

(11)特許出願公開番号

特開2020-184814

(P2020-184814A)

(43) 公開日 令和2年11月12日(2020.11.12)

(51) Int.Cl.
H02P 8/32

F I
H O 2 P 8/32

テーマコード (参考)
5H580

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2019-86581 (P2019-86581)	(71) 出願人	000228730
(22) 出願日	平成31年4月26日 (2019. 4. 26)		日本電産サーボ株式会社 群馬県桐生市相生町 3 - 9 3
		(74) 代理人	100141139 弁理士 及川 周
		(74) 代理人	100188673 弁理士 成田 友紀
		(74) 代理人	100179833 弁理士 松本 将尚
		(74) 代理人	100189348 弁理士 古部 智
		(72) 発明者	鷹 広昭 群馬県桐生市相生町 3 - 9 3 日本電産サ ーボ株式会社内
		F ターム (参考)	5H580 BB00 BB02 CA12 FA02 FA04 FA14 FA35 FB01 HH02 HH22

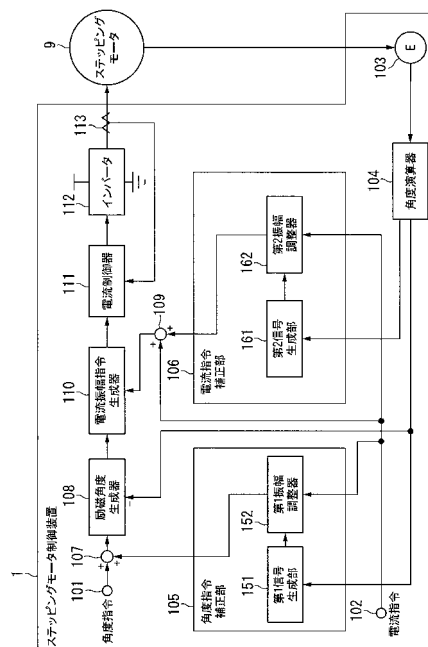
(54) 【発明の名称】 ステッピングモータ制御装置及びプログラム

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】ステッピングモータ制御装置において、外乱の影響抑制と演算量を軽減する技術を提供する。

【解決手段】マイクロステップ駆動するステッピングモータを制御するステッピングモータ制御装置１で、インバータ１１２と、ステッピングモータ９の電流を制御するための電流制御器１１１と、検出部と、位相変化がステッピングモータの回転角の時間変化に同一な正弦波を基本波とし、第１条件を満たすように基本波と基本波の高調波とが合成された合成波を第１合成波として、位相変化が前記第１合成波の位相変化に同一な信号であって振幅が前記ステッピングモータの回転速度に応じた第１振幅に調整された信号を生成する角度指令補正部１０５を備え、ステッピングモータの電流の位相の時間変化は角度補正信号の時間変化と同一であるステッピングモータ制御装置。

【選択図】図 1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

マイクロステップ駆動するステッピングモータを制御するステッピングモータ制御装置であって、

前記ステッピングモータを駆動するインバータと、

前記ステッピングモータの電流を制御するための電流制御器と、

前記ステッピングモータの回転を検出する検出部と、

位相変化が前記ステッピングモータの回転角の時間変化に同一な正弦波を基本波とし、振幅及び位相に関する第 1 条件を満たすように前記基本波と前記基本波の高調波とが合成された合成波を第 1 合成波として、位相変化が前記第 1 合成波の位相変化に同一な信号であって振幅が前記ステッピングモータの回転速度に応じた第 1 振幅に調整された信号である角度補正信号を生成する角度指令補正部と、

を備え、

前記ステッピングモータの電流の位相の時間変化は前記角度補正信号の時間変化に同一である、

ステッピングモータ制御装置。

【請求項 2】

位相変化が前記ステッピングモータの回転角の時間変化に同一な正弦波を基本波とし、振幅及び位相に関する第 2 条件を満たすように前記基本波と前記基本波の高調波とが合成された合成波を第 2 合成波として、位相変化が前記第 2 合成波の位相変化に同一な信号であって振幅が前記ステッピングモータの回転速度に応じた第 2 振幅に調整された信号である振幅補正信号を生成する電流指令補正部、

をさらに備え、

前記ステッピングモータの電流の振幅の時間変化は前記振幅補正信号の時間変化に同一である、

請求項 1 に記載のステッピングモータ制御装置。

【請求項 3】

前記ステッピングモータの回転速度に比例する値を電流指令として、前記第 1 振幅を前記電流指令で割り算した値は、前記電流指令が所定の値未満である場合に、前記電流指令が小さいほど大きな値である、

請求項 1 又は 2 に記載のステッピングモータ制御装置。

【請求項 4】

マイクロステップ駆動するステッピングモータを制御するステッピングモータ制御装置であって、

前記ステッピングモータを駆動するインバータと、

前記ステッピングモータの電流を制御するための電流制御器と、

前記ステッピングモータの回転を検出する検出部と、

位相変化が前記ステッピングモータの回転角の時間変化に同一な正弦波を基本波とし、振幅及び位相に関する第 2 条件を満たすように前記基本波と前記基本波の高調波とが合成された合成波を第 2 合成波として、位相変化が前記第 2 合成波の位相変化に同一な信号であって振幅が前記ステッピングモータの回転速度に応じた第 2 振幅に調整された信号である振幅補正信号を生成する電流指令補正部と、

を備え、

前記ステッピングモータの電流の振幅の時間変化は、前記振幅補正信号の時間変化に同一である、

ステッピングモータ制御装置。

【請求項 5】

前記ステッピングモータの回転速度に比例する値を電流指令として、前記第 2 振幅を前記電流指令で割り算した値は、前記電流指令が所定の値以上である場合に、前記電流指令が大きいほど大きい値である、

請求項 2 又は 4 に記載のステッピングモータ制御装置。

【請求項 6】

前記高調波の次数は、2 次及び 4 次である、

請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載のステッピングモータ制御装置。

【請求項 7】

請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載のステッピングモータ制御装置としてコンピュータを機能させるためのプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ステッピングモータ制御装置及びプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

これまで、マイクロステップ駆動するステッピングモータの振動を抑制する技術が提案されている（特許文献 1 を参照）。従来の技術においては、ステッピングモータに発生するコギングトルク、トルクリップ等の外乱を除去する。従来の技術においては、例えば、ステッピングモータの振動が測定され、測定された振動に対する周波数解析が行われ、周波数解析の結果に基づいて外乱と逆位相の信号が q 軸電流に印加される。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特許第 4 4 8 8 7 4 9 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、このように従来の技術においては、ステッピングモータの振動を周波数解析する必要があるため、ステッピングモータの制御に要する演算量の多さが問題であった。

【0005】

上記事情に鑑み、本発明は、外乱の影響を抑制しつつマイクロステップ駆動するステッピングモータの動作の制御における演算量を軽減する技術を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明の一態様は、マイクロステップ駆動するステッピングモータを制御するステッピングモータ制御装置であって、前記ステッピングモータを駆動するインバータと、前記ステッピングモータの電流を制御するための電流制御器と、前記ステッピングモータの回転を検出する検出部と、位相変化が前記ステッピングモータの回転角の時間変化に同一な正弦波を基本波とし、振幅及び位相に関する第 1 条件を満たすように前記基本波と前記基本波の高調波とが合成された合成波を第 1 合成波として、位相変化が前記第 1 合成波の位相変化に同一な信号であって振幅が前記ステッピングモータの回転速度に応じた第 1 振幅に調整された信号である角度補正信号を生成する角度指令補正部と、を備え、前記ステッピングモータの電流の位相の時間変化は前記角度補正信号の時間変化に同一である、ステッピングモータ制御装置である。

【0007】

本発明の一態様は、上記のステッピングモータ制御装置であって、位相変化が前記ステッピングモータの回転角の時間変化に同一な正弦波を基本波とし、振幅及び位相に関する第 2 条件を満たすように前記基本波と前記基本波の高調波とが合成された合成波を第 2 合成波として、位相変化が前記第 2 合成波の位相変化に同一な信号であって振幅が前記ステッピングモータの回転速度に応じた第 2 振幅に調整された信号である振幅補正信号を生成

10

20

30

40

50

する電流指令補正部、をさらに備え、前記ステッピングモータの電流の振幅の時間変化は前記振幅補正信号の時間変化に同一である。

【0008】

本発明の一態様は、上記のステッピングモータ制御装置であって、前記ステッピングモータの回転速度に比例する値を電流指令として、前記第1振幅を前記電流指令で割り算した値は、前記電流指令が所定の値未満である場合に、前記電流指令が小さいほど大きな値である。

【0009】

本発明の一態様は、上記のステッピングモータ制御装置であって、マイクロステップ駆動するステッピングモータを制御するステッピングモータ制御装置であって、前記ステッピングモータを駆動するインバータと、前記ステッピングモータの電流を制御するための電流制御器と、前記ステッピングモータの回転を検出する検出部と、位相変化が前記ステッピングモータの回転角の時間変化に同一な正弦波を基本波とし、振幅及び位相に関する第2条件を満たすように前記基本波と前記基本波の高調波とが合成された合成波を第2合成波として、位相変化が前記第2合成波の位相変化に同一な信号であって振幅が前記ステッピングモータの回転速度に応じた第2振幅に調整された信号である振幅補正信号を生成する電流指令補正部と、を備え、前記ステッピングモータの電流の振幅の時間変化は、前記振幅補正信号の時間変化に同一である。

10

【0010】

本発明の一態様は、上記のステッピングモータ制御装置であって、前記ステッピングモータの回転速度に比例する値を電流指令として、前記第2振幅を前記電流指令で割り算した値は、前記電流指令が所定の値以上である場合に、前記電流指令が大きいほど大きい値である。

20

【0011】

本発明の一態様は、上記のステッピングモータ制御装置であって、前記高調波の次数は、2次及び4次である。

【0012】

本発明の一態様は、上記のステッピングモータ制御装置としてコンピュータを機能させるためのプログラムである。

【発明の効果】

30

【0013】

本発明により、外乱の影響を抑制しつつステッピングモータを動作させる制御における演算量を軽減することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】実施形態のステッピングモータ制御装置1の機能構成の一例を示す図。

【図2】実施形態における第1振幅調整値 $d_{1} < 1 >$ と電流指令 I との関係の一例を示す図。

【図3】実施形態における第2振幅調整値 $d_{2} < 2 >$ と電流指令 I との関係の一例を示す図。

40

【図4】実施形態におけるステッピングモータ制御装置1が実行する処理の流れの一例を示すフローチャート。

【図5】実施形態のステッピングモータ制御装置1によって外乱の影響が抑制されることを示す実験結果の一例を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0015】

以下、実施形態のステッピングモータ制御装置及びプログラムを、図面を参照して説明する。

図1は、実施形態のステッピングモータ制御装置1の機能構成の一例を示す図である。

ステッピングモータ制御装置1は、ステッピングモータ9を駆動する。

50

ステッピングモータ 9 は、電力の供給を受けて回転することでトルクを発生する 2 相のステッピングモータである。すなわちステッピングモータ 9 は、電気エネルギーを運動エネルギーに変換する 2 相のステッピングモータである。

ステッピングモータ 9 は、式 (1) 及び (2) で表される波形 (すなわち、角速度 ω_{exc} (t) が時間に依存する角速度である正弦波) の電流が駆動電流 (ステッピングモータの電流) として印加されることでマイクロステップ駆動する。なお、 ω_{exc} (t) は、下付き文字を表す。例えば、 ω_{exc} (t) は、 ω_{exc} を表す。以下、角速度 ω_{exc} (t) を励磁角度という。

【 0 0 1 6 】

【 数 1 】

10

$$H_1(t) = (I + g(\omega_{exc}(t), I)) \times \sin(\omega_{exc}(t) \cdot t) \quad \dots (1)$$

【 0 0 1 7 】

【 数 2 】

$$H_2(t) = (I + g(\omega_{exc}(t), I)) \times \cos(\omega_{exc}(t) \cdot t) \quad \dots (2)$$

20

【 0 0 1 8 】

式 (1) 及び式 (2) において、t は時刻を表す。H₁ (t) は、ステッピングモータ 9 の一方の相に印加される電流の波形を表す。H₂ (t) は、ステッピングモータ 9 の他方の相に印加される電流の波形を表す。以下、波形 H₁ (t) 及び波形 H₂ (t) をそれぞれ区別しない場合、波形 H (t) という。また、以下、波形 H (t) の信号を信号 H (t) という。式 (1) 及び式 (2) において、I は、電流指令である。電流指令 I は、電流の振幅の次元の値であって、ステッピングモータ 9 の回転速度に応じた値である。例えば、電流指令 I は、ステッピングモータ 9 の回転速度が大きいほど大きな値である。例えば、電流指令 I は、ステッピングモータ 9 の回転速度の上昇に比例して増加する値である。以下、説明の簡単のため、電流指令は、ステッピングモータ 9 の回転速度の上昇に比例して増加する値であると仮定する。式 (1) 及び式 (2) において、g は、励磁角度 ω_{exc} (t) と I との関数である。

30

【 0 0 1 9 】

ステッピングモータ制御装置 1 は、角度指令取得端子 1 0 1、電流指令取得端子 1 0 2、エンコーダ 1 0 3、角度演算器 1 0 4、角度指令補正部 1 0 5、電流指令補正部 1 0 6、第 1 加算器 1 0 7、励磁角度生成器 1 0 8、第 2 加算器 1 0 9、電流振幅指令生成器 1 1 0、電流制御器 1 1 1、インバータ 1 1 2 及びシャント抵抗 1 1 3 を備える。

角度指令取得端子 1 0 1 は、角度指令 $\omega_{ref} \cdot t$ を示すパルス列の信号を取得する。角度指令 $\omega_{ref} \cdot t$ は、ステッピングモータ 9 を回転させる角度を示す。

ω_{ref} は角速度の次元の値である。電流指令取得端子 1 0 2 は、電流指令 I を取得する。

40

【 0 0 2 0 】

エンコーダ 1 0 3 は、ステッピングモータ 9 の回転を検出する。具体的には、ステッピングモータ 9 は回転に応じた波形の信号を取得する。エンコーダ 1 0 3 は、取得した信号を角度演算器 1 0 4 に出力する。角度演算器 1 0 4 は、エンコーダ 1 0 3 が出力する信号に基づいて、ステッピングモータ 9 の回転角 $\theta_{enc} \cdot t$ (以下「エンコーダ角」という。) を取得する。 θ_{enc} は角速度の次元の値である。以下、 θ_{enc} をエンコーダ角速度という。角度演算器 1 0 4 は、取得したエンコーダ角を角度指令補正部 1 0 5、電流指令補正部 1 0 6 及び励磁角度生成器 1 0 8 に出力する。

【 0 0 2 1 】

50

角度指令補正部 105 は、エンコーダ角と電流指令とを取得する。角度指令補正部 105 は、第 1 信号生成部 151 と第 1 振幅調整器 152 とを備える。第 1 信号生成部 151 は、エンコーダ角に基づいて、振幅及び位相に関する第 1 条件を満たす信号 $f_{\text{enc}} < 0 >$ を生成する。信号 $f_{\text{enc}} < 0 >$ は、具体的には、以下の式 (3) で表される。以下、信号 $f_{\text{enc}} < 0 >$ を第 1 信号という。

【0022】

【数 3】

$$f_0(\omega_{\text{enc}} \cdot t, I) = (A1 \cdot \sin(\omega_{\text{enc}} \cdot t + \phi1) + A2 \cdot \sin(2\omega_{\text{enc}} \cdot t + \phi2) + A3 \cdot \sin(4\omega_{\text{enc}} \cdot t + \phi3))$$

10

... (3)

【0023】

式 (3) において、A1、A2 及び A3 は、振幅の次元の値を表す。A1、A2 及び A3 は、予め定められた所定の値である。式 (3) において、 $\phi1$ 、 $\phi2$ 及び $\phi3$ は、予め定められた所定の初期位相を表す。 $\phi1$ 及び $\phi3$ は、例えば、同位相であって、 $\phi2$ は、 $\phi1$ よりも例えば、 $\pi/4$ だけ進んだ位相である。式 (3) における A1、A2、A3、 $\phi1$ 、 $\phi2$ 及び $\phi3$ は、信号 $f_{\text{enc}} < 0 >$ が満たすべき第 1 条件の一例である。具体的には、第 1 条件は、基本波の振幅が A1 であって、第 2 高調波の振幅が A2 であって、第 4 高調波の振幅が A3 であって、基本波の初期位相が $\phi1$ であって、第 2 高調波の初期位相が $\phi2$ であって、第 4 高調波の初期位相が $\phi3$ という条件である。

20

式 (3) は、第 1 信号が基本波と第 2 高調波と第 4 高調波との合成波であることを表す。式 (3) における合成波の基本波は、角速度がエンコーダ角速度の正弦波である。

【0024】

第 1 振幅調整器 152 は、電流指令に基づいて第 1 信号の振幅を調整する。第 1 振幅調整器 152 による調整の結果出力される信号 (以下、「角度補正信号」という。) は、以下の式 (4) で表される信号である。

【0025】

【数 4】

$$f(\omega_{\text{enc}} \cdot t, I) = d_1 \cdot I \cdot (A1 \cdot \sin(\omega_{\text{enc}} \cdot t + \phi1) + A2 \cdot \sin(2\omega_{\text{enc}} \cdot t + \phi2) + A3 \cdot \sin(4\omega_{\text{enc}} \cdot t + \phi3))$$

30

... (4)

【0026】

式 (4) は、第 1 振幅調整器 152 が、第 1 信号の振幅を ($d_{\text{enc}} < 1 > \cdot I$) 倍することを示す。 $d_{\text{enc}} < 1 >$ は、電流指令の大きさに応じた値である。 $d_{\text{enc}} < 1 >$ は、電流指令の大きさが小さいほど大きな値である。以下、式 (4) の $d_{\text{enc}} < 1 >$ を第 1 振幅調整値という。式 (4) が表すように、角度補正信号は、振幅が電流指令の大きさに応じた振幅に調整された信号であって、位相変化が第 1 信号の位相変化に同一な信号である。

40

【0027】

図 2 は、実施形態における第 1 振幅調整値 $d_{\text{enc}} < 1 >$ と電流指令 I との関係の一例を示す図である。

図 2 は、電流指令 I と第 1 振幅調整値 $d_{\text{enc}} < 1 >$ とが、 I が 0 以上 $I_{\text{max}} < b >$ 未満の場合には、線形の関係であることを示す。図 2 は、電流指令 I が $I_{\text{max}} < b >$ 未満の場合には、電流指令 I が小さいほど第 1 振幅調整値 $d_{\text{enc}} < 1 >$ が大きな値であることを示す。図 2 は、 I が $I_{\text{max}} < b >$ 以上では、第 1 振幅調整値 $d_{\text{enc}} < 1 >$ が 0 であることを示す。なお、電流指令 I は、ステッピングモータ 9 の回転速度の上昇に比例して増加する値であるため、電流指令 I が小さくなることは、ステッピングモータ 9 の回転速度が遅くなることを意味する。

50

【 0 0 2 8 】

電流指令補正部 1 0 6 は、エンコーダ角と電流指令とを取得する。電流指令補正部 1 0 6 は、第 2 信号生成部 1 6 1 と第 2 振幅調整器 1 6 2 とを備える。第 2 信号生成部 1 6 1 は、エンコーダ角に基づいて、振幅及び位相に関する第 2 条件を満たす信号 $g_{_ < 0 >}$ を生成する。信号 $g_{_ < 0 >}$ は、具体的には、以下の式 (5) で表される。以下、信号 $g_{_ < 0 >}$ を第 2 信号という。

【 0 0 2 9 】

【 数 5 】

$$g_0(\omega_{enc} \cdot t, I) = (A4 \sin(\omega_{enc} \cdot t + \phi4) + A5 \cdot \sin(2\omega_{enc} \cdot t + \phi5) + A6 \cdot \sin(4\omega_{enc} \cdot t + \phi6)) \quad \dots (5) \quad 10$$

【 0 0 3 0 】

式 (5) において、A 4、A 5 及び A 6 は、振幅の次元の値を表す。A 4、A 5 及び A 6 は、予め定められた所定の値である。式 (5) において、 $\phi 4$ 、 $\phi 5$ 及び $\phi 6$ は、予め定められた所定の初期位相を表す。 $\phi 4$ 及び $\phi 6$ は、例えば、同位相であって、 $\phi 5$ は、 $\phi 4$ よりも例えば、 $\pi/4$ だけ進んだ位相である。式 (5) における A 4、A 5、A 6、 $\phi 4$ 、 $\phi 5$ 及び $\phi 6$ は、信号 $g_{_ < 0 >}$ が満たすべき第 2 条件の一例である。具体的には、第 2 条件は、基本波の振幅が A 4 であって、第 2 高調波の振幅が A 5 であって、第 4 高調波の振幅が A 6 であって、基本波の初期位相が $\phi 4$ であって、第 2 高調波の初期位相が $\phi 5$ であって、第 4 高調波の初期位相が $\phi 6$ という条件である。 20

式 (5) は、第 2 信号が基本波と第 2 高調波と第 4 高調波との合成波であることを表す。式 (5) における合成波の基本波は、角速度がエンコーダ角速度の正弦波である。

【 0 0 3 1 】

第 2 振幅調整器 1 6 2 は、電流指令に基づいて第 2 信号の振幅を調整する。第 2 振幅調整器 1 6 2 による調整の結果出力される信号 (以下、「振幅補正信号」という。) は、以下の式 (6) で表される信号である。

【 0 0 3 2 】

【 数 6 】

$$g(\omega_{enc} \cdot t, I) = d_2 \cdot I \cdot (A4 \cdot \sin(\omega_{enc} \cdot t + \phi4) + A5 \cdot \sin(2\omega_{enc} \cdot t + \phi5) + A6 \cdot \sin(4\omega_{enc} \cdot t + \phi6)) \quad \dots (6) \quad 30$$

【 0 0 3 3 】

式 (6) は、第 2 振幅調整器 1 6 2 が、第 2 信号の振幅を ($d_{_ < 2 >} \cdot I$) 倍することを示す。 $d_{_ < 2 >}$ は、電流指令の大きさに応じた値である。 $d_{_ < 2 >}$ は、電流指令の大きさが小さいほど大きな値である。以下、式 (4) の $d_{_ < 2 >}$ を第 2 振幅調整値という。式 (6) が表すように、振幅補正信号は、振幅が電流指令の大きさに応じた振幅に調整された信号であって、位相変化が第 2 信号の位相変化に同一な信号である。 40

【 0 0 3 4 】

図 3 は、実施形態における第 2 振幅調整値 $d_{_ < 2 >}$ と電流指令 I との関係の一例を示す図である。

図 3 は、電流指令 I と第 2 振幅調整値 $d_{_ < 2 >}$ とが、 I が $I_{_ < b >}$ 以上の場合には、線形の関係であることを示す。図 3 は、電流指令 I が $I_{_ < b >}$ 以上の場合には、電流指令 I が大きいほど第 2 振幅調整値 $d_{_ < 2 >}$ が大きな値であることを示す。図 3 は、 I が $I_{_ < b >}$ 未満では、第 2 振幅調整値 $d_{_ < 2 >}$ が 0 であることを示す。なお、電流指令 I は、ステッピングモータ 9 の回転速度の上昇に比例して増加する値であるため、電流指令 I が大きくなることは、ステッピングモータ 9 の回転速度が速くなることを意味する 50

。

【 0 0 3 5 】

第 1 加算器 1 0 7 は、角度指令 $_\text{< r e f >} \cdot t$ を示すパルス列と角度補正信号とを加算する。加算後の信号は、励磁角度 $_\text{< e x t > (t)} \cdot t$ を示す。励磁角度 $_\text{< e x t > (t)} \cdot t$ は、以下の式 (7) で表される。第 1 加算器 1 0 7 は、加算後の信号を励磁角度生成器 1 0 8 に出力する。

【 0 0 3 6 】

【 数 7 】

$$\omega_{exc}(t) \cdot t = \omega_{ref} \cdot t + f(\omega_{enc} \cdot t I) \quad \dots (7)$$

10

【 0 0 3 7 】

励磁角度生成器 1 0 8 は、第 1 加算器 1 0 7 が出力した励磁角度 $_\text{< e x t > (t)} \cdot t$ を示す信号に基づいて、以下の式 (8) 及び式 (9) で表される信号 $h_\text{< 1 > (t)}$ 及び信号 $h_\text{< 2 > (t)}$ を生成する。

【 0 0 3 8 】

【 数 8 】

$$h_1(t) = \sin(\omega_{exc}(t) \cdot t) \quad \dots (8)$$

20

【 0 0 3 9 】

【 数 9 】

$$h_2(t) = \cos(\omega_{exc}(t) \cdot t) \quad \dots (9)$$

30

【 0 0 4 0 】

信号 $h_\text{< 1 > (t)}$ は、位相変化が励磁角度の時間変化と同一な \sin 波である。信号 $h_\text{< 2 > (t)}$ は、位相変化が励磁角度の時間変化と同一な \cos 波である。すなわち、信号 $h_\text{< 1 > (t)}$ 及び $h_\text{< 2 > (t)}$ は位相変化が励磁角度の時間変化と同一な正弦波である。

【 0 0 4 1 】

第 2 加算器 1 0 9 は、電流指令 I と振幅補正信号とを加算し、加算後の信号を電流振幅指令生成器 1 1 0 に出力する。電流振幅指令生成器 1 1 0 は、第 2 加算器 1 0 9 が出力した信号に励磁角度生成器 1 0 8 が生成した信号を乗算することで、上記式 (1) 及び式 (2) で表される信号 $H(t)$ を生成する。

40

【 0 0 4 2 】

電流制御器 1 1 1 は、電流振幅指令生成器 1 1 0 が生成した信号を受信する。電流制御器 1 1 1 は、受信した信号と同様の波形の信号 (すなわち、信号 $H(t)$) をステップングモータ 9 に印加するように、インバータ 1 1 2 の動作を制御する。

【 0 0 4 3 】

インバータ 1 1 2 は、電流制御器 1 1 1 の制御によって動作し、波形 $H_\text{< 1 > (t)}$ の電流と波形 $H_\text{< 2 > (t)}$ の電流とをステップングモータ 9 に印加する。

インバータ 1 1 2 とステップングモータ 9 との間にはシャント抵抗 1 1 3 が位置する。シャント抵抗 1 1 3 に流れる電流を電流制御器 1 1 1 は取得する。電流制御器 1 1 1 は、

50

取得したシャント抵抗 113 を流れる電流に応じて、波形 $H(t)$ の電流がステッピングモータ 9 に印加されるようにインバータ 112 の動作を制御する。すなわち、電流制御器 111 は、シャント抵抗 113 を流れる電流に基づくフィードバック制御によって、波形 $H(t)$ の電流がステッピングモータ 9 に印加されるようにインバータ 112 の動作を制御する。

【0044】

図 4 は、実施形態におけるステッピングモータ制御装置 1 が実行する処理の流れの一例を示すフローチャートである。

角度指令取得端子 101 に、角度指令が入力される（ステップ S101）。電流指令取得端子 102 に、電流指令が入力される（ステップ S102）。ステッピングモータ 9 が回転を開始する（ステップ S103）。エンコーダ 103 が回転中のステッピングモータ 9 から回転に応じた波形の信号を取得する（ステップ S104）。角度演算器 104 が、ステップ S104 において取得された信号に基づいてエンコーダ角を取得する（ステップ S105）。

【0045】

第 1 信号生成部 151 が、エンコーダ角に基づいて、第 1 信号を生成する（ステップ S106）。第 1 振幅調整器 152 が、第 1 信号に対して、電流指令に応じた値である第 1 振幅調整値と電流指令とを乗算する（ステップ S107）。第 2 信号生成部 161 が、エンコーダ角に基づいて、第 2 信号を生成する（ステップ S108）。第 2 振幅調整器 162 が、第 2 信号に対して、電流指令に応じた値である第 2 振幅調整値と電流指令とを乗算する（ステップ S109）。

【0046】

第 1 加算器 107 が、角度指令 $\theta_{ref} \cdot t$ を示すパルス列と振幅調整後の第 1 信号（すなわち、角度補正信号）とを加算し、励磁角度を示す信号を生成する（ステップ S110）。ステップ S110 で生成された励磁角度を示す信号に基づいて、励磁角度生成器 108 は、信号 $h_{11}(t)$ と信号 $h_{12}(t)$ とを生成する（ステップ S111）。第 2 加算器 109 が、電流指令 I と振幅調整後の第 2 信号（すなわち、振幅補正信号）とを加算する（ステップ S112）。電流振幅指令生成器 110 は、ステップ S112 の加算の結果の信号と信号 $h_{11}(t)$ 及び信号 $h_{12}(t)$ とを積算することで、信号 $H(t)$ を生成する（ステップ S113）。電流制御器 111 は、インバータ 112 の動作をフィードバック制御によって制御することで、ステッピングモータ 9 に、波形 $H(t)$ の電流を印加する（ステップ S114）。

【0047】

なお、ステップ S106 及びステップ S107 の処理が実行されるタイミングは、ステップ S105 の処理の後であってステップ S110 の処理の前であればよく、必ずしも、ステップ S105 の次に実行される必要は無い。なお、ステップ S108 及びステップ S109 の処理が実行されるタイミングは、ステップ S105 の処理の後であってステップ S112 の処理の前であればよく、必ずしも、ステップ S107 の次に実行される必要は無い。

【0048】

（実験結果）

図 5 は、実施形態のステッピングモータ制御装置 1 によって外乱の影響が抑制されることを示す実験結果の一例を示す図である。

図 5（A）は、従来のステッピングモータにおける振動レベルと回転速度との関係を示す図である。図 5（A）において、横軸は回転速度を表す。図 5（A）において縦軸は振動レベルを表す。

図 5（B）は、ステッピングモータ制御装置 1 の制御によって動作するステッピングモータ 9 の振動レベルと回転速度との関係を示す図である。図 5（B）において、横軸は回転速度を表す。図 5（B）において縦軸は振動レベルを表す。

【0049】

10

20

30

40

50

図 5 (A) は、基本波の振動レベルが略 (- 3 5) ~ 略 (- 2 6) であることを示す。
 図 5 (A) は、第 2 高調波の振動レベルが略 (- 5 0) ~ 略 (- 5) であることを示す。
 図 5 (A) は、第 4 高調波の振動レベルが略 (- 5 0) ~ 略 (- 5) であることを示す。
 図 5 (B) は、基本波の振動レベルが略 (- 5 0) ~ 略 (- 3 0) であることを示す。
 図 5 (B) は、第 2 高調波の振動レベルが略 (- 5 0) ~ 略 (- 2 5) であることを示す。
 図 5 (B) は、第 4 高調波の振動レベルが略 (- 5 0) ~ 略 (- 2 0) であることを示す。

【 0 0 5 0 】

このように、図 5 (A) が示す振動レベルは、図 5 (B) が示す振動レベルよりも低い。
 そのため、図 5 の実験結果は、実施形態のステップングモータ制御装置 1 によって外乱
 の影響が抑制されたことを示す。

10

【 0 0 5 1 】

従来は、ステップ S 1 0 4 又はステップ S 1 0 5 の次に周波数解析が必要であった。し
 かしながら、このように構成された実施形態におけるステップングモータ制御装置 1 は、
 角度指令と電流指令とエンコーダ角度とに応じ、式 (1) 及び式 (2) で表される波形の
 電流をステップングモータ 9 に印加する。式 (1) 及び式 (2) で表される波形の電流を
 ステップングモータ 9 に印加することで、コギングトルク及びトルクリップルの発生が抑
 制される。そのため、このように構成された実施形態におけるステップングモータ制御装
 置 1 は周波数解析する必要が無い、振動を抑制しつつステップングモータ 9 を動作さ
 せる制御に要する演算量を軽減することができる。

20

【 0 0 5 2 】

このように構成された実施形態におけるステップングモータ制御装置 1 は、角度指令と
 電流指令とエンコーダ角度とに応じ、波形 $H(t)$ の電流によってステップングモータ 9
 を駆動する。波形 $H(t)$ は、基本波と第 2 高調波と第 4 高調波とが合成された合成波の
 波形に基づいた波形である。基本波は、位相の時間変化がエンコーダ角の時間変化に同一
 である正弦波である。ステップングモータ制御装置 1 は、電流指令に応じた振幅調整値 d
 $_ < 1 >$ 及び $d _ < 2 >$ のによって振幅が調整された波形 $H(t)$ の電流をステップング
 モータ 9 に印加する。そのため、ステップングモータ制御装置 1 は、ステップングモータ
 9 の回転の速度によらず、コギングトルク及びトルクリップルの発生を抑制することがで
 きる。

30

【 0 0 5 3 】

(変形例)

なお、ステップングモータ 9 は必ずしも 2 相でなくてもよい。ステップングモータ 9 は
 、 2 相以上の複数相であってもよい。

なお、励磁角度は、次数が 4 以上の偶数次の高調波に基づいてもよい。すなわち、式 (3)
 及び式 (5) において、合成波は、基本波と第 2 高調波と第 4 高調波とにくわえて、
 さらに、 $Q \times e_{nc}$ (Q は 6 以上の偶数) を角速度とする正弦波の和であってもよい。

なお、励磁角度は、基本波と第 2 高調波と第 4 高調波とに代えて、基本波と、第 3 高調
 波と、次数が 3 の倍数の高調波とに基づいてもよい。次数が 3 の倍数の高調波は、例えば
 、第 6 高調波である。

40

【 0 0 5 4 】

なお、電流指令は、所定の値であってもよいし、角度演算器 1 0 4 が取得したエンコー
 ダ角に応じて生成された値であってもよい。

【 0 0 5 5 】

なお、ステップングモータ制御装置 1 は、ステップングモータ 9 に流れる電流を検出可
 能なものを備えていれば必ずしもシャント抵抗 1 1 3 を備えなくてもよい。

【 0 0 5 6 】

なお、上述した実施形態のステップングモータ制御装置 1 の一部をコンピュータで実現
 するようにしてもよい。ステップングモータ制御装置 1 の一部とは、例えば、角度演算器
 1 0 4、角度指令補正部 1 0 5 及び電流指令補正部 1 0 6 である。その場合、この機能を

50

実現するためのプログラムをコンピュータ読み取り可能な記録媒体に記録して、この記録媒体に記録されたプログラムをコンピュータシステムに読み込ませ、実行することによって実現してもよい。なお、ここでいう「コンピュータシステム」とは、OSや周辺機器等のハードウェアを含むものとする。また、「コンピュータ読み取り可能な記録媒体」とは、フレキシブルディスク、光磁気ディスク、ROM、CD-ROM等の可搬媒体、コンピュータシステムに内蔵されるハードディスク等の記憶装置のことをいう。さらに「コンピュータ読み取り可能な記録媒体」とは、インターネット等のネットワークや電話回線等の通信回線を介してプログラムを送信する場合の通信線のように、短時間の間、動的にプログラムを保持するもの、その場合のサーバやクライアントとなるコンピュータシステム内部の揮発性メモリのように、一定時間プログラムを保持しているものも含んでもよい。また上記プログラムは、前述した機能の一部を実現するためのものであってもよく、さらに前述した機能をコンピュータシステムにすでに記録されているプログラムとの組み合わせで実現できるものであってもよく、FPGA(Field Programmable Gate Array)等のプログラマブルロジックデバイスを用いて実現されるものであってもよい。

10

【0057】

なお、角度指令取得端子101は、指令角度取得部の一例である。なお、電流指令取得端子102は、電流指令取得部の一例である。なお、式(4)における($d_{<1>} \cdot I$)は、第1振幅の一例である。なお、 $d_{<1>}$ は、第1振幅を電流指令で割り算した値の一例である。なお、式(6)における($d_{<2>} \cdot I$)は、第2振幅の一例である。なお、 $d_{<2>}$ は、第2振幅を電流指令で割り算した値の一例である。なお、第1合成波は第1信号の一例である。なお、第2合成波は、第2信号の一例である。なお、エンコーダ103は検出部の一例である。なお、エンコーダ103は、ステッピングモータ9の回転を検出可能であれば、必ずしもエンコーダでなくてもよい。

20

【0058】

以上、この発明の実施形態について図面を参照して詳述してきたが、具体的な構成はこの実施形態に限られるものではなく、この発明の要旨を逸脱しない範囲の設計等も含まれる。

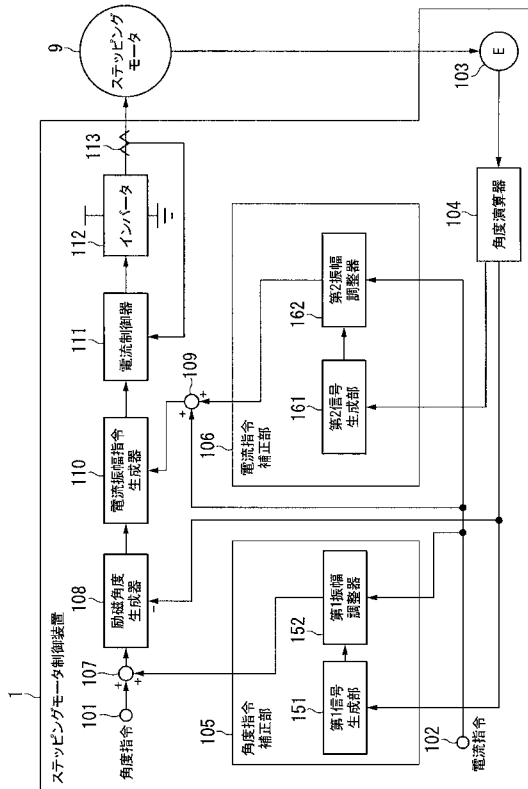
【符号の説明】

【0059】

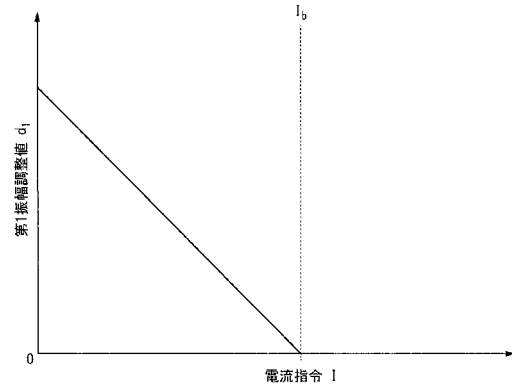
1...ステッピングモータ制御装置、 101...角度指令取得端子、 102...電流指令取得端子、 103...エンコーダ、 104...角度演算器、 105...角度指令補正部、 106...電流指令補正部、 107...第1加算器、 108...励磁角度生成器、 109...第2加算器、 110...電流振幅指令生成器、 111...電流制御器、 112...インバータ、 113...シャント抵抗

30

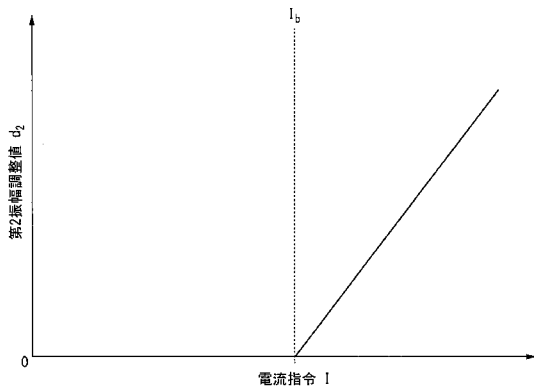
【図 1】



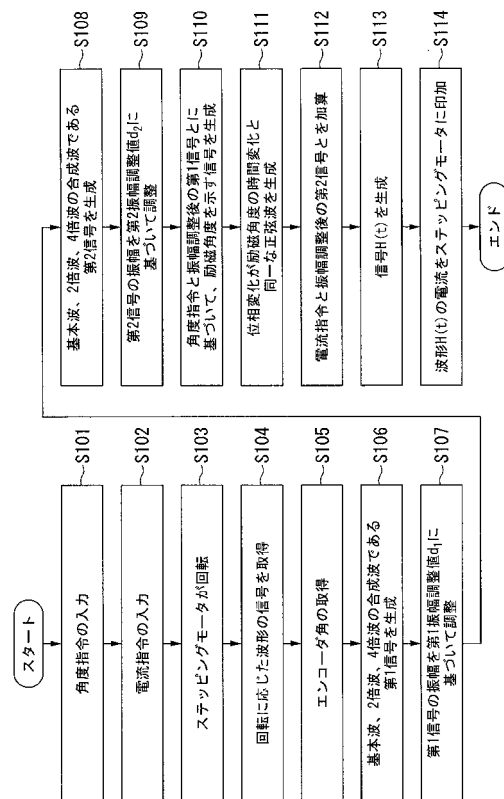
【図 2】



【図 3】



【図 4】



【図 5】

