 信号生成部 35 は、時刻 t_4 で第 1 信号生成部 34 が生成した第 1 パルス信号 P a 3 を、時刻 t_3 で生成した第 2 パルス信号 P b 3 に統合可能と判定できる。具体的には、電動機 10 の実際の回転角度が第 2 の角度 θ_c に達する前に、回転角度算出部 32 が出力する回転角度 θ が、第 2 の角度 θ_c に達した場合に発生する。すなわち、実際の回転角度が第 2 の角度 θ_c に達していないにもかかわらず、回転角度算出部 32 が算出した回転角度 θ が第 2 の角度 θ_c に達したために、第 2 パルス信号 P b 3 が生成された場合に発生する。第 2 パルス信号 P b 3 を生成した直後に第 1 パルス信号 P a 3 が生成された時点が、実際の回転角度が第 2 の角度 θ_c に達した瞬間である。このため、第 2 信号生成部 35 は、第 1 パルス信号 P a 3 を生成した時点で、回転角度算出部 32 に対して同期指令を出力する。この場合、第 2 信号生成部 35 は、時刻 t_4 では第 2 パルス信号 P b を生成しない。図 4 の「×」に向かう破線矢印は、第 1 パルス信号 P a 3 に基づいて第 2 パルス信号 P b が生成されなかったことを表す。他の図における「×」に向かう破線矢印についても同様である。

30

40

【0037】

また、第 1 信号生成部 34 が、第 1 パルス信号 P a を短時間に連続して生成することがある。上述したとおり、図 3 A において、リップル成分 I r が基準電流値 I b を超える度に、第 1 信号生成部 34 が、第 1 パルス信号 P a を生成する。リップル成分 I r が基準電流値 I b を超える直前や直後は、微小なノイズが重畳されても、第 1 パルス信号 P a が誤って生成される。この場合、第 1 信号生成部 34 が、第 1 パルス信号 P a を生成する間隔

50

が角度 β （第4の角度 θd ）未満となる。図4の例では、第1信号生成部34が、時刻 t_2 で、第1パルス信号 $P a_2$ を生成する。第2信号生成部35は、第2パルス信号 $P b_2$ を生成すると共に、回転角度算出部32に同期指令を出力する。回転角度算出部32は、回転角度 θ をリセットする。その後、第1信号生成部34が、時刻 t_2' で、第1パルス信号 $P a_2'$ を生成する。時刻 t_2' の時点での回転角度 θ は、第4の角度 θd 未満である。この場合、第2信号生成部35は、第2パルス信号 $P b$ を生成せず、同期指令も出力しない。図4の「×」に向かう破線矢印は、第1パルス信号 $P a_3$ に基づいて第2パルス信号 $P b$ が生成されなかったことを表す。なお、リップル成分 $I r$ が基準電流値 $I b$ を超える直前や直後は、微小なノイズが重畳された場合、短時間に連続して複数発生する第1パルス信号 $P a$ の何れが、第2の角度 θc に達したことを示す第1パルス信号 $P a$ か判断できない。しかし、この場合、複数の第1パルス信号 $P a$ は、短い期間内（角度 β 未満）に生成されるため、最初の第1パルス信号 $P a$ の時点で、回転角度 θ が第2の角度 θc に達したと見なしても、実用上、問題ない。また、リップル成分 $I r$ が基準電流値 $I b$ を超える度に、同様のノイズが発生したとしても、誤差は、角度 β 未満に抑えられる。つまり、誤差が累積しない。このため、実用上問題ない範囲に誤差を抑えることができる。

【0038】

また、第2信号生成部35は、第1信号生成部34が第1パルス信号 $P a$ を生成したときの回転角度 θ が第4の角度 θd 以上で且つ第3の角度 θu 未満の場合、すなわち、回転角度 θ が角度範囲 R_1 内にある場合、第2パルス信号 $P b$ を生成することではなく、回転角度算出部32に対して同期指令を出力することもない。図4の例では、時刻 t_6 において第1信号生成部34が第1パルス信号 $P a_5$ を生成したときの回転角度 θ_6 は、第4の角度 θd 以上で且つ第3の角度 θu 未満である。すなわち、回転角度 θ_6 が第2の角度 θc に達するまでの残りの角度が角度 α より大きく、時刻 t_5 でリセットされた後に積算された回転角度 θ_6 が角度 β 以上である。この場合、第2信号生成部35は、第1パルス信号 $P a_5$ がノイズに基づくものと判定できる。そのため、第2信号生成部35は、時刻 t_6 では第2パルス信号 $P b$ を生成することではなく、回転角度算出部32に対して同期指令を出力することもない。すなわち、ノイズに基づく第1パルス信号 $P a_5$ による影響を排除できる。

【0039】

また、第2信号生成部35は、第1信号生成部34が第1パルス信号 $P a$ を生成したときの回転角度 θ が第4の角度 θd 未満の場合、第2パルス信号 $P b$ を生成しない。但し、第2信号生成部35は、第1信号生成部34が第1パルス信号 $P a$ を生成したときの回転角度 θ が第4の角度 θd 未満の場合、回転角度算出部32に対して同期指令を出力する場合と、同期指令を出力しない場合がある。第1パルス信号 $P a$ が生成される前に、回転角度 θ が第2の角度 θc に達した後で、回転角度 θ が第4の角度 θd 未満のときに第1パルス信号 $P a$ が生成されると、第2信号生成部35は、同期指令を回転角度算出部32に送る。但し、第1パルス信号 $P a$ が生成される前に、回転角度 θ が第2の角度 θc に達した後で、回転角度 θ が第4の角度 θd 未満のときに複数の第1パルス信号 $P a$ が生成されると、2番目以降の第1パルス信号 $P a$ は、無視される。すなわち、第2信号生成部35は、同期指令を出力しない。また、回転角度 θ が第2の角度 θc に達する前に第1パルス信号 $P a$ が生成された後、回転角度 θ が第4の角度 θd 未満のときに第1パルス信号 $P a$ が生成されても、第2信号生成部35は、同期指令を出力しない。つまり、第1パルス信号 $P a$ が、第4の角度 θd （角度 β ）未満の間に、複数の第1パルス信号 $P a$ が生成された場合、2番目以降の第1パルス信号 $P a$ は無視される。すなわち、第2信号生成部35は、同期指令を出力しない。図4の例では、時刻 t_4' において第1信号生成部34が第1パルス信号 $P a_3'$ を生成したときの回転角度 θ_4' は、第4の角度 θd 未満である。しかしながら、第1パルス信号 $P a_3'$ は、直近の第2パルス信号 $P b_3$ が生成された後の2番目の第1パルス信号 $P a$ である。そのため、第2信号生成部35は、第1パルス信号 $P a_3'$ を受け取ったときには、第2パルス信号 $P b$ を生成することではなく、回転角度算出部32に対して同期指令を出力することもない。

【0040】

以上の構成により、回転角度検出器100は、電動機10の回転角度 θ の検出誤差を実用上問題ない範囲に抑えることができる。特に、回転角度検出器100では、誤差が累積されることがない。このため、電動機10の回転数にかかわらず、誤差を一定範囲内に抑えることができる。発明者は、次の前提が成り立つことを発見し、上述した回転角度検出器100を発明した。(1)微小ノイズによるリップル成分 I_r の誤検出は、リップル成分 I_r が基準電流値 I_b を超える直前か直後に限定される。この場合、正しく生成された第1パルス信号 P_a の前後の短時間(角度 α だけ前から角度 β だけ後まで)のみ、誤った第1パルス信号 P_a が生成される。(2)大きなノイズは、電源オン直後の突入電流等によるもので、第2の角度 θ_c より充分長い間隔で発生する。(3)回転角度算出部32が、端子間電圧 V' と電流 I_m から算出する回転角度 θ の誤差は、スリット間角度(第2の角度 θ_c)より充分に小さい。

10

【0041】

以上の構成により、第2信号生成部35は、例えば、電動機10の電源オフ後の惰性回転期間において電流 I_m 及びそのリップル成分 I_r が小さくなり、第1信号生成部34がリップル成分 I_r の波形に基づいて第1パルス信号 P_a を生成できない場合であっても、第2パルス信号 P_b を生成できる。

【0042】

また、第2信号生成部35は、例えば、電動機10の電源オン直後に突入電流が発生し、第1信号生成部34がその突入電流に応じて第1パルス信号 P_a を誤って生成してしまった場合であっても、その第1パルス信号 P_a に対応する第2パルス信号 P_b を生成しない。すなわち、その第1パルス信号 P_a による影響を排除できる。

20

【0043】

また、第2信号生成部35は、例えば、第1信号生成部34がノイズ等の影響により第1パルス信号 P_a を誤って生成してしまった場合であっても、その第1パルス信号 P_a に対応する第2パルス信号 P_b を生成することはなく、回転角度算出部32に対して同期指令を出力することもない。

【0044】

そのため、回転角度検出器100は、第1パルス信号 P_a と回転角度信号の双方に基づき生成される第2パルス信号 P_b に基づいて電動機10の回転情報を算出することで、電動機10の回転情報の信頼性を向上させることができる。

30

【0045】

また、第2信号生成部35は、電動機10の回転方向を表す方向信号を出力する。例えば、第2信号生成部35は、回転方向が順回転方向であれば、回転角度 θ として正の値を出力し、回転方向が逆回転方向であれば、回転角度 θ として負の値を出力する。回転角度 θ は、電動機10を流れる電流が正の値のときに正の値を有し、電動機10を流れる電流が負の値のときに負の値を有する。但し、惰性回転中は、回転角度 θ は、電動機10を流れる電流が負の値のときに正の値を有し、電動機10を流れる電流が正の値のときに負の値を有する。

【0046】

40

回転情報算出部36は、電動機10の回転情報を算出する。電動機10の回転情報は、例えば、基準回転位置からの回転量(回転角度)、基準回転位置からの回転数等を含む。電動機10が自動車のウィンドウの昇降に使用される場合には、電動機10の回転情報は、基準位置に対するウィンドウの上縁の相対位置、ウィンドウの開き量等に変換された値でもよい。また、ある期間における回転角速度 ω の平均値、最大値、最小値、中間値等の統計値を含んでいてもよい。図1の例では、回転情報算出部36は、第2信号生成部35の出力に基づいて電動機10の回転情報を算出する。例えば、電動機10の回転が開始した後に生成された第2パルス信号 P_b の数に第2の角度 θ_c を乗ずることで、電動機10の回転が開始した後の回転量を算出する。その際、回転情報算出部36は、第2信号生成部35が第2パルス信号 P_b と共に出力する方向信号に基づいて第2パルス信号 P_b の数

50

をインクリメントするかデクリメントするかを決定する。或いは、回転情報算出部 36 は、順回転方向を表す方向信号と共に受けた第 2 パルス信号 P b の数と、逆回転方向を表す方向信号と共に受けた第 2 パルス信号 P b の数とを別々に計数し、それらの差に基づいて電動機 10 の回転量を算出してもよい。

【0047】

次に、図 5 を参照し、回転角度検出器 100 が電動機 10 の回転量を算出する処理（以下、「回転量算出処理」とする。）の流れについて説明する。図 5 は、回転量算出処理のフローチャートである。回転角度検出器 100 は、電動機 10 の駆動中にこの回転量算出処理を実行する。

【0048】

最初に、回転角度検出器 100 は、端子間電圧 V 及び電流 I m を取得する（ステップ S T 1）。図 1 の例では、回転角度検出器 100 は、電圧検出部 10 a が出力する端子間電圧 V、及び、電流検出部 10 b が出力する電流 I m を所定の制御周期毎に取得する。

【0049】

その後、回転角度検出器 100 は、回転角速度 ω 及び回転角度 θ を算出する（ステップ S T 2）。図 1 の例では、回転角度検出器 100 の回転角速度算出部 31 は、端子間電圧 V' と電流 I m を式（1）に代入して回転角速度 ω を所定の制御周期毎に算出する。そして、回転角度検出器 100 の回転角度算出部 32 は、制御周期毎に算出される回転角速度 ω を積算して回転角度 θ を算出する。

【0050】

その後、回転角度検出器 100 は、回転角度 θ が第 2 の角度 θc 未満であるか否かを判定する（ステップ S T 3）。図 1 の例では、回転角度検出器 100 の第 2 信号生成部 35 は、回転角度 θ が第 2 の角度 θc （スリット間角度）未満であるか否かを判定する。

【0051】

回転角度 θ が第 2 の角度 θc 以上であると判定した場合（ステップ S T 3 の N O）、第 2 信号生成部 35 は、第 2 の角度 θc までのタイミングで第 1 パルス信号 P a が生成されなかったと判定する。この場合、第 2 信号生成部 35 は、第 1 パルス信号 P a が生成されていないことを示すためにフラグ F を "F a l s e" にする（ステップ S T 3 A）。フラグ F は、第 1 パルス信号 P a が生成されたか否かを示すためのフラグである。フラグ F の初期値は、第 1 パルス信号 P a が生成されていないことを示す "F a l s e" である。フラグ F が "T r u e" であることは、第 1 パルス信号 P a が既に生成されたことを示す。そして、第 2 パルス信号 P b を生成し（ステップ S T 10）、且つ、回転角度 θ をゼロにリセットする（ステップ S T 11）。これは、第 1 パルス信号 P a が生成される前に回転角度 θ が第 2 の角度 θc に達した場合であり、図 4 の例において時刻 t 3、t 7、t 9 で回転角度 θ が回転角度 $\theta 3$ 、 $\theta 7$ 、 $\theta 9$ に達した場合に対応する。

【0052】

一方、回転角度 θ が第 2 の角度 θc 未満であると判定した場合（ステップ S T 3 の Y E S）、第 2 信号生成部 35 は、第 1 パルス信号 P a が生成されたか否かを判定する（ステップ S T 4）。図 1 の例では、第 1 信号生成部 34 によって第 1 パルス信号 P a が生成されたか否かを判定する。

【0053】

回転角度 θ が第 2 の角度 θc 未満の段階（ステップ S T 3 の Y E S）で第 1 パルス信号 P a が未だ生成されていないと第 2 信号生成部 35 が判定した場合（ステップ S T 4 の N O）、回転角度検出器 100 は、回転量を算出する（ステップ S T 7）。そして、回転情報算出部 36 は、第 2 信号生成部 35 の出力に基づいて電動機 10 の回転量を算出する。この場合、算出される回転量に変化はない。これは、図 4 の例において時刻 t 0 で回転角度 θ が回転角度 $\theta 0$ になっている場合に対応する。

【0054】

その後、回転角度検出器 100 は、回転角速度 ω がゼロになったか否かを判定する（ステップ S T 8）。そして、回転角度検出器 100 は、回転角速度 ω がゼロになっていない

10

20

30

40

50

と判定した場合（ステップST8のNO）、処理をステップST1に戻し、回転角速度 ω がゼロになったと判定した場合（ステップST8のYES）、回転量算出処理を終了させる。

【0055】

第1パルス信号Paが生成されたと判定した場合（ステップST4のYES）、第2信号生成部35は、回転角度 θ が第3の角度 θ_u 未満であるか否かを判定する（ステップST5）。第3の角度 θ_u 未満のタイミングで生成された第1パルス信号Paは、ノイズに基づく偶然性が高いためである。

【0056】

回転角度 θ が第3の角度 θ_u 以上であると判定した場合（ステップST5のNO）、第2信号生成部35は、第1パルス信号Paが生成されたか否かを示すためにフラグFを"True"にする（ステップST5A）。そして、第2信号生成部35は、第2パルス信号Pbを生成し（ステップST10）、且つ、回転角度 θ をゼロにリセットする（ステップST11）。回転角度 θ が、第3の角度 θ_u 以上のときに第1パルス信号Paが発生した場合、第1パルス信号Paが発生した時点の実際の回転角度が、第2の角度 θ_c に近いためである。これは、図4の例において時刻t1、t2、t5で第1パルス信号Pa1、Pa2、Pa4が生成された場合に対応する。

【0057】

回転角度 θ が第3の角度 θ_u 未満であると判定した場合（ステップST5のYES）、第2信号生成部35は、現時点では、第1パルス信号Paがノイズに基づくものでないとは判定できない。回転角度 θ は、多少の誤差を含む場合がある。また、第1パルス信号Paの生成時期が、ノイズ等の影響で、若干ずれることがある。このため、回転角度 θ が第2の角度 θ_c に達する時期と、第1パルス信号Paの生成時期がずれる場合がある。このため、回転角度 θ が第2の角度 θ_c に達する時期と、第1パルス信号Paの生成時期のどちらが早いかわからないためである。そこで、第2信号生成部35は、直近の第2パルス信号Pbを生成した後で最初に受け取った第1パルス信号Paに関し、回転角度 θ が第4の角度 θ_d 未満であるか否かを判定する（ステップST6）。

【0058】

最初の第1パルス信号Paに関する回転角度 θ が第4の角度 θ_d 未満であると判定した場合（ステップST6のYES）、第2信号生成部35は、フラグFを調べる（ステップST6A）。フラグFは、第1パルス信号Paが、連続して発生したことを判断するためのフラグである。フラグFが"True"の場合、第1パルス信号Paは、連続して発生した2番目以降の第1パルス信号Paである。フラグFが"True"の場合（ステップST6AのYES）、回転角度検出器100は、回転量を算出する（ステップST7）。これは、図4の例において時刻t2'、t4'で第1パルス信号Pa2'、Pa3'が生成されたときに対応する。フラグFが"False"の場合（ステップST6AのNO）、第2信号生成部35は、フラグFを"True"にする（ステップST6B）。その後、第2信号生成部35は、回転角度 θ をゼロにリセットする（ステップST11）。回転角度 θ が、第4の角度 θ_d 未満の場合、第1パルス信号Paが生成されたときの実際の回転角度が、第2の角度 θ_c に近いためである。すなわち、第4の角度 θ_d 未満の場合、第1パルス信号Paが、直前に生成した第2パルス信号Pbに対応すると判定できるためである。これは、図4の例において時刻t4、t8で第1パルス信号Pa3、Pa6が生成された場合に対応する。すなわち、第1パルス信号Pa3、Pa6が第2パルス信号Pb3、Pb5に対応すると判定できる。

【0059】

最初の第1パルス信号Paに関する回転角度 θ が第4の角度 θ_d 以上であると判定した場合（ステップST6のNO）、すなわち、角度範囲R1内であると判定した場合、第2信号生成部35は、その第1パルス信号Paがノイズに基づくものであると判定する。この場合、第2信号生成部35は、第2パルス信号Pbを生成することなく、回転角度 θ をリセットすることもない。そして、回転情報算出部36は、第2信号生成部35の出力

10

20

30

40

50

に基づいて電動機 10 の回転量を算出する。これは、図 4 の例において時刻 t_6 で第 1 パルス信号 P_a が生成されたときに対応する。すなわち、第 2 信号生成部 35 は、第 1 パルス信号 P_a をノイズに基づくものと判定している。

【0060】

その後、回転角度検出器 100 は、電動機 10 の回転量を算出する（ステップ S T 7）。図 1 の例では、回転角度検出器 100 の回転情報算出部 36 は、電動機 10 の回転が開始した後に生成された第 2 パルス信号 P_b の数に第 2 の角度 θ_c を乗ずることで、電動機 10 の回転が開始した後の回転量を算出する。

【0061】

次に、図 6 を参照し、回転角度検出器 100 が算出した電動機 10 の回転量の信頼性に関する実験結果について説明する。図 6 は、合成パルス信号及びホールパルス信号のそれぞれの推移を示す図である。

10

【0062】

合成パルス信号は、第 2 パルス信号 P_b の複数パルスを 1 パルスに合成することで得られる信号である。図 6 の例では、スリット間角度（第 2 の角度 θ_c ）は 90 度である。第 1 パルス信号 P_a 及び第 2 パルス信号 P_b は、基本的に、電動機 10 の回転軸が 90 度回転する度に生成されている。そして、合成パルス信号は、第 2 パルス信号 P_b の 2 パルスを 1 パルスに合成して生成されている。すなわち、回転角度検出器 100 は、電動機 10 の回転軸が 180 度回転する度に合成パルス信号を 1 つ生成するように構成されている。

【0063】

20

ホールパルス信号は、ホールセンサが出力したパルス信号である。ホールセンサは、第 2 パルス信号 P_b とホールパルス信号との比較のために電動機 10 の回転軸に取り付けられた磁石が作る磁束を検出する。図 6 の例では、回転角度検出器 100 は、電動機 10 の回転軸が 180 度回転する度にホールパルス信号を 1 つ生成するように構成されている。

【0064】

図 6 の「×」に向かう破線矢印は、第 1 パルス信号 P_a に基づいて第 2 パルス信号 P_b が生成されなかったことを表す。すなわち、第 1 パルス信号 P_a がノイズとして無視されたことを表す。また、図 6 の 8 つの実線矢印は、第 1 パルス信号 P_a の生成漏れの際に第 2 パルス信号 P_b が追加されたことを表す。

【0065】

30

図 6 の例では、電動機 10 の順回転を開始させてからその順回転を停止させるまでの期間に生成された合成パルス信号及びホールパルス信号のそれぞれの数が等しいことが確認された。すなわち、第 2 パルス信号 P_b に基づいて算出される電動機 10 の回転量が、ホールセンサによって検出される電動機 10 の回転量に等しいことが確認された。

【0066】

次に、図 7 及び図 8 を参照し、回転量算出処理の別の一例について説明する。図 7 は、回転量算出処理の別の一例のフローチャートである。回転角度検出器 100 は、電動機 10 の駆動中にこの回転量算出処理を実行する。図 8 は、図 7 に示した回転量算出処理を実行して第 2 信号生成部 35 が第 2 パルス信号 P_b を生成するタイミングの一例を示す図である。図 8 は、回転角度 θ が第 3 の角度 θ_u 以上で且つ第 4 の角度 θ_d 未満の角度範囲である受付範囲をドットパターンで示す。

40

【0067】

図 7 及び図 8 の例では、第 1 の角度 θ_p は、第 3 の角度 θ_u 以上で且つ第 4 の角度 θ_d 以下である。第 2 の角度 θ_c は、電動機 10 のスリット間角度に等しい。第 3 の角度 θ_u 、及び、第 4 の角度 θ_d は、第 1 パルス信号 P_a の受付可否の閾値であり、第 3 の角度 θ_u が第 4 の角度 θ_d より小さい。

【0068】

概略的には、回転角度検出器 100 の第 2 信号生成部 35 は、回転角度 θ が第 3 の角度 θ_u 以上で且つ第 4 の角度 θ_d 未満である受付範囲内にあるときに第 1 信号生成部 34 が最初に生成した第 1 パルス信号 P_a に基づいて、第 2 パルス信号 P_b を生成する。但し、

50

回転角度 θ が第 3 の角度 θ_u 以上で且つ第 4 の角度 θ_d 未満のときに第 1 信号生成部 34 が生成した 2 番目以降の第 1 パルス信号 P_a を無視する。また、回転角度 θ が第 3 の角度 θ_u 未満、或いは、第 4 の角度 θ_d 以上のときに第 1 信号生成部 34 が生成した第 1 パルス信号 P_a を無視する。

【0069】

また、第 2 信号生成部 35 は、回転角度 θ が第 3 の角度 θ_u から第 1 の角度 θ_p になるまでに第 1 信号生成部 34 が第 1 パルス信号 P_a を生成していないときには、回転角度 θ が第 1 の角度 θ_p になった時点で第 2 パルス信号 P_b を生成する。第 2 パルス信号 P_b が生成された前回の時点からの電動機 10 の実際の回転角度が、リップル成分 I_r の 1 周期に対応する角度だけ増加したと推定できるためである。また、第 1 パルス信号 P_a は、基本的には、電動機 10 の実際の回転角度がリップル成分 I_r の 1 周期に対応する角度だけ増加する毎に生成されるためである。この場合、第 2 信号生成部 35 は、その後に第 1 信号生成部 34 が生成した第 1 パルス信号 P_a を無視する。

10

【0070】

図 7 の例では、回転角度検出器 100 は、最初に、端子間電圧 V 及び電流 I_m を取得する（ステップ $ST21$ ）。具体的には、回転角度検出器 100 は、電圧検出部 10a が出力する端子間電圧 V 、及び、電流検出部 10b が出力する電流 I_m を所定の制御周期毎に取得する。

【0071】

その後、回転角度検出器 100 は、回転角速度 ω 及び回転角度 θ を算出する（ステップ $ST22$ ）。図 7 の例では、回転角度検出器 100 の回転角速度算出部 31 は、端子間電圧 V' と電流 I_m を式（1）に代入して回転角速度 ω を所定の制御周期毎に算出する。そして、回転角度検出器 100 の回転角度算出部 32 は、制御周期毎に算出される回転角速度 ω を積算して回転角度 θ を算出する。

20

【0072】

その後、回転角度検出器 100 は、回転角度 θ が第 3 の角度 θ_u 未満であるか否かを判定する（ステップ $ST23$ ）。図 7 の例では、回転角度検出器 100 の第 2 信号生成部 35 は、回転角度 θ が第 3 の角度 θ_u 未満であるか否かを判定する。

【0073】

回転角度 θ が第 3 の角度 θ_u 未満であると判定した場合（ステップ $ST23$ の YES ）、回転角度検出器 100 は、回転量を算出する（ステップ $ST24$ ）。図 7 の例では、回転角度検出器 100 の回転情報算出部 36 は、第 2 信号生成部 35 の出力に基づいて電動機 10 の回転量を算出する。

30

【0074】

その後、回転角度検出器 100 は、回転角速度 ω がゼロになったか否かを判定する（ステップ $ST25$ ）。そして、回転角度検出器 100 は、回転角速度 ω がゼロになっていないと判定した場合（ステップ $ST25$ の NO ）、処理をステップ $ST21$ に戻し、回転角速度 ω がゼロになったと判定した場合（ステップ $ST25$ の YES ）、回転量算出処理を終了させる。

【0075】

回転角度 θ が第 3 の角度 θ_u 未満でないと判定した場合（ステップ $ST23$ の NO ）、回転角度検出器 100 は、回転角度 θ が第 1 の角度 θ_p 未満であるか否かを判定する（ステップ $ST26$ ）。そして、回転角度 θ が第 1 の角度 θ_p 未満であると判定した場合（ステップ $ST26$ の YES ）、回転角度検出器 100 は、第 1 パルス信号 P_a が生成されたか否かを判定する（ステップ $ST27$ ）。

40

【0076】

第 1 パルス信号 P_a が未だ生成されていないと判定した場合（ステップ $ST27$ の NO ）、回転角度検出器 100 は、回転量を算出する（ステップ $ST24$ ）。そして、回転情報算出部 36 は、第 2 信号生成部 35 の出力に基づいて電動機 10 の回転量を算出する。

【0077】

50

第1パルス信号P aが生成されたと判定した場合（ステップS T 2 7のY E S）、回転角度検出器1 0 0は、回転角度 θ を第1の角度 θ_p に補正し、フラグRを"True"にし、第2パルス信号P bを生成し、且つ、フラグGを"True"にする（ステップS T 2 8）。その後、回転角度検出器1 0 0は、ステップS T 2 4及びステップS T 2 5を実行する。

【0078】

図7の例では、第2信号生成部3 5は、回転角度算出部3 2に対して同期指令を出力する。回転角度算出部3 2は、同期指令を受けると、回転角度 θ を第1の角度 θ_p に補正する。

【0079】

フラグRは、第1パルス信号P aが生成されたか否かを示すためのフラグである。フラグRの初期値は、第1パルス信号P aが生成されていないことを示す"False"である。フラグRが"True"であることは、第1パルス信号P aが既に生成されたことを示す。

【0080】

フラグGは、第2パルス信号P bが生成されたか否かを示すためのフラグである。フラグGの初期値は、第2パルス信号P bが生成されていないことを示す"False"である。フラグGが"True"であることは、第2パルス信号P bが既に生成されたことを示す。

【0081】

回転角度 θ が第1の角度 θ_p 以上であると判定した場合（ステップS T 2 6のN O）、回転角度検出器1 0 0は、フラグGが"False"であるか否かを判定する（ステップS T 2 9）。すなわち、回転角度 θ が第1の角度 θ_p になるまでに第2信号生成部3 5が第2パルス信号P bを既に生成しているか否かを判定する。

【0082】

フラグGが"False"であると判定した場合（ステップS T 2 9のY E S）、すなわち、回転角度 θ が第1の角度 θ_p になるまでに第2信号生成部3 5が第2パルス信号P bを生成していない場合、回転角度検出器1 0 0は、第2パルス信号P bを生成し、且つ、フラグGを"True"にする（ステップS T 3 0）。

【0083】

その後、回転角度検出器1 0 0は、回転角度 θ が第4の角度 θ_d 未満であるか否かを判定する（ステップS T 3 1）。なお、フラグGが"False"でないと判定した場合（ステップS T 2 9のN O）、すなわち、回転角度 θ が第1の角度 θ_p になるまでに第2信号生成部3 5が第2パルス信号P bを生成している場合には、回転角度検出器1 0 0は、ステップS T 3 0を実行することなく、ステップS T 3 1を実行する。

【0084】

そして、回転角度 θ が第4の角度 θ_d 未満であると判定した場合（ステップS T 3 1のY E S）、回転角度検出器1 0 0は、フラグRが"False"であるか否かを判定する（ステップS T 3 2）。すなわち、回転角度 θ が第3の角度 θ_u から現在の回転角度になるまでに第1信号生成部3 4が第1パルス信号P aを既に生成しているか否かを判定する。

【0085】

フラグRが"False"であると判定した場合（ステップS T 3 2のY E S）、すなわち、回転角度 θ が第3の角度 θ_u から現在の角度になるまでに第1信号生成部3 4が未だ第1パルス信号P aを生成していない場合、回転角度検出器1 0 0は、第1パルス信号P aが生成されたか否かを判定する（ステップS T 3 3）。

【0086】

フラグRが"False"でないと判定した場合（ステップS T 3 2のN O）、すなわち、回転角度 θ が第3の角度 θ_u から現在の角度になるまでに第1信号生成部3 4が既に第1パルス信号P aを生成していた場合、回転角度検出器1 0 0は、ステップS T 3 3を実行することなく、ステップS T 2 4及びステップS T 2 5を実行する。

【0087】

ステップST33において、第1パルス信号Paが生成されたと判定した場合（ステップST33のYES）、回転角度検出器100は、回転角度 θ を第1の角度 θ_p に補正し、且つ、フラグRを"True"にする（ステップST34）。その後、回転角度検出器100は、ステップST24及びステップST25を実行する。

【0088】

第1パルス信号Paが生成されていないと判定した場合（ステップST33のNO）、回転角度検出器100は、ステップST34を実行することなく、ステップST24及びステップST25を実行する。

【0089】

ステップST31において、回転角度 θ が第4の角度 θ_d 未満でないと判定した場合（ステップST31のNO）、回転角度検出器100は、回転角度 θ が第2の角度 θ_c 未満であるか否かを判定する（ステップST35）。

【0090】

回転角度 θ が第2の角度 θ_c 未満でないと判定した場合（ステップST35のNO）、すなわち、回転角度 θ が、リップル成分Irの1周期に対応する角度に達した場合、回転角度検出器100は、回転角度 θ をゼロにリセットし、フラグRを"False"にし、且つ、フラグGを"False"にする（ステップST36）。その後、回転角度検出器100は、ステップST24及びステップST25を実行する。

【0091】

回転角度 θ が第2の角度 θ_c 未満であると判定した場合（ステップST35のYES）、回転角度検出器100は、ステップST36を実行することなく、ステップST24及びステップST25を実行する。

【0092】

図8の例では、時刻t1において第1信号生成部34が第1パルス信号Paを生成したときの回転角度 θ は第3の角度 θ_u 未満である。そのため、第2信号生成部35は、図7のステップST23からステップST24に至るフローにしたがい、時刻t1において第1信号生成部34が生成した第1パルス信号Paを無視する。すなわち、第2パルス信号Pbを生成しない。

【0093】

時刻t2において第1信号生成部34が第1パルス信号Paを生成したときの回転角度 θ は、第3の角度 θ_u 以上で且つ第1の角度 θ_p 未満である。また、時刻t2において第1信号生成部34が生成した第1パルス信号Paは、回転角度 θ が第3の角度 θ_u から第1の角度 θ_p になるまでに生成された最初の第1パルス信号Paである。そのため、第2信号生成部35は、図7のステップST26からステップST27及びステップST28を経てステップST24に至るフローにしたがい、回転角度 θ を第1の角度 θ_p に補正し、フラグRを"True"にし、第2パルス信号Pbを生成し、且つ、フラグGを"True"にする。

【0094】

時刻t3において第1信号生成部34が第1パルス信号Paを生成したときの回転角度 θ は、第1の角度 θ_p 以上で且つ第4の角度 θ_d 未満である。そのため、第2信号生成部35は、図7のステップST31からステップST32を経てステップST24に至るフローにしたがい、時刻t3において第1信号生成部34が生成した第1パルス信号Paを無視する。

【0095】

時刻t4において第1信号生成部34が第1パルス信号Paを生成したときの回転角度 θ は、第4の角度 θ_d 以上で且つ第2の角度 θ_c 未満である。そのため、第2信号生成部35は、図7のステップST35からステップST24に至るフローにしたがい、時刻t4において第1信号生成部34が生成した第1パルス信号Paを無視する。時刻t12においても同様である。

10

20

30

40

50

【0096】

時刻 t_5 において回転角度 θ は第2の角度 θ_c に達している。そのため、第2信号生成部35は、図7のステップST35からステップST36を経てステップST24に至るフローにしたがい、回転角度 θ をゼロにリセットし、フラグRを"False"にし、且つ、フラグGを"False"にする。時刻 t_9 及び t_{11} のそれぞれにおいても同様である。

【0097】

時刻 t_6 において回転角度 θ は第1の角度 θ_p に達している。また、回転角度 θ が第3の角度 θ_u から第1の角度 θ_p に達するまでに第1信号生成部34は第1パルス信号Paを生成していない。そのため、第2信号生成部35は、図7のステップST26からステップST29を経てステップST30に至るフローにしたがい、第2パルス信号Pbを生成する。時刻 t_{10} においても同様である。

10

【0098】

時刻 t_7 において第1信号生成部34が第1パルス信号Paを生成したときの回転角度 θ は第1の角度 θ_p 以上で且つ第4の角度 θ_d 未満である。また、時刻 t_7 において第1信号生成部34が生成した第1パルス信号Paは、回転角度 θ が第3の角度 θ_u から第4の角度 θ_d になるまでに生成された最初の第1パルス信号Paである。そのため、第2信号生成部35は、図7のステップST31からステップST32、ステップST33及びステップST34を経てステップST24に至るフローにしたがい、回転角度 θ を第1の角度 θ_p に補正し、且つ、フラグRを"True"にする。但し、第2信号生成部35は、第2パルス信号Pbを生成せず、フラグGを"True"にすることもない。時刻 t_6 で既に第2パルス信号Pbを生成しているためである。

20

【0099】

時刻 t_8 において第1信号生成部34が第1パルス信号Paを生成したときの回転角度 θ は第1の角度 θ_p 以上で且つ第4の角度 θ_d 未満である。また、時刻 t_8 において第1信号生成部34が生成した第1パルス信号Paは、回転角度 θ が第3の角度 θ_u から第4の角度 θ_d になるまでに生成された2番目の第1パルス信号Paであり、最初の第1パルス信号Paではない。そのため、第2信号生成部35は、図7のステップST32からステップST33及びステップST34をスキップしてステップST24に至るフローにしたがい、時刻 t_8 において第1信号生成部34が生成した第1パルス信号Paを無視する。

30

【0100】

図7に示す回転量算出処理により、回転角度検出器100は、図5に示すような前述の回転量算出処理を実行する場合と同様に、回転角度 θ の検出誤差を実用上問題ない範囲に抑えることができる。

【0101】

次に、図9及び図10を参照し、回転量算出処理の更に別の一例について説明する。図9は、回転量算出処理の更に別の一例のフローチャートである。回転角度検出器100は、電動機10の駆動中にこの回転量算出処理を実行する。なお、図9は、図7に示すフローチャートの変形例である。そのため、同じ内容のステップに対しては同じ参照符号（ステップ番号）が付されている。後述の図9、図11、図13、図15、図18及び図20についても同様である。図10は、図9に示した回転量算出処理を実行して第2信号生成部35が第2パルス信号Pbを生成するタイミングの一例を示す図である。図10は、回転角度 θ が第3の角度 θ_u （ゼロ）以上で且つ第4の角度 θ_d 未満の角度範囲である受付範囲をドットパターンで示す。

40

【0102】

図9及び図10の例は、第3の角度 θ_u をゼロとした点で図7及び図8の例と異なるが、その他の点で同じである。具体的には、図9では、第3の角度 θ_u をゼロとしたため、回転角度 θ が第3の角度 θ_u 未満であるか否かを判定するステップST23（図7参照。）が省略されている。また、図10では、ドットパターンで示す受付範囲は、図8にお

50

る受付範囲よりも低い位置に設定されている。

【0103】

より具体的には、図10では、時刻 t_1 において第1信号生成部34が第1パルス信号 P_a を生成したときの回転角度 θ は、第3の角度 θ_u であるゼロ以上で且つ第1の角度 θ_p 未満である。また、時刻 t_1 において第1信号生成部34が生成した第1パルス信号 P_a は、回転角度 θ が第3の角度 θ_u （ゼロ）から第1の角度 θ_p になるまでに生成された最初の第1パルス信号 P_a である。そのため、第2信号生成部35は、図9のステップST26からステップST27及びステップST28を経てステップST24に至るフローにしたがい、回転角度 θ を第1の角度 θ_p に補正し、フラグRを"True"にし、第2パルス信号 P_b を生成し、且つ、フラグGを"True"にする。

10

【0104】

図9に示す回転量算出処理により、回転角度検出器100は、前述の回転量算出処理を実行する場合と同様に、回転角度 θ の検出誤差を実用上問題ない範囲に抑えることができる。

【0105】

次に、図11及び図12を参照し、回転量算出処理の更に別の一例について説明する。図11は、回転量算出処理の更に別の一例のフローチャートである。回転角度検出器100は、電動機10の駆動中にこの回転量算出処理を実行する。図12は、図11に示した回転量算出処理を実行して第2信号生成部35が第2パルス信号 P_b を生成するタイミングの一例を示す図である。図12は、回転角度 θ が第3の角度 θ_u 以上で且つ第4の角度 θ_d （＝第2の角度 θ_c ）未満の角度範囲である受付範囲をドットパターンで示す。

20

【0106】

図11及び図12の例は、第4の角度 θ_d を第2の角度 θ_c とした点で図7及び図8の例と異なるが、その他の点で同じである。具体的には、図11では、第4の角度 θ_d を第2の角度 θ_c としたため、回転角度 θ が第2の角度 θ_c 未満であるか否かを判定するステップST35（図7参照。）が省略されている。また、図12では、ドットパターンで示す受付範囲は、図8における受付範囲よりも高い位置に設定されている。

【0107】

より具体的には、図12では、時刻 t_4 において回転角度 θ は第4の角度 θ_d に達している。そのため、第2信号生成部35は、図11のステップST31からステップST36に至るフローにしたがい、回転角度 θ をゼロにリセットし、フラグRを"False"にし、且つ、フラグGを"False"にする。時刻 t_8 及び t_{11} のそれぞれにおいても同様である。

30

【0108】

図11に示す回転量算出処理により、回転角度検出器100は、前述の回転量算出処理を実行する場合と同様に、回転角度 θ の検出誤差を実用上問題ない範囲に抑えることができる。

【0109】

次に、図13及び図14を参照し、回転量算出処理の更に別の一例について説明する。図13は、回転量算出処理の更に別の一例のフローチャートである。回転角度検出器100は、電動機10の駆動中にこの回転量算出処理を実行する。図14は、図13に示した回転量算出処理を実行して第2信号生成部35が第2パルス信号 P_b を生成するタイミングの一例を示す図である。図14は、回転角度 θ が第3の角度 θ_u 以上で且つ第2の角度 θ_c 未満の角度範囲と、ゼロ以上で且つ第4の角度 θ_d 未満の角度範囲との組み合わせである受付範囲をドットパターンで示す。

40

【0110】

図13及び図14の例は、第4の角度 θ_d が第3の角度 θ_u より小さい点で図7及び図8と異なるが、その他の点で同じである。具体的には、図13の例では、第4の角度 θ_d を第3の角度 θ_u 未満としたため、回転角度 θ が第4の角度 θ_d 未満であるか否かを判定するステップST31を、回転角度 θ が第3の角度 θ_u 未満であるか否かを判定するステ

50

ップST23よりも前に実行するように構成されている。また、回転角度 θ が第4の角度 θ_d 以上で且つ第3の角度 θ_u 未満であると判定した場合（ステップST23のYES）、回転角度検出器100は、フラグR及びフラグGを"False"にするステップST36Aを実行するように構成されている。また、ステップST35において、回転角度 θ が第2の角度 θ_c 以上であると判定した場合（ステップST35のNO）、回転角度検出器100は、フラグR及びフラグGを"False"にすることなく、回転角度 θ をゼロにリセットする（ステップST36B）。なお、ステップST36A及びステップST36Bのそれぞれで実行される処理は、図7のステップST36で実行される処理に対応している。そして、回転角度 θ が第2の角度 θ_c 未満であると判定した場合には（ステップST35のYES）、回転角度検出器100は、ステップST32を実行するように構成されている。また、図14では、ドットパターンで示す受付範囲は、図8における受付範囲と異なり、2つに分離されている。

10

【0111】

より具体的には、図14の例では、時刻 t_1 において第1信号生成部34が第1パルス信号Paを生成したときの回転角度 θ は第4の角度 θ_d 以上で且つ第3の角度 θ_u 未満である。そのため、第2信号生成部35は、図13のステップST23からステップST36Aを経てステップST24に至るフローにしたがい、時刻 t_1 において第1信号生成部34が生成した第1パルス信号Paを無視する。すなわち、第2パルス信号Pbを生成しない。時刻 t_5 及び時刻 t_{16} においても同様である。

【0112】

20

また、時刻 t_4 において第1信号生成部34が第1パルス信号Paを生成したときの回転角度 θ は、第4の角度 θ_d 未満である。そして、時刻 t_4 において第1信号生成部34が生成した第1パルス信号Paは、回転角度 θ が第3の角度 θ_u から第2の角度 θ_c 及びリセット後のゼロを経て第4の角度 θ_d になるまでに生成された2番目の第1パルス信号Paであり、最初の第1パルス信号Paではない。そのため、第2信号生成部35は、図13のステップST32からステップST33及びステップST34をスキップしてステップST24に至るフローにしたがい、時刻 t_4 において第1信号生成部34が生成した第1パルス信号Paを無視する。時刻 t_9 においても同様である。

【0113】

また、時刻 t_{12} において第1信号生成部34が第1パルス信号Paを生成したときの回転角度 θ は、第4の角度 θ_d 未満である。そして、時刻 t_{12} において第1信号生成部34が生成した第1パルス信号Paは、回転角度 θ が第3の角度 θ_u から第2の角度 θ_c 及びリセット後のゼロを経て第4の角度 θ_d になるまでに生成された最初の第1パルス信号Paである。そのため、第2信号生成部35は、図13のステップST33からステップST34を経てステップST24に至るフローにしたがい、回転角度 θ を第1の角度 θ_p に補正し、且つ、フラグRを"True"にする。

30

【0114】

図13に示す回転量算出処理により、回転角度検出器100は、前述の回転量算出処理を実行する場合と同様に、回転角度 θ の検出誤差を実用上問題ない範囲に抑えることができる。

40

【0115】

次に、図15及び図16を参照し、回転量算出処理の更に別の一例について説明する。図15は、回転量算出処理の更に別の一例のフローチャートである。回転角度検出器100は、電動機10の駆動中にこの回転量算出処理を実行する。図16は、図15に示した回転量算出処理を実行して第2信号生成部35が第2パルス信号Pbを生成するタイミングの一例を示す図である。図16は、回転角度 θ が第3の角度 θ_u 以上で且つ第2の角度 θ_c 未満の角度範囲と、ゼロ以上で且つ第4の角度 θ_d 未満の角度範囲との組み合わせである受付範囲をドットパターンで示す。

【0116】

図15及び図16の例は、第1の角度 θ_p 及び第4の角度 θ_d が第3の角度 θ_u より小

50

さい点で図7及び図8と異なるが、その他の点で同じである。具体的には、図15の例では、第1の角度 θ_p 及び第4の角度 θ_d を第3の角度 θ_u 未満としたため、回転角度 θ が第3の角度 θ_u 未満であるか否かを判定するステップST23を、回転角度 θ が第4の角度 θ_d 未満であるか否かを判定するステップST31よりも後に実行するように構成されている。また、回転角度 θ が第4の角度 θ_d 以上で且つ第3の角度 θ_u 未満であると判定した場合（ステップST23のYES）、回転角度検出器100は、フラグR及びフラグGを"False"にするステップST36Aを実行するように構成されている。また、ステップST35において、回転角度 θ が第2の角度 θ_c 以上であると判定した場合（ステップST35のNO）、回転角度検出器100は、フラグR及びフラグGを"False"にすることなく、回転角度 θ をゼロにリセットする（ステップST36B）。なお、ステップST36A及びステップST36Bのそれぞれで実行される処理は、図7のステップST36で実行される処理に対応している。そして、回転角度 θ が第2の角度 θ_c 未満であると判定した場合には（ステップST35のYES）、回転角度検出器100は、ステップST27を実行するように構成されている。また、図16では、ドットパターンで示す受付範囲は、図8における受付範囲と異なり、2つに分離されている。

10

【0117】

より具体的には、図16の例では、時刻 t_1 において第1信号生成部34が第1パルス信号Paを生成したときの回転角度 θ は第4の角度 θ_d 以上で且つ第3の角度 θ_u 未満である。そのため、第2信号生成部35は、図15のステップST23からステップST36Aを経てステップST24に至るフローにしたがい、時刻 t_1 において第1信号生成部34が生成した第1パルス信号Paを無視する。すなわち、第2パルス信号Pbを生成しない。時刻 t_4 においても同様である。

20

【0118】

また、時刻 t_2 において第1信号生成部34が第1パルス信号Paを生成したときの回転角度 θ は、第3の角度 θ_u 以上で且つ第2の角度 θ_c 未満である。そして、時刻 t_2 において第1信号生成部34が生成した第1パルス信号Paは、回転角度 θ が第3の角度 θ_u から第2の角度 θ_c になるまでに生成された最初の第1パルス信号Paである。そのため、第2信号生成部35は、図15のステップST35からステップST27及びステップST28を経てステップST24に至るフローにしたがい、回転角度 θ を第1の角度 θ_p に補正し、フラグRを"True"にし、第2パルス信号Pbを生成し、且つ、フラグG

30

【0119】

また、時刻 t_3 において第1信号生成部34が第1パルス信号Paを生成したときの回転角度 θ は、第4の角度 θ_d 未満である。そして、時刻 t_3 において第1信号生成部34が生成した第1パルス信号Paは、回転角度 θ が第3の角度 θ_u から第2の角度 θ_c 及びリセット後のゼロを経て第4の角度 θ_d になるまでに生成された2番目の第1パルス信号Paであり、最初の第1パルス信号Paではない。そのため、第2信号生成部35は、図15のステップST32からステップST33及びステップST34をスキップしてステップST24に至るフローにしたがい、時刻 t_3 において第1信号生成部34が生成した第1パルス信号Paを無視する。

40

【0120】

また、時刻 t_6 において第1信号生成部34が第1パルス信号Paを生成したときの回転角度 θ は第1の角度 θ_p 未満である。そして、時刻 t_6 において第1信号生成部34が生成した第1パルス信号Paは、回転角度 θ が第3の角度 θ_u から第2の角度 θ_c 及びリセット後のゼロを経て第4の角度 θ_d になるまでに生成された最初の第1パルス信号Paである。そのため、第2信号生成部35は、図15のステップST26からステップST27及びステップST28を経てステップST24に至るフローにしたがい、回転角度 θ を第1の角度 θ_p に補正し、フラグRを"True"にし、第2パルス信号Pbを生成し、且つ、フラグGを"True"にする。

【0121】

50

また、時刻 t_9 において第 1 信号生成部 34 が第 1 パルス信号 P_a を生成したときの回転角度 θ は第 1 の角度 θ_p 以上で且つ第 4 の角度 θ_d 未満である。そして、時刻 t_9 において第 1 信号生成部 34 が生成した第 1 パルス信号 P_a は、回転角度 θ が第 3 の角度 θ_u から第 2 の角度 θ_c 及びリセット後のゼロを経て第 4 の角度 θ_d になるまでに生成された最初の第 1 パルス信号 P_a である。そのため、第 2 信号生成部 35 は、図 15 のステップ ST31 からステップ ST32 及びステップ ST33 及びステップ ST34 を経てステップ ST24 に至るフローにしたがい、回転角度 θ を第 1 の角度 θ_p に補正し、且つ、フラグ R を "True" にする。但し、第 2 信号生成部 35 は、第 2 パルス信号 P_b を生成せず、フラグ G を "True" にすることもない。時刻 t_8 で既に第 2 パルス信号 P_b を生成したためである。

10

【0122】

図 15 に示す回転量算出処理により、回転角度検出器 100 は、前述の回転量算出処理を実行する場合と同様に、回転角度 θ の検出誤差を実用上問題ない範囲に抑えることができる。

【0123】

次に、図 17 を参照し、回転角度検出器 100 の別の構成例について説明する。図 17 は、回転角度検出器 100 の別の構成例を示す概略図である。図 17 の回転角度検出器 100 は、第 2 信号生成部 35 の代わりに繰り上がり判断部 35A を備える点で、図 1 の回転角度検出器 100 と異なるが、その他の点で共通する。そのため、共通部分の説明を省略し、相違部分を詳説する。

20

【0124】

繰り上がり判断部 35A は、演算部の別の一例であり、電動機 10 がスリット間角度だけ回転したか否かを判断する。そして、電動機 10 がスリット間角度だけ回転したと判断した場合に繰り上がり指令を生成する。繰り上がり指令は、電動機 10 が所定角度だけ回転したことを表す情報の別の一例であり、ハードウェア信号としての第 2 パルス信号 P_b に対応するソフトウェア命令である。「繰り上がり」は、回転角度 θ が積算された回数が繰り上がることを意味する。

【0125】

回転情報算出部 36 は、繰り上がり判断部 35A が出力する繰り上がり指令に基づいて電動機 10 の回転情報を算出する。例えば、電動機 10 の回転が開始した後に受けた繰り上がり指令の数に第 2 の角度 θ_c を乗ずることで、電動機 10 の回転が開始した後の回転量を算出する。その際、回転情報算出部 36 は、繰り上がり判断部 35A が繰り上がり指令と共に出力する方向信号に基づいて繰り上がり指令の数をインクリメントするかデクリメントするかを決定する。或いは、回転情報算出部 36 は、順回転方向を表す方向信号と共に受けた繰り上がり指令の数と、逆回転方向を表す方向信号と共に受けた繰り上がり指令の数を別々に計数し、それらの差に基づいて電動機 10 の回転量を算出してもよい。なお、方向信号は、繰り上がり指令に統合されていてもよい。また、演算部としての繰り上がり判断部 35A と回転情報算出部 36 とは一体化されていてもよい。

30

【0126】

図 17 の例では、繰り上がり判断部 35A は、回転角度算出部 32 が出力する回転角度信号と第 1 信号生成部 34 が出力する第 1 パルス信号 P_a とに基づいてスリット間角度毎に繰り上がり指令を生成する。第 1 パルス信号 P_a は、リップル成分 I_r の波形のみから推定した信号であるため、誤って出力されることがあるが、繰り上がり指令は、第 1 パルス信号 P_a と、回転角度信号の双方から推定した指令であるため、誤差を一定値以下にできる。

40

【0127】

次に、図 18 及び図 19 を参照し、図 17 に示す回転角度検出器 100 が実行する回転量算出処理の一例について説明する。図 18 は、図 17 に示す回転角度検出器 100 が実行する回転量算出処理の一例のフローチャートである。図 17 に示す回転角度検出器 100 は、電動機 10 の駆動中にこの回転量算出処理を実行する。図 19 は、図 18 に示した

50

回転量算出処理を実行して繰り上がり判断部 35 A が繰り上がり指令 C C を出力するタイミングの一例を示す図である。図 19 は、回転角度 θ が第 3 の角度 θ_u 以上で且つ第 4 の角度 θ_d 未満の角度範囲である受付範囲をドットパターンで示す。

【0128】

図 18 及び図 19 の例は、第 2 パルス信号 P b の代わりに繰り上がり指令を生成する点で図 7 及び図 8 の例と異なるが、その他の点で同じである。具体的には、図 18 では、図 7 のステップ S T 28 の代わりに、ステップ S T 28 における第 2 パルス信号 P b の生成及びフラグ G に関する処理が省略された形のステップ S T 28 A が実行されるように構成されている。また、図 7 のステップ S T 29 及びステップ S T 30 が省略されている。また、図 7 のステップ S T 36 の代わりに、ステップ S T 36 におけるフラグ G に関する処理が省略され且つ繰り上がり指令の出力が追加された形のステップ S T 36 C が実行されるように構成されている。

10

【0129】

より具体的には、図 19 の例では、時刻 t_1 において第 1 信号生成部 34 が第 1 パルス信号 P a を生成したときの回転角度 θ は第 3 の角度 θ_u 未満である。そのため、繰り上がり判断部 35 A は、図 18 のステップ S T 23 からステップ S T 24 に至るフローにしたがい、時刻 t_1 において第 1 信号生成部 34 が生成した第 1 パルス信号 P a を無視する。すなわち、繰り上がり指令 C C を出力しない。

【0130】

また、時刻 t_2 において第 1 信号生成部 34 が第 1 パルス信号 P a を生成したときの回転角度 θ は、第 3 の角度 θ_u 以上で且つ第 1 の角度 θ_p 未満である。そして、時刻 t_2 において第 1 信号生成部 34 が生成した第 1 パルス信号 P a は、回転角度 θ が第 3 の角度 θ_u から第 1 の角度 θ_p になるまでに生成された最初の第 1 パルス信号 P a である。そのため、繰り上がり判断部 35 A は、図 18 のステップ S T 26 からステップ S T 27 及びステップ S T 28 A を経てステップ S T 24 に至るフローにしたがい、回転角度 θ を第 1 の角度 θ_p に補正し、且つ、フラグ R を "T r u e" にする。但し、繰り上がり判断部 35 A は、繰り上がり指令 C C を出力することはない。

20

【0131】

また、時刻 t_3 において第 1 信号生成部 34 が第 1 パルス信号 P a を生成したときの回転角度 θ は、第 1 の角度 θ_p 以上で且つ第 4 の角度 θ_d 未満である。そのため、繰り上がり判断部 35 A は、図 18 のステップ S T 31 からステップ S T 32 を経てステップ S T 24 に至るフローにしたがい、時刻 t_3 において第 1 信号生成部 34 が生成した第 1 パルス信号 P a を無視する。すなわち、繰り上がり指令 C C を出力しない。

30

【0132】

また、時刻 t_4 において第 1 信号生成部 34 が第 1 パルス信号 P a を生成したときの回転角度 θ は、第 4 の角度 θ_d 以上で且つ第 2 の角度 θ_c 未満である。そのため、繰り上がり判断部 35 A は、図 18 のステップ S T 35 からステップ S T 24 に至るフローにしたがい、時刻 t_4 において第 1 信号生成部 34 が生成した第 1 パルス信号 P a を無視する。すなわち、繰り上がり指令 C C を出力しない。時刻 t_9 においても同様である。

【0133】

また、時刻 t_5 において回転角度 θ は第 2 の角度 θ_c に達している。そのため、繰り上がり判断部 35 A は、図 18 のステップ S T 35 からステップ S T 36 C に至るフローにしたがい、回転角度 θ をゼロにリセットし、フラグ R を "F a l s e" にし、且つ、繰り上がり指令を出力する。時刻 t_8 及び t_{10} のそれぞれにおいても同様である。

40

【0134】

また、時刻 t_6 において第 1 信号生成部 34 が第 1 パルス信号 P a を生成したときの回転角度 θ は第 1 の角度 θ_p 以上で且つ第 4 の角度 θ_d 未満である。そして、時刻 t_6 において第 1 信号生成部 34 が生成した第 1 パルス信号 P a は、回転角度 θ が第 3 の角度 θ_u から第 4 の角度 θ_d になるまでに生成された最初の第 1 パルス信号 P a である。そのため、繰り上がり判断部 35 A は、図 18 のステップ S T 31 からステップ S T 32、ステッ

50

プ S T 3 3 及びステップ S T 3 4 を経てステップ S T 2 4 に至るフローにしたがい、回転角度 θ を第 1 の角度 θ_p に補正し、且つ、フラグ R を "T r u e" にする。但し、繰り上がり判断部 3 5 A は、繰り上がり指令 C C を出力することはない。

【0135】

また、時刻 t_7 において第 1 信号生成部 3 4 が第 1 パルス信号 P a を生成したときの回転角度 θ は第 1 の角度 θ_p 以上で且つ第 4 の角度 θ_d 未満である。そして、時刻 t_7 において第 1 信号生成部 3 4 が生成した第 1 パルス信号 P a は、回転角度 θ が第 3 の角度 θ_u から第 4 の角度 θ_d になるまでに生成された 2 番目の第 1 パルス信号 P a であり、最初の第 1 パルス信号 P a ではない。そのため、繰り上がり判断部 3 5 A は、図 1 8 のステップ S T 3 2 からステップ S T 3 3 及びステップ S T 3 4 をスキップしてステップ S T 2 4 に至るフローにしたがい、時刻 t_7 において第 1 信号生成部 3 4 が生成した第 1 パルス信号 P a を無視する。すなわち、繰り上がり指令 C C を出力しない。

10

【0136】

このように、繰り上がり判断部 3 5 A は、第 1 パルス信号 P a が生成されたタイミングとは無関係に、回転角度 θ が第 2 の角度 θ_c に達する度に繰り上がり指令を出力するように構成されている。すなわち、電動機 1 0 の実際の回転角度が第 2 の角度 θ_c に達する度に繰り上がり指令を出力するように構成されている。そのため、繰り上がり判断部 3 5 A は、繰り上がり指令の出力タイミングを受付範囲の外に設定できる。したがって、回転角度 θ の第 1 の角度 θ_p への補正等と繰り上がり指令の出力とを別々のタイミングで実行できるため、回転量算出処理を簡素化できる。

20

【0137】

次に、図 2 0 及び図 2 1 を参照し、図 1 7 に示す回転角度検出器 1 0 0 が実行する回転量算出処理の別の一例について説明する。図 2 0 は、図 1 7 に示す回転角度検出器 1 0 0 が実行する回転量算出処理の別の一例のフローチャートである。図 1 7 に示す回転角度検出器 1 0 0 は、電動機 1 0 の駆動中にこの回転量算出処理を実行する。図 2 1 は、図 2 0 に示した回転量算出処理を実行して繰り上がり判断部 3 5 A が繰り上がり指令 C C を出力するタイミングの一例を示す図である。図 2 1 は、回転角度 θ が第 3 の角度 θ_u 以上で且つ第 2 の角度 θ_c 未満の角度範囲と、第 1 の角度 θ_p (ゼロ) 以上で且つ第 4 の角度 θ_d 未満の角度範囲との組み合わせである受付範囲をドットパターンで示す。

【0138】

30

図 2 0 及び図 2 1 の例は、第 2 パルス信号 P b の代わりに繰り上がり指令を生成する点、第 4 の角度 θ_d が第 3 の角度 θ_u より小さい点、及び、第 1 の角度 θ_p がゼロである点で図 7 及び図 8 の例と異なるが、その他の点で同じである。具体的には、図 2 0 では、第 4 の角度 θ_d を第 3 の角度 θ_u 未満としたため、回転角度 θ が第 4 の角度 θ_d 未満であるか否かを判定するステップ S T 3 1 を、回転角度 θ が第 3 の角度 θ_u 未満であるか否かを判定するステップ S T 2 3 よりも前に実行するように構成されている。また、回転角度 θ が第 4 の角度 θ_d 以上で且つ第 3 の角度 θ_u 未満であると判定した場合 (ステップ S T 2 3 の Y E S)、回転角度検出器 1 0 0 は、フラグ G が "F a l s e" であるか否かを判定するステップ S T 3 7、及び、フラグ G が "F a l s e" の場合に繰り上がり指令を出力し、フラグ R を "F a l s e" にし、且つ、フラグ G を "T r u e" にするステップ S T 3 8 を実行するように構成されている。

40

【0139】

また、図 2 0 の例では、フラグ G は、繰り上がり指令が出力されたか否かを示すためのフラグである。フラグ G の初期値は、繰り上がり指令が出力されていないことを示す "F a l s e" である。フラグ G が "T r u e" であることは、繰り上がり指令が既に出力されたことを示す。

【0140】

また、回転角度 θ が第 4 の角度 θ_d 以上で且つ第 2 の角度 θ_c 未満の場合に、第 1 パルス信号 P a が生成されたか否かを判定するステップ S T 3 9 を実行するように構成されている。そして、回転角度 θ が第 4 の角度 θ_d 以上で且つ第 2 の角度 θ_c 未満の場合に、第

50

1 パルス信号 P_a が生成されたと判定したとき（ステップ $ST39$ の YES ）、回転角度検出器 100 は、フラグ R を " $True$ " にするステップ $ST40$ 、及び、回転角度 θ をゼロにリセットし、且つ、フラグ G を " $False$ " にするステップ $ST41$ を実行するように構成されている。或いは、回転角度 θ が第2の角度 θ_c に達したとき（ステップ $ST35$ の NO ）、回転角度検出器 100 は、回転角度 θ をゼロにリセットし、且つ、フラグ G を " $False$ " にするステップ $ST41$ を実行するように構成されている。

【0141】

また、図21では、ドットパターンで示す受付範囲は、図8における受付範囲と異なり、2つに分離されている。

【0142】

より具体的には、図21の例では、時刻 t_1 において回転角度 θ は第4の角度 θ_d に達している。そのため、繰り上がり判断部35Aは、図20のステップ $ST23$ からステップ $ST37$ 及びステップ $ST38$ を経てステップ $ST24$ に至るフローにしたがい、繰り上がり指令を出力し、且つ、フラグ G を " $True$ " にする。時刻 t_5 、 t_9 及び t_{11} のそれぞれにおいても同様である。

【0143】

また、時刻 t_2 において第1信号生成部34が第1パルス信号 P_a を生成したときの回転角度 θ は、第4の角度 θ_d 以上で且つ第3の角度 θ_u 未満である。そして、繰り上がり判断部35Aは、時刻 t_1 において既に繰り上がり指令を出力している。そのため、繰り上がり判断部35Aは、図20のステップ $ST37$ からステップ $ST38$ をスキップしてステップ $ST24$ に至るフローにしたがい、時刻 t_2 において第1信号生成部34が生成した第1パルス信号 P_a を無視する。すなわち、繰り上がり指令 CC を出力することではなく、回転角度 θ をリセットすることもない。時刻 t_6 及び t_{12} のそれぞれにおいても同様である。

【0144】

また、時刻 t_3 において第1信号生成部34が第1パルス信号 P_a を生成したときの回転角度 θ は、第3の角度 θ_u 以上で且つ第2の角度 θ_c 未満である。そして、時刻 t_3 において第1信号生成部34が生成した第1パルス信号 P_a は、回転角度 θ が第3の角度 θ_u から第2の角度 θ_c になるまでに生成された最初の第1パルス信号 P_a である。そのため、繰り上がり判断部35Aは、図20のステップ $ST35$ からステップ $ST39$ 、ステップ $ST40$ 及びステップ $ST41$ を経てステップ $ST24$ に至るフローにしたがい、回転角度 θ をゼロにリセットし且つフラグ G を " $False$ " にする。

【0145】

また、時刻 t_4 において第1信号生成部34が第1パルス信号 P_a を生成したときの回転角度 θ は、第1の角度 θ_p （ゼロ）以上で且つ第4の角度 θ_d 未満である。そして、時刻 t_4 において第1信号生成部34が生成した第1パルス信号 P_a は、回転角度 θ が第3の角度 θ_u から第2の角度 θ_c 及びリセット後のゼロを経て第4の角度 θ_d になるまでに生成された2番目の第1パルス信号 P_a であり、最初の第1パルス信号 P_a ではない。そのため、繰り上がり判断部35Aは、図20のステップ $ST33$ からステップ $ST34$ をスキップしてステップ $ST24$ に至るフローにしたがい、時刻 t_4 において第1信号生成部34が生成した第1パルス信号 P_a を無視する。すなわち、繰り上がり指令 CC を出力することではなく、回転角度 θ をリセットすることもない。

【0146】

また、時刻 t_7 において回転角度 θ は第2の角度 θ_c に達している。そのため、繰り上がり判断部35Aは、図20のステップ $ST35$ からステップ $ST41$ を経てステップ $ST24$ に至るフローにしたがい、回転角度 θ をゼロにリセットし、且つ、フラグ G を " $False$ " にする。時刻 t_{10} においても同様である。

【0147】

また、時刻 t_8 において第1信号生成部34が第1パルス信号 P_a を生成したときの回転角度 θ は、第1の角度 θ_p （ゼロ）以上で且つ第4の角度 θ_d 未満である。そして、時

10

20

30

40

50

刻 t_8 において第 1 信号生成部 34 が生成した第 1 パルス信号 P_a は、回転角度 θ が第 3 の角度 θ_u から第 2 の角度 θ_c 及びリセット後のゼロを経て第 4 の角度 θ_d になるまでに生成された最初の第 1 パルス信号 P_a である。そのため、繰り上がり判断部 35A は、図 20 のステップ ST33 からステップ ST34 を経てステップ ST24 に至るフローにしたがい、回転角度 θ を第 1 の角度 θ_p に補正し（回転角度 θ をゼロにリセットし）、且つ、フラグ R を "True" にする。

【0148】

このように、繰り上がり判断部 35A は、第 1 パルス信号 P_a が生成されたタイミングとは無関係に、回転角度 θ が第 4 の角度 θ_d に達する度に繰り上がり指令を出力するように構成されている。すなわち、電動機 10 が第 2 の角度 θ_c だけ実際に回転する度に繰り上がり指令を出力するように構成されている。そのため、繰り上がり判断部 35A は、繰り上がり指令の出力タイミングを受付範囲の外に設定できる。したがって、回転角度 θ の第 1 の角度 θ_p への補正（回転角度 θ のゼロへのリセット）等と繰り上がり指令の出力とを別々のタイミングで実行できるため、回転量算出処理を簡素化できる。

【0149】

上述の通り、整流子 20 を備えた電動機 10 の回転情報を取得する回転角度検出器 100 は、端子間電圧 V と電流 I_m とに基づいて回転角度 θ を算出する回転角度算出部 32 と、電流 I_m に含まれるリップル成分 I_r に基づいて第 1 信号の一例である第 1 パルス信号 P_a を生成する第 1 信号生成部 34 と、第 1 パルス信号 P_a と回転角度 θ とに基づいて電動機 10 がリップル成分 I_r の周期に応じた角度だけ回転する毎に第 2 パルス信号 P_b を生成する第 2 信号生成部 35 と、第 2 信号生成部 35 の出力に基づいて回転情報を算出する回転情報算出部 36 とを含む。そして、第 2 信号生成部 35 は、所定の角度範囲に関する条件を満たす場合に受けた第 1 パルス信号 P_a を無視するように構成されている。例えば、図 4 及び図 5 の例で説明したように回転角度 θ が第 4 の角度 θ_d 以上で且つ第 3 の角度 θ_u 未満の角度範囲（すなわち角度範囲 R_1 内）にある場合に受けた第 1 パルス信号 P_a を無視するように構成されている。そのため、ノイズ等により生成されてしまった第 1 パルス信号 P_a によって回転角度 θ が誤ってゼロにリセットされてしまうのを防止できる。その結果、ホールセンサ等の回転センサが無くても、電動機 10 の回転情報を高い信頼性で取得できる。これは、センサインタフェース回路、ハーネス等の回転センサを利用するために必要な部品を省略できることを意味する。そのため、軽量化、低コスト化、小型化等を実現できる。

【0150】

また、回転角度検出器付き電動機は、電動機 10 と、電動機 10 の回転角度を検出する回転角度検出器 100 とを備えている。電動機 10 は、複数の整流子片 20a からなる整流子 20 を有する。そして、回転角度検出器 100 は、電動機 10 の端子間電圧 V と電動機 10 を流れる電流 I_m とに基づき、回転角度 θ を算出し、回転角度信号を出力する回転角度算出部 32 と、電動機 10 を流れる電流 I_m に含まれるリップル成分 I_r に基づいて第 1 信号の一例である第 1 パルス信号 P_a を生成する第 1 信号生成部 34 と、第 1 パルス信号 P_a と回転角度信号との双方の信号に基づいて回転角度 θ を補正する演算部と、演算部の出力に基づいて電動機 10 の回転に関する情報を算出する回転情報算出部 36 と、を含む。演算部は、回転角度 θ が所定の角度範囲の一例である受付範囲内で最初に第 1 パルス信号 P_a が生成された場合に、回転角度 θ を受付範囲内の第 1 の角度 θ_p に補正する指令を回転角度算出部 32 に出力し、且つ、回転角度 θ が受付範囲内であっても、受付範囲内で 2 番目以降に生成された第 1 パルス信号 P_a を無視するように構成されている。

【0151】

演算部は、回転角度 θ が第 2 の角度 θ_c に達すると、回転角度 θ をゼロにリセットする指令を回転角度算出部 32 に出力するように構成されていてもよい。第 2 の角度 θ_c は、例えば、リップル成分 I_r の 1 周期に相当する角度であってもよい。第 2 の角度 θ_c は、例えば、スリット 20s で隔てられた整流子片 20a の中心角に等しい角度であってもよい。

10

20

30

40

50

【0152】

また、所定の角度範囲の一例である受付範囲は、例えば図4、図14及び図16のそれぞれにおけるドットパターンで示すように、第2の角度 θ_c より小さい第3の角度 θ_u 以上、且つ、第2の角度 θ_c 以下の範囲と、ゼロ以上、且つ、第3の角度 θ_u より小さい第4の角度 θ_d 以下の範囲であってもよい。

【0153】

また、演算部の一例である第2信号生成部35は、例えば図4に示すように、回転角度 θ が、第3の角度 θ_u より大きく、第2の角度 θ_c より小さい範囲で、最初に第1パルス信号Paが生成された場合に、電動機10が所定角度だけ回転したことを表す第2パルス信号Pbを生成し、且つ、回転角度 θ を第1の角度 θ_p （ゼロ）に補正する指令を回転角度算出部32に出力するように構成されていてもよい。また、第1パルス信号Paが生成される前に、回転角度 θ が第2の角度 θ_c に達した場合に、第2パルス信号Pbを生成するように構成されていてもよい。

10

【0154】

また、第1の角度 θ_p は、例えば図14に示すように、第3の角度 θ_u より大きく、且つ、第2の角度 θ_c より小さい角度であってもよい。この場合、演算部の一例である第2信号生成部35は、回転角度 θ が、第3の角度 θ_u より大きく、且つ、第2の角度 θ_c より小さい範囲で、最初に第1パルス信号Paが生成された場合に、電動機10が所定角度だけ回転したことを表す第2パルス信号Pbを生成し、且つ、回転角度 θ を第1の角度 θ_p に補正する指令を回転角度算出部32に出力するように構成されていてもよい。また、第1パルス信号Paが生成される前に、回転角度 θ が第1の角度 θ_p に達した場合に、第2パルス信号Pbを生成するように構成されていてもよい。

20

【0155】

また、第1の角度 θ_p は、例えば図16に示すように、ゼロより大きく、且つ、第4の角度 θ_d より小さい角度であってもよい。この場合、演算部の一例である第2信号生成部35は、回転角度 θ が、第3の角度 θ_u より大きく、第2の角度 θ_c より小さい範囲、及び、回転角度 θ が、第1の角度 θ_p より小さい範囲で、最初に第1パルス信号Paが生成された場合に、電動機10が所定角度だけ回転したことを表す第2パルス信号Pbを生成し、且つ、回転角度 θ を第1の角度 θ_p に補正する指令を回転角度算出部32に出力するように構成されていてもよい。また、第1パルス信号Paが生成される前に、回転角度 θ が第1の角度 θ_p に達した場合に、第2パルス信号Pbを生成するように構成されていてもよい。

30

【0156】

また、所定の角度範囲の一例である受付範囲は、図8、図10及び図12のそれぞれにおけるドットパターンで示すように、第1の角度 θ_p よりも小さい第3の角度 θ_u 以上、且つ、第1の角度 θ_p よりも大きい第4の角度 θ_d 以下の範囲であってもよい。この場合、演算部の一例である第2信号生成部35は、回転角度 θ が第3の角度 θ_u 以上、且つ、第1の角度 θ_p 以下の範囲内で最初に第1パルス信号Paが生成された場合に、電動機10が所定角度だけ回転したことを表す第2パルス信号Pbを生成するように構成されていてもよい。また、第1パルス信号Paが生成される前に、回転角度 θ が第1の角度 θ_p に達した場合に、第2パルス信号Pbを生成するように構成されていてもよい。この場合、第3の角度 θ_u は、図10に示すように、ゼロであってもよい。或いは、第4の角度 θ_d は、図12に示すように、第2の角度 θ_c と等しい角度であってもよい。

40

【0157】

また、第3の角度 θ_u 及び第4の角度 θ_d は、回転角度 θ が第1の角度 θ_p になったときの、回転角度 θ と電動機10の実際の回転角度との最大位相差（最大誤差）に基づいて設定されていてもよい。例えば図4に示すように、第3の角度 θ_u は、回転角度 θ が第1の角度 θ_p になったときの、回転角度 θ と電動機10の実際の回転角度（ $>$ 回転角度 θ ）との最大位相差（最大誤差）として設定されていてもよい。この場合、回転角度 θ と電動機10の実際の回転角度との誤差は、角度 α 未満であり、実用上、問題無い範囲である。

50

また、図4に示すように、第4の角度 θ_d は、回転角度 θ が第1の角度 θ_p になったときの、回転角度 θ と電動機10の実際の回転角度（＜回転角度 θ ）との最大位相差（最大誤差）として設定されていてもよい。この場合、回転角度 θ と電動機10の実際の回転角度との誤差は、角度 β 未満であり、実用上、問題無い範囲である。

【0158】

また、演算部としての第2信号生成部35は、例えば図4、図8、図10、図12、図14及び図16のそれぞれにおけるドットパターンで示すように、受付範囲内で最初に第1パルス信号Paが生成された場合に、第2パルス信号Pbを出力するように構成されていてもよい。

【0159】

また、図17に示す演算部としての繰り上がり判断部35Aと回転情報算出部36とは一体化されていてもよい。この場合、繰り上がり判断部35Aは、電動機10が所定角度だけ回転したことを表すソフトウェア命令としての繰り上がり指令を出力するように構成されていてもよい。

【0160】

また、第2信号生成部35は、例えば、図4乃至図21の例で説明したように回転角度 θ が第4の角度 θ_d 未満のときに受けた最初の第1パルス信号Paを有効とし、2番目以降の第1パルス信号Paを無効とするように構成されている。そのため、ノイズ等の影響により複数の第1パルス信号Paが短期間に連続して生成された場合であっても、1つの第1パルス信号Paを有効な信号として取得し、1つの第1パルス信号Pa以外の1又は複数の第1パルス信号Paを無効な信号として無視できる。

【0161】

また、第2信号生成部35は、例えば、図4乃至図21の例で説明したように回転角度 θ が第4の角度 θ_d 未満の場合において最初の第1パルス信号Paを受けたときに回転角度 θ をゼロにリセットする指令を回転角度算出部32に出力し、2番目以降の第1パルス信号Paを受けたときに回転角度 θ をゼロにリセットする指令を回転角度算出部32に出力しないように構成されている。そのため、ノイズ等の影響により複数の第1パルス信号Paが短期間に連続して生成された場合であっても、1つの第1パルス信号Pa以外の1又は複数の第1パルス信号Paによって回転角度 θ が誤ってリセットされてしまうのを防止できる。

【0162】

また、回転角度検出器100は、電流Imのリップル成分Irに基づいて生成される第1パルス信号Paと、端子間電圧V及び電流Imに基づいて算出される回転角度 θ とを用いて第2パルス信号Pbを生成する。すなわち、別々の方法で導き出される2つのパラメータである第1パルス信号Paと回転角度 θ とを用いて第2パルス信号Pbを生成する。そのため、一方のパラメータが適切に導出されなかった場合であっても他方のパラメータでその不具合を補うことができる。その結果、電動機10の回転情報をより高い信頼性で取得できる。

【0163】

回転角度算出部32は、例えば、端子間電圧Vと電流Imとに基づいて算出される電動機10の回転角速度 ω を積算して回転角度 θ を算出するように構成される。そのため、回転角度算出部32は、電動機10の起動直後の期間、慣性回転期間等を含めた全期間に亘って回転角度 θ を安定的且つ継続的に算出できる。そして、第2信号生成部35は、例えば、回転角度 θ が所定角度に達したときに、第2パルス信号Pbを即時に生成するように構成される。そのため、第2信号生成部35は、第1パルス信号Paの生成漏れが発生した場合であっても、安定的且つ継続的に算出される回転角度 θ に基づき、所定角度だけ回転したことを表す第2パルス信号Pbをリアルタイムに生成できる。そのため、回転角度検出器100は、電動機10の回転情報を遅滞なく算出できる。

【0164】

第2信号生成部35は、例えば、回転角度 θ が第2の角度 θ_c に達したときに、回転角

10

20

30

40

50

度 θ をゼロにリセットする指令を回転角度算出部32に出力するように構成される。そのため、回転角度検出器100は、回転角度算出部32が算出する回転角度 θ の最大値が第2の角度 θ_c になるので、回転角度 θ に必要なメモリのサイズを小さくできる。

【0165】

所定の角度範囲は、電動機10が整流子片20aの円弧の中心角、すなわちスリット間角度（第2の角度 θ_c ）だけ回転する毎に生じる、回転角度算出部32が出力する回転角度 θ の最大誤差の範囲である。すなわち、回転角速度算出部31が、実際よりも、回転角速度 ω を大きく算出した場合に、実際の回転角度に基づく第1パルス信号Paが生成される（誤差を含んだ）回転角度 θ の最大値が第4の角度 θ_d である。また、回転角速度算出部31が、実際よりも、回転角速度 ω を小さく算出した場合に、実際の回転角度に基づく第1パルス信号Paが生成される（誤差を含んだ）回転角度 θ の最小値が第3の角度 θ_u である。そのため、回転角度検出器100では、回転角度算出部32が算出する回転角度 θ の誤差が累積されない。つまり、電動機10が何回転しても、誤差を $-\alpha$ から $+\beta$ の範囲とすることができる。

10

【0166】

第2信号生成部35は、第1パルス信号Paを受けたときに、回転角度 θ が第3の角度 θ_u 以上であれば、第2パルス信号Pbを生成するように構成される。第3の角度 θ_u は、第1の角度 θ_p より小さい値として予め設定されている。この構成により、第2信号生成部35は、回転角度 θ が、第3の角度 θ_u 以上のときに生成された第1パルス信号Paをノイズに基づくものではないと見なす。そして、第1パルス信号Paが生成されなくても、回転角度 θ が第1の角度 θ_p に達したら、第2パルス信号Pbを生成する。そのため、第1パルス信号Paの生成漏れによる回転情報の算出結果への影響を確実に排除できる。

20

【0167】

また、第2信号生成部35は、例えば、第1パルス信号Paを受けたときに、回転角度 θ が第3の角度 θ_u 未満であれば、第2パルス信号Pbを生成しないように構成される。この構成により、第2信号生成部35は、回転角度 θ が第3の角度 θ_u 未満で生成された第1パルス信号Paをノイズに基づくものであると判定できる。そして、ノイズに基づいて生成された第1パルス信号Paに対応する第2パルス信号Pbが生成されてしまうのを防止できる。そのため、ノイズに基づいて生成された第1パルス信号Paによる回転情報の算出結果への影響を確実に排除できる。

30

【0168】

また、第2信号生成部35は、例えば、第1パルス信号Paを受けたときに、回転角度 θ が第4の角度 θ_d より小さければ、回転角度 θ をゼロにリセットする指令を回転角度算出部32に出力するように構成される。第4の角度 θ_d は、第1の角度 θ_p より位相が β だけ遅れた値として予め設定されている。この構成により、第2信号生成部35は、第1パルス信号Paの生成漏れの発生に先立って第2パルス信号Pbを生成した直後に第1パルス信号Paを受けた場合、その第1パルス信号Paをノイズに基づくものではないと見なす。そして、その第1パルス信号Paを、直前に生成した第2パルス信号Pbに対応付けることができる。そのため、第1パルス信号Paの生成タイミングのずれによる回転情報の算出結果への影響を確実に排除できる。

40

【0169】

以上、本発明の好ましい実施例について詳説した。しかしながら、本発明は、上述した実施例に制限されることはない。本発明の範囲を逸脱することなしに上述した実施例に種々の変形及び置換を加えることができる。

【0170】

本願は、2017年4月27日に出願した日本国特許出願2017-088716号に基づく優先権を主張するものであり、これらの日本国特許出願の全内容を本願に参照により援用する。

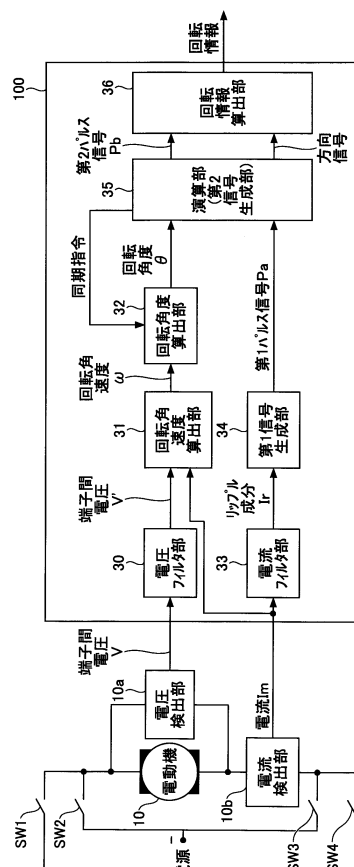
【符号の説明】

50

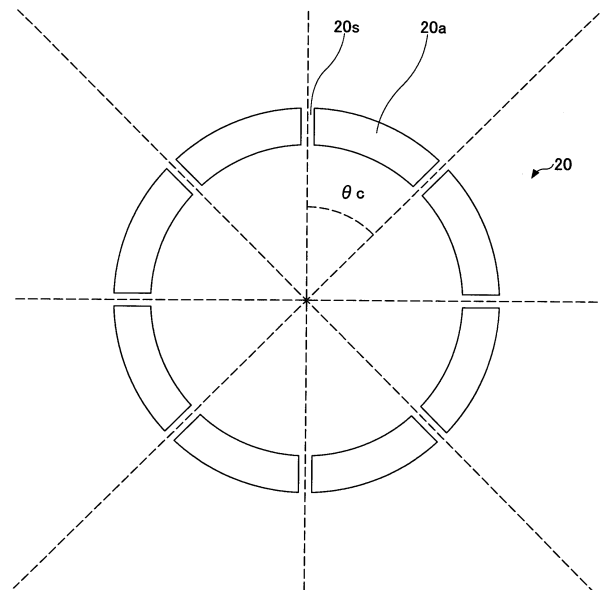
【0171】

10・・・電動機 10a・・・電圧検出部 10b・・・電流検出部 20・・・整流子
 20a・・・整流子片 20s・・・スリット 30・・・電圧フィルタ部 31
 ・・・・回転角速度算出部 32・・・回転角度算出部 33・・・電流フィルタ部 34
 ・・・・第1信号生成部 35・・・第2信号生成部 35A・・・繰り上がり判断部 3
 6・・・回転情報算出部 100・・・回転角度検出器 SW1～SW4・・・スイッチ

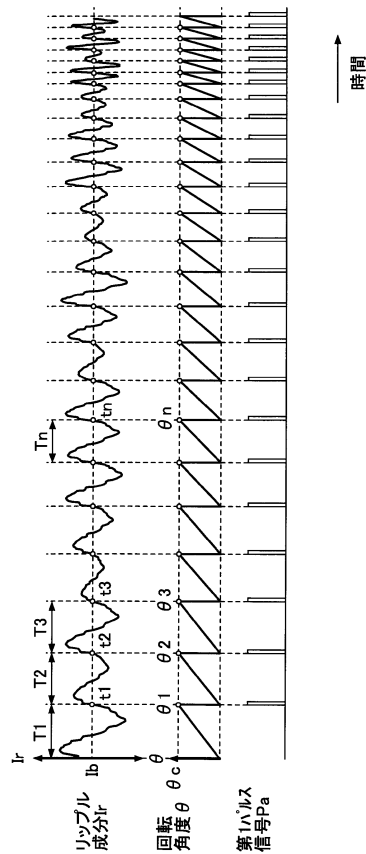
【図1】



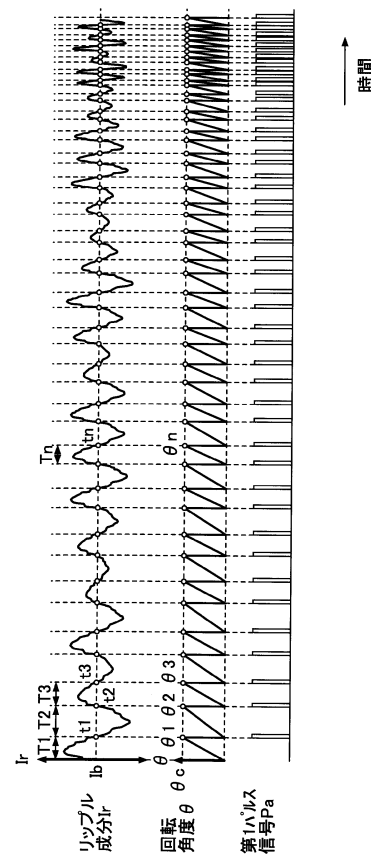
【図2】



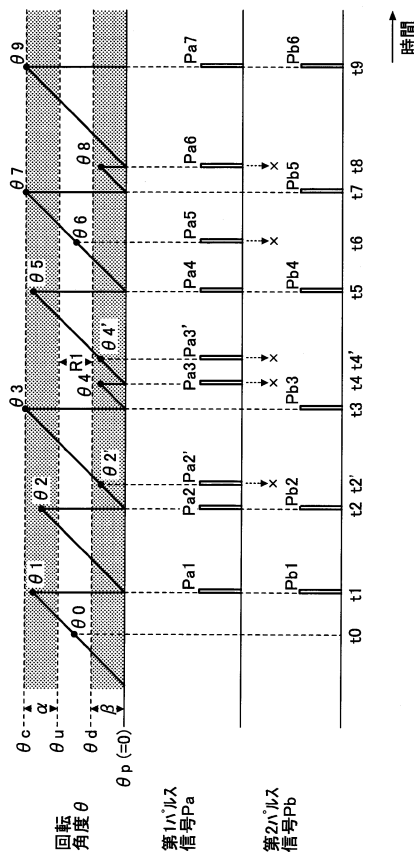
【図 3 A】



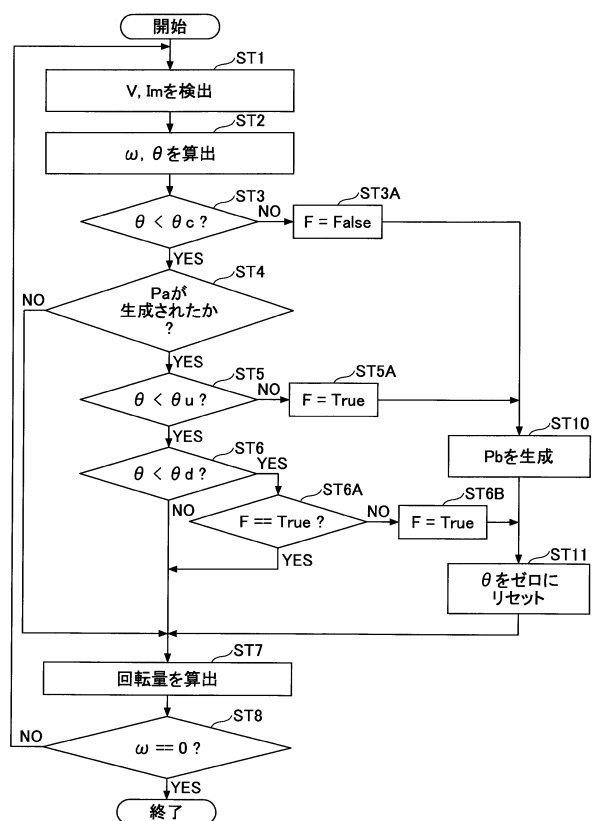
【図 3 B】



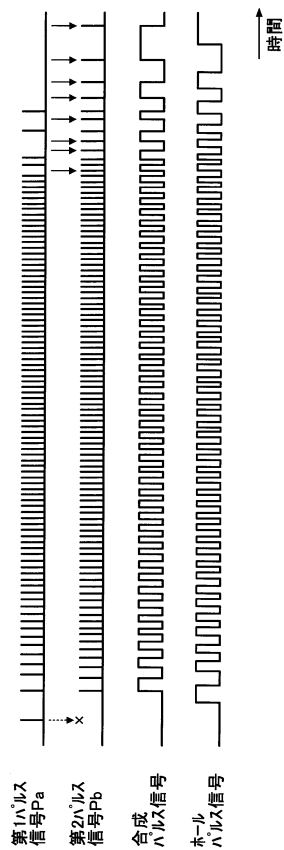
【図 4】



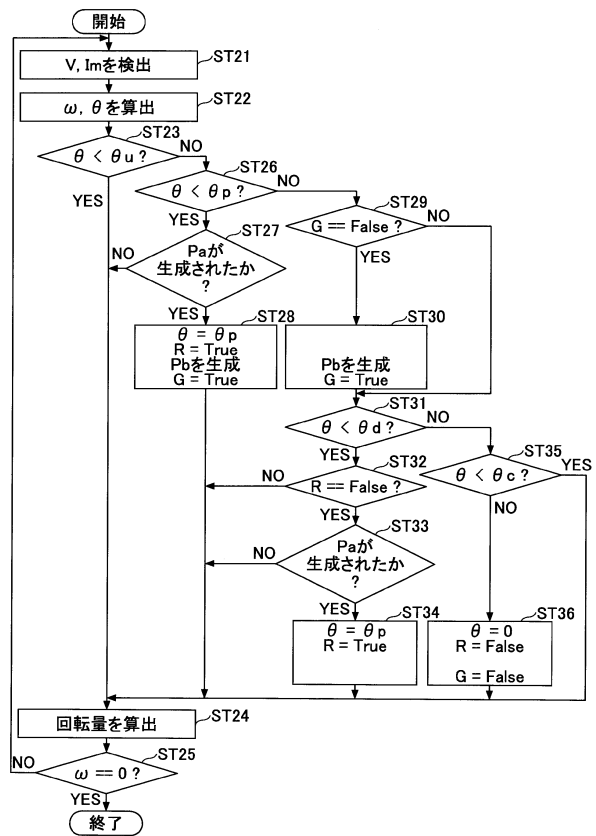
【図 5】



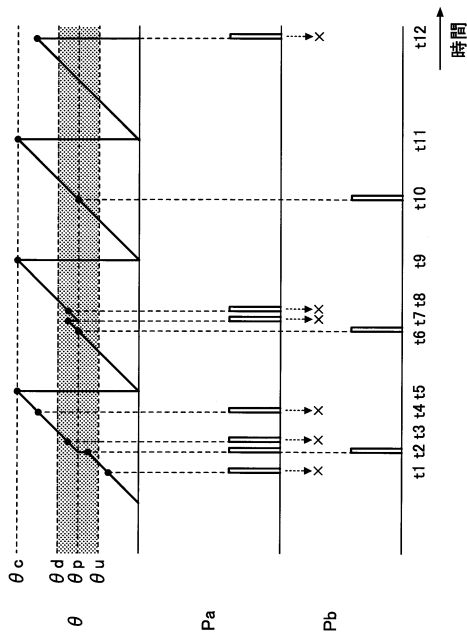
【図 6】



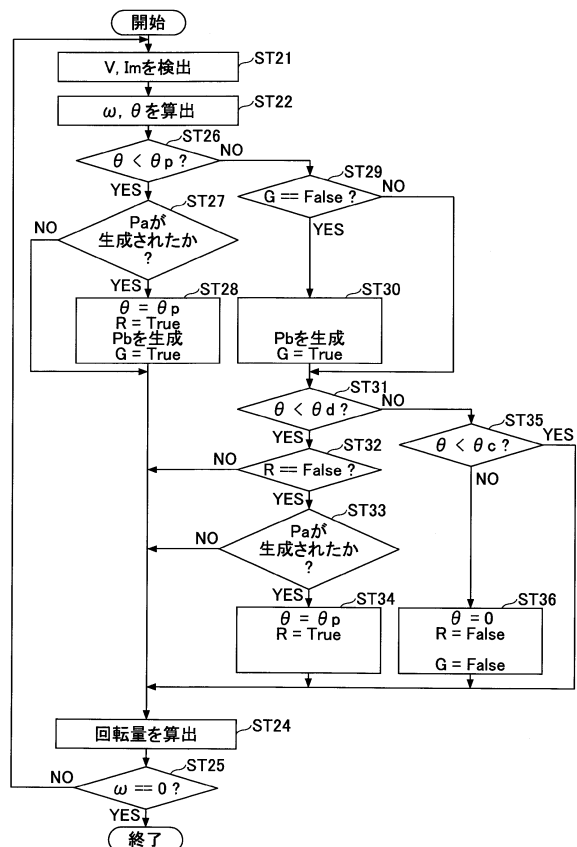
【図 7】



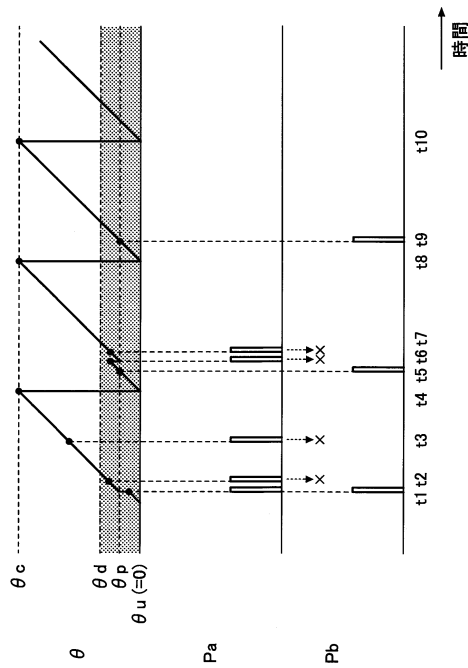
【図 8】



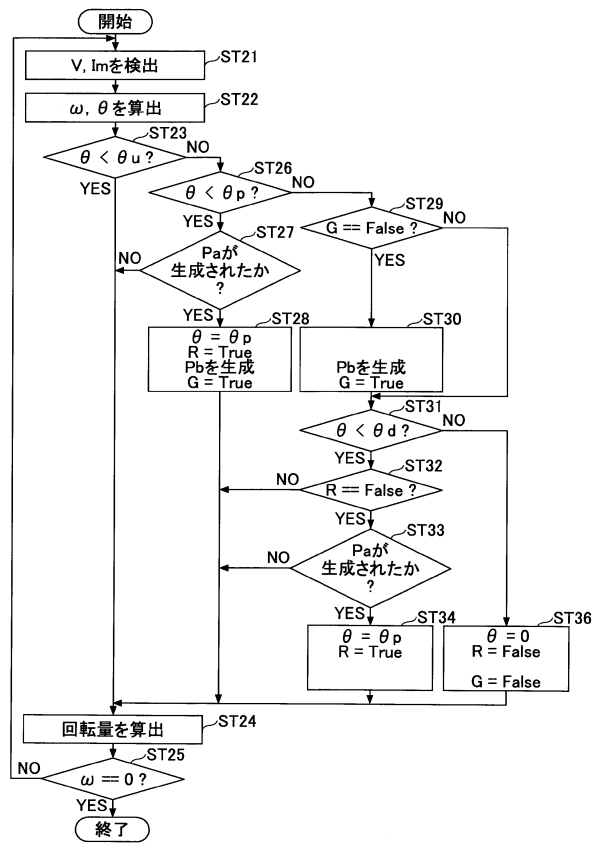
【図 9】



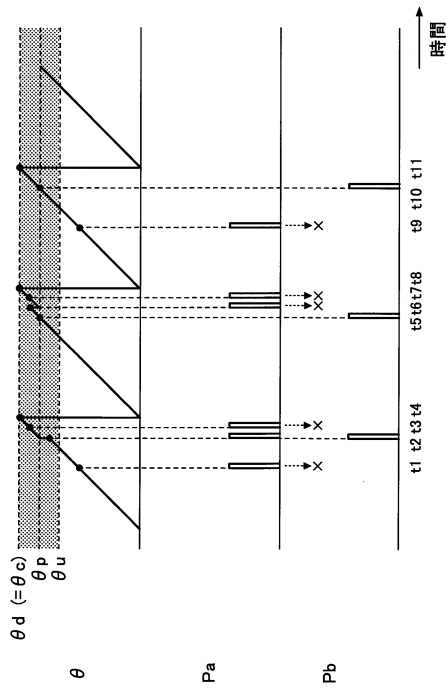
【図 10】



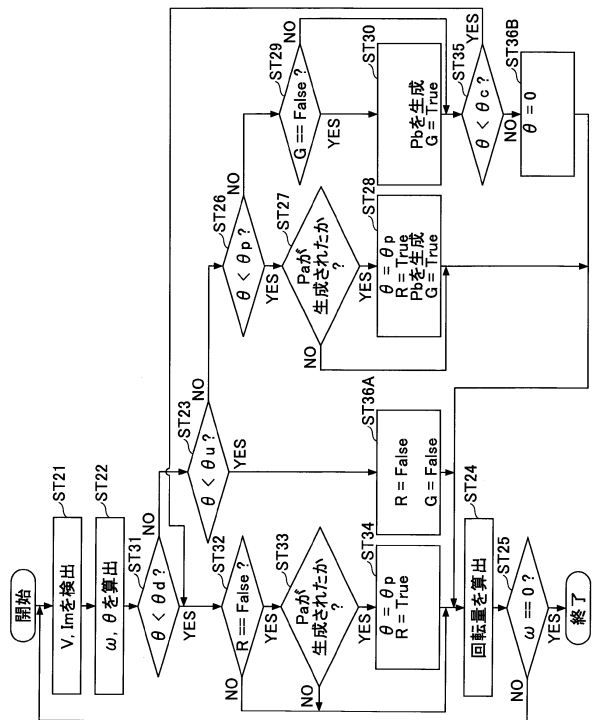
【図 11】



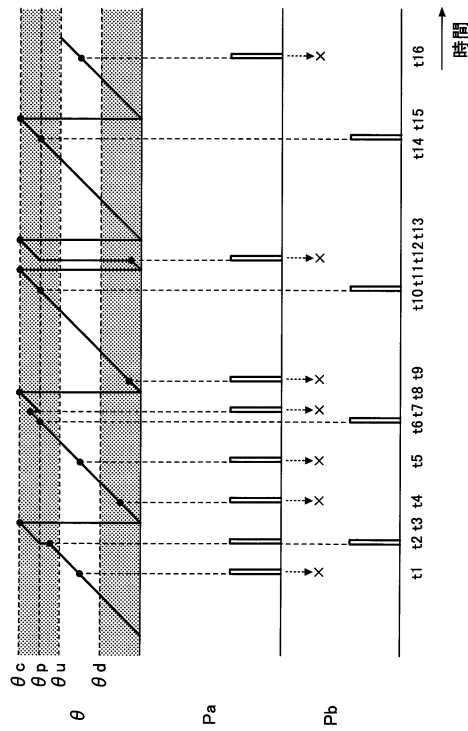
【図 12】



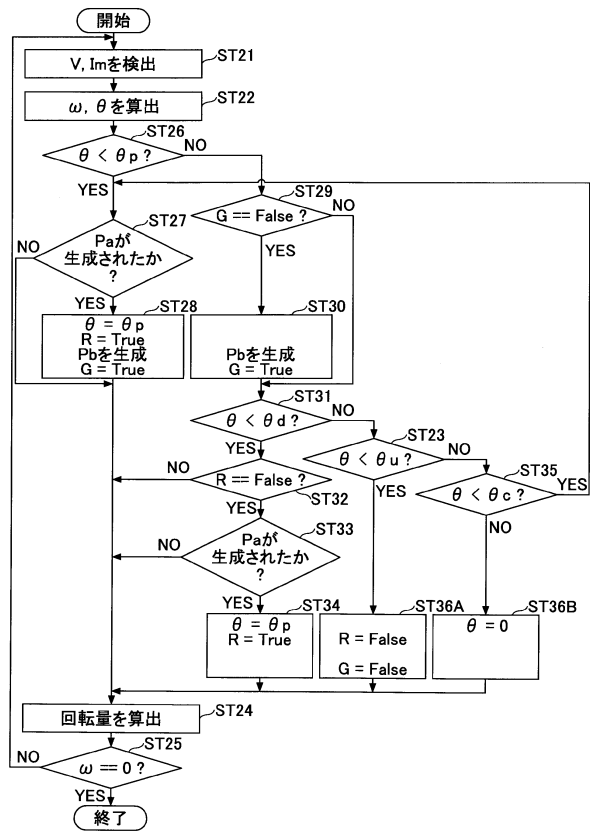
【図 13】



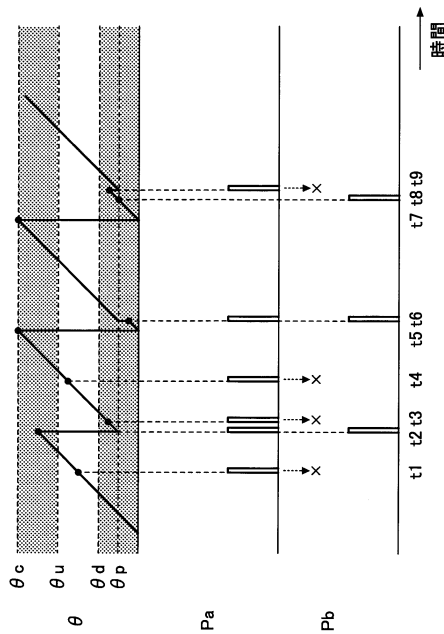
【図14】



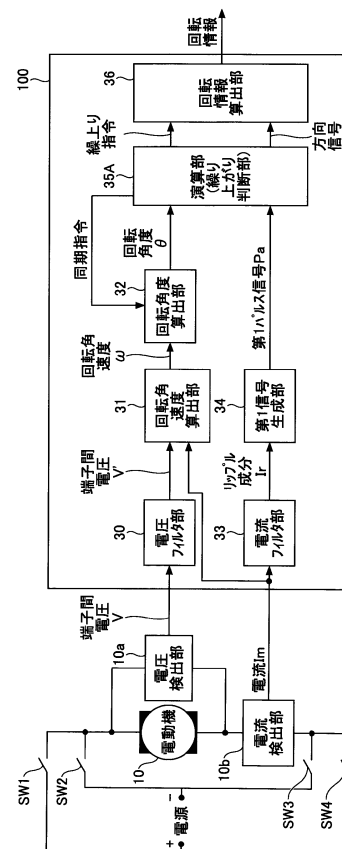
【図15】



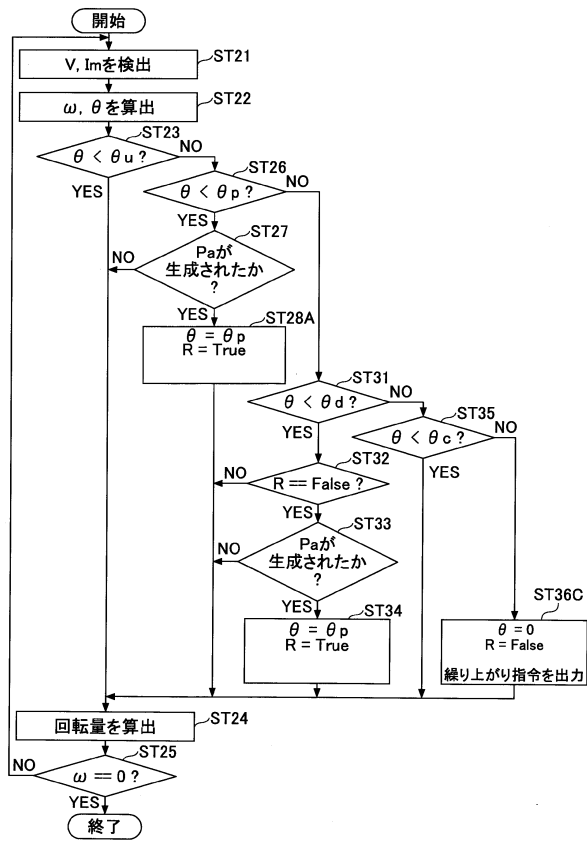
【図16】



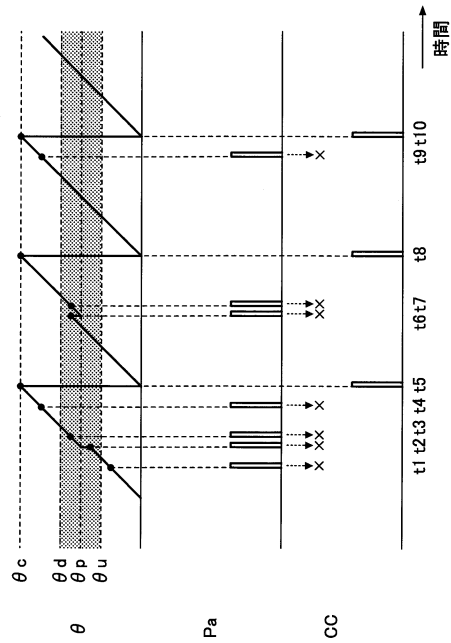
【図17】



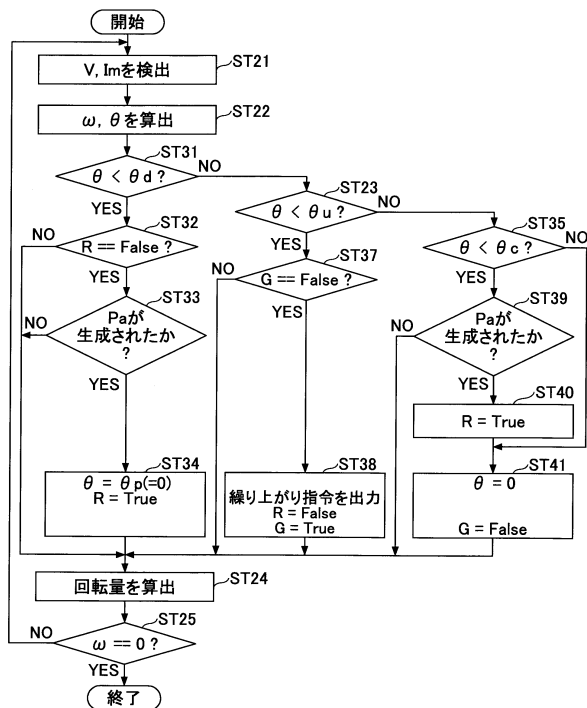
【図 18】



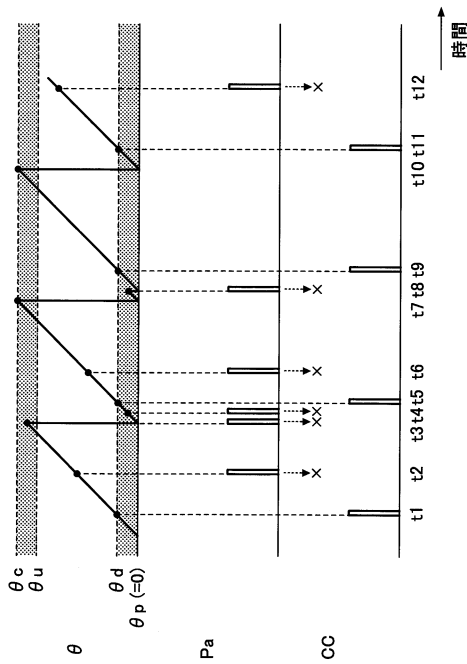
【図 19】



【図 20】



【図 21】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2010-33513 (JP, A)
特開2010-130727 (JP, A)
米国特許出願公開第2017/0047872 (US, A1)
米国特許出願公開第2015/0349617 (US, A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H02P 7/06