

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第5328592号
(P5328592)

(45) 発行日 平成25年10月30日 (2013. 10. 30)

(24) 登録日 平成25年8月2日 (2013. 8. 2)

(51) Int. Cl.

F I

HO 2 P 27/06 (2006. 01)

HO 2 P 21/00 (2006. 01)

HO 2 P 27/04 (2006. 01)

HO 2 P 7/63 3 O 2 S

HO 2 P 5/408 A

請求項の数 4 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2009-230396 (P2009-230396)	(73) 特許権者	510123839
(22) 出願日	平成21年10月2日 (2009. 10. 2)		オムロンオートモーティブエレクトロニクス株式会社
(65) 公開番号	特開2011-78291 (P2011-78291A)		愛知県小牧市大草年上坂 6 3 6 8 番地
(43) 公開日	平成23年4月14日 (2011. 4. 14)	(74) 代理人	100101786
審査請求日	平成24年3月7日 (2012. 3. 7)		弁理士 奥村 秀行
		(72) 発明者	藪口 教定
			京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町 8 0 1 番地 オムロン株式会社内
		(72) 発明者	鞍谷 真一
			京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町 8 0 1 番地 オムロン株式会社内
		(72) 発明者	中村 健信
			京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町 8 0 1 番地 オムロン株式会社内
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 モータ駆動装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

P W M (Pulse Width Modulation) 信号によるスイッチング素子の O N ・ O F F 動作に基づいてモータを駆動する駆動部と、

前記駆動部に流れる電流の電流値を所定の電流検出タイミングで検出して、モータの各相に流れる電流の実測電流値を求める電流検出部と、

前記電流検出部で得られた実測電流値と、外部から入力されるモータに流すべき電流の目標値を示す電流指令値とに基づいて、モータの印加電圧値を求める印加電圧生成部と、

前記印加電圧生成部で得られた印加電圧値に基づいて、前記 P W M 信号を生成し前記駆動部へ出力する P W M 信号生成部と、

各相の前記印加電圧値と各相の前記実測電流値とから異常を検出する異常検出手段と、を備え、

前記異常検出手段は、

前記電流検出部での電流検出タイミングごとに前記印加電圧生成部が求めた各相の印加電圧値を記憶する印加電圧値記憶部と、

前記印加電圧値記憶部に記憶されている印加電圧値と、前記電流検出部における前回の電流検出タイミングから今回の電流検出タイミングまでに要した時間である電流検出周期と、ある電流検出タイミングにおいて電流検出が行われてから、前記印加電圧生成部が求めた印加電圧値の電圧が前記モータに印加されるまでに要する時間とに基づいて、前記印加電圧値を補正した補正電圧値を求める補正電圧値生成部と、

前記電流検出部で得られた実測電流値を実測電圧値に変換する電流－電圧変換部と、
前記補正電圧値生成部で得られた補正電圧値と前記電流－電圧変換部で得られた実測電圧値とを比較して異常を判定する異常判定部と、
を有することを特徴とするモータ駆動装置。

【請求項 2】

請求項 1 に記載のモータ駆動装置において、
前記異常検出手段は、さらに、
前記補正電圧値生成部で得られた各相の補正電圧値を 3 軸－2 軸変換して、d 軸補正電圧値および q 軸補正電圧値を求める第 1 の 3 軸－2 軸変換部と、
前記電流検出部で得られた各相の実測電流値を 3 軸－2 軸変換して、d 軸実測電流値および q 軸実測電流値を求める第 2 の 3 軸－2 軸変換部と、を有し、
前記異常判定部は、
前記第 1 の 3 軸－2 軸変換部で得られた d 軸補正電圧値と、前記第 2 の 3 軸－2 軸変換部で得られた d 軸の実測電流値に基づき前記電流－電圧変換部で得られた d 軸実測電圧値とを比較して異常を判定する d 軸異常判定部と、
前記第 1 の 3 軸－2 軸変換部で得られた q 軸補正電圧値と、前記第 2 の 3 軸－2 軸変換部で得られた q 軸の実測電流値に基づき前記電流－電圧変換部で得られた q 軸実測電圧値とを比較して異常を判定する q 軸異常判定部と、
から構成されることを特徴とするモータ駆動装置。

【請求項 3】

請求項 1 に記載のモータ駆動装置において、
前記異常判定部は、
前記補正電圧値生成部で得られた U 相の補正電圧値と、前記電流－電圧変換部で得られた U 相の実測電圧値とを比較して、U 相の異常を判定する U 相異常判定部と、
前記補正電圧値生成部で得られた V 相の補正電圧値と、前記電流－電圧変換部で得られた V 相の実測電圧値とを比較して、V 相の異常を判定する V 相異常判定部と、
前記補正電圧値生成部で得られた W 相の補正電圧値と、前記電流－電圧変換部で得られた W 相の実測電圧値とを比較して、W 相の異常を判定する W 相異常判定部と、
から構成されることを特徴とするモータ駆動装置。

【請求項 4】

請求項 1 ないし請求項 3 のいずれかに記載のモータ駆動装置において、
前記補正電圧値生成部は、ある電流検出タイミングから前記印加電圧生成部が生成した印加電圧値を V_{m2} 、当該タイミングの 1 つ前の電流検出タイミングから前記印加電圧生成部が生成して前記印加電圧値記憶部に記憶されている印加電圧値を V_{m1} 、前記電流検出部における電流検出周期を T_1 、前記ある電流検出タイミングで電流検出が行われてから、モータに印加電圧値 V_{m2} の電圧が印加されるまでに要する時間を T_2 としたとき、補正電圧値 V_o を次式により算出することを特徴とするモータ駆動装置。

【数 8】

$$V_o = (V_{m1} \times \frac{T_2 - T_1 / 2}{T_1} + V_{m2} \times \frac{3 T_1 / 2 - T_2}{T_1}) \div 2$$

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、PWM (Pulse Width Modulation: パルス幅変調) 制御方式を用いたモータ駆動装置に関し、特に、モータの印加電圧値と実測電圧値とに基づいて異常判定を行うモータ駆動装置に関する。

【背景技術】

【0002】

車両の電動パワーステアリング装置においては、ハンドルの操舵トルクに応じた操舵補助力をステアリング機構に与えるために、3相ブラシレスモータなどの電動式モータが設けられる。このモータを駆動する装置として、PWM制御方式によるモータ駆動装置が知られている（例えば特許文献1）。

【0003】

PWM制御方式のモータ駆動装置は、上アームと下アームにそれぞれスイッチング素子を有する上下一対のアームが3組設けられたインバータ回路を備えている。インバータ回路には、各スイッチング素子をON・OFFさせるためのPWM信号が与えられる。このPWM信号は、トルクセンサで検出された操舵トルクに応じたモータ電流の指令値（目標値）と、モータに実際に流れる電流の実測値との偏差に基づいて生成される。そして、所定のデューティを持った6種類のPWM信号を、インバータ回路の6個のスイッチング素子に個別に供給し、各素子をON・OFFさせることによって、モータを駆動する。

【0004】

このようなモータ駆動装置において、回路やモータに故障が発生すると、モータの出力トルクが異常となって、所望の操舵補助力が得られなくなる。そこで、モータの印加電圧値と実測電圧値とを比較し、その差が所定値以上である場合に異常であると判定する故障検出機能を備えたモータ駆動装置が提案されている（例えば特許文献2）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2007-244133号公報

【特許文献2】特許第3812739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、モータの印加電圧値と実測電圧値との差に基づいて異常検出を行う場合、実際には異常でないのに、異常と誤判定してしまうことがある。詳細は以下のとおりである。

【0007】

PWM制御方式のモータ駆動装置では、モータの印加電圧に応じた階段状の波形の信号が印加電圧生成部で生成され、PWM信号生成部に入力される。PWM信号生成部は、この信号に基づいてPWM信号を生成しインバータ回路へ出力する。インバータ回路からモータへ与えられる電圧はsin波形の信号であり、この信号は、階段状波形信号の平均値をとった信号である。また、インバータ回路の電流を検出する電流検出器においても、sin波形の信号が検出される。一方、異常判定部では、印加電圧生成部で得られた印加電圧値と、電流検出器で検出された電流値から演算により求めた実測電圧値とを比較し、その差が一定値以上か否かにより、異常の有無を判定する。

【0008】

しかるに、図10に示すように、印加電圧は階段状の波形であり、実測電圧はsin波形であるため、回路が正常状態の場合でも、印加電圧値と実測電圧値との間には常に誤差が存在する。特に、(a)のように印加電圧の周期が短い場合（モータの回転が速い場合）は、(b)のように周期が長い場合（モータの回転が遅い場合）に比べて、誤差が大きくなる。したがって、単純に印加電圧値と実測電圧値との差を閾値と比較するだけでは、回路の状態が正常であるにもかかわらず、誤差が閾値以上となって異常と誤判定することが起こりうる。この対策として、閾値を大きくすることが考えられるが、そうすると異常を高精度に検出することができなくなる。

【0009】

そこで、本発明の目的は、モータの印加電圧値と実測電圧値とに基づいて異常の有無を

判定する場合に、正常にもかかわらず異常と誤判定してしまうことのないモータ駆動装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明では、モータ電流の検出タイミングごとに算出された各相の印加電圧値を記憶し、この印加電圧値と、モータ電流の検出周期と、電流が検出されてからモータに電圧が印加されるまでに要する時間とに基づいて、印加電圧値を補正した補正電圧値を求める。そして、この補正電圧値と、モータ電流の実測電流値から得られる実測電圧値とを比較することによって、異常の判定を行う。

【0011】

この結果、印加電圧値が補正されて実測電圧値との間の誤差が小さくなるので、正常なのに異常と誤判定してしまうことがなくなり、異常の有無を正確に判定することができる。また、閾値を大きくしなくても正確な判定ができるので、高精度な異常検出が可能となる。

【発明の効果】

【0012】

本発明によれば、モータ駆動装置の異常の検出にあたって、異常と誤判定することを防止できるとともに、高精度な異常検出が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】本発明の実施形態を示したブロック図である。

【図2】本発明の他の実施形態を示したブロック図である。

【図3】本発明の更に他の実施形態を示したブロック図である。

【図4】本発明に係るモータ駆動装置の実施例を示した図である。

【図5】駆動部（インバータ回路）の一例を示す回路図である。

【図6】1相のある期間における電流・電圧の様子を示した図である。

【図7】印加電圧値の補正を説明するための図である。

【図8】印加電圧値の補正を行わない場合の問題点を説明するための図である。

【図9】印加電圧値の補正を行わない場合の問題点を説明するための図である。

【図10】印加電圧値と実測電圧値との誤差を説明するための図である。

【発明を実施するための形態】

【0014】

以下、本発明の実施形態につき、図面を参照しながら説明する。

【0015】

本発明に係るモータ駆動装置は、図1に示すように、PWM信号によるスイッチング素子（図示省略）のON・OFF動作に基づいてモータ1を駆動する駆動部2と、駆動部2に流れる電流の電流値を検出して、モータ1の各相に流れる電流の実測電流値を求める電流検出部3と、電流検出部3で得られた実測電流値と電流指令値とに基づいて、モータ1の印加電圧値を求める印加電圧生成部4と、印加電圧生成部4で得られた印加電圧値に基づいて、PWM信号を生成し駆動部2へ出力するPWM信号生成部5と、各相の印加電圧値と各相の実測電流値とから異常を検出する異常検出手段6とを備える。

【0016】

異常検出手段6は、印加電圧値記憶部7と、補正電圧値生成部8と、電流－電圧変換部9と、異常判定部10とを有する。印加電圧値記憶部7は、電流検出部3での電流検出タイミングごとの各相の印加電圧値を記憶する。補正電圧値生成部8は、印加電圧値記憶部7に記憶されている印加電圧値と、電流検出部3における電流検出の周期と、電流検出が行われてからモータ1に電圧が印加されるまでに要する時間とに基づいて、印加電圧値を補正した補正電圧値を求める（補正の詳細については後述）。電流－電圧変換部9は、電流検出部3で得られた実測電流値を実測電圧値に変換する。異常判定部10は、補正電圧値生成部8で得られた補正電圧値と電流－電圧変換部9で得られた実測電圧値とを比較し

10

20

30

40

50

て異常を判定する。

【0017】

このように構成したことにより、補正電圧値生成部8において、電流検出周期および電流検出から電圧印加までの時間に基づいて、印加電圧値が補正されるので、補正後の印加電圧値（補正電圧値）と実測電圧値との間の誤差が小さくなる。このため、異常判定部10では、実測電圧値を補正電圧値と比較することによって、正常なのに異常と誤判定してしまうことがなくなり、異常の有無を正確に判定することができる。また、閾値を大きくしなくても正確な判定ができるので、高精度な異常検出が可能となる。

【0018】

本発明では、2軸変換された補正電圧値と、2軸変換された実測電圧値とを比較するようにしてもよい。この場合は、図2に示すように、異常検出手段6aは、第1の3軸-2軸変換部11と、第2の3軸-2軸変換部12とを有する。第1の3軸-2軸変換部11は、補正電圧値生成部8で得られた各相の補正電圧値を3軸-2軸変換し、d軸補正電圧値およびq軸補正電圧値を求める。第2の3軸-2軸変換部12は、電流検出部3で得られた各相の実測電流値を3軸-2軸変換して、d軸実測電流値およびq軸実測電流値を求める。また、異常判定部は、d軸異常判定部10dと、q軸異常判定部10qとから構成される。d軸異常判定部10dは、第1の3軸-2軸変換部11で得られたd軸補正電圧値と、第2の3軸-2軸変換部12で得られたd軸の実測電流値に基づき電流-電圧変換部9で得られたd軸実測電圧値とを比較して異常を判定する。q軸異常判定部10qは、第1の3軸-2軸変換部11で得られたq軸補正電圧値と、第2の3軸-2軸変換部12で得られたq軸の実測電流値に基づき電流-電圧変換部9で得られたq軸実測電圧値とを比較して異常を判定する。

【0019】

これによると、補正電圧値と実測電圧値が3軸-2軸変換されて、振幅と位相のみの情報を持ったデータとなるため、異常判定部10d、10qでの判定処理を簡略化できる利点がある。

【0020】

また、本発明では、補正電圧値と実測電圧値を2軸変換せずに、各相の補正電圧値と各相の実測電圧値とを直接比較するようにしてもよい。この場合は、図3に示すように、異常判定部は、U相異常判定部10uと、V相異常判定部10vと、W相異常判定部10wとから構成される。U相異常判定部10uは、補正電圧値生成部8で得られたU相の補正電圧値と、電流-電圧変換部9で得られたU相の実測電圧値とを比較して、U相の異常を判定する。V相異常判定部10vは、補正電圧値生成部8で得られたV相の補正電圧値と、電流-電圧変換部9で得られたV相の実測電圧値とを比較して、V相の異常を判定する。W相異常判定部10wは、補正電圧値生成部8で得られたW相の補正電圧値と、電流-電圧変換部9で得られたW相の実測電圧値とを比較して、W相の異常を判定する。

【0021】

これによると、3軸-2軸変換部を設ける必要がないので、全体の構成が簡単になるという利点がある。

【実施例】

【0022】

図4は、本発明に係るモータ駆動装置の実施例を示した図である。図4は、図2と対応しており、図2の構成をさらに具体的に表したものである。したがって、図4では、図2と同一の部分または対応する部分には、図2と同一の符号を付してある。

【0023】

モータ1は、例えば車両の電動パワーステアリング装置に用いられる3相ブラシレスモータである。モータ1に駆動電圧を供給する駆動部2は、インバータ回路から構成される。図5は、駆動部2を構成するインバータ回路の一例を示す回路図である。インバータ回路は、上下一対のアームがU相、V相、W相に対応して3組設けられた3相ブリッジから構成されている。U相の上アームA1はスイッチング素子Q1を有し、U相の下アームA

10

20

30

40

50

2はスイッチング素子Q 2を有している。V相の上アームA 3はスイッチング素子Q 3を有し、V相の下アームA 4はスイッチング素子Q 4を有している。W相の上アームA 5はスイッチング素子Q 5を有し、W相の下アームA 6はスイッチング素子Q 6を有している。これらのスイッチング素子Q 1～Q 6は、例えばF E T (Field Effect Transistor: 電界効果トランジスタ) からなる。

【0024】

駆動部2には、後述するPWM信号生成部5から、各スイッチング素子Q 1～Q 6を個別にON・OFFさせるための6種類のPWM信号(図5)が与えられる。駆動部2に流れる電流、すなわちスイッチング素子Q 1～Q 6のON・OFFに基づいてモータ1に流れる電流は、電流検出抵抗31により検出される。電流検出抵抗31は、図4に示すよう

10

【0025】

なお、実際には、3相の電流のうちの2相の電流を電流検出抵抗31で検出し、それらの電流の実測値から残りの1相の電流の実測値を計算により求める。この場合、各相の実測電流値 I_u 、 I_v 、 I_w の間には、

$$I_u + I_v + I_w = 0$$

の関係が成立するので、例えば、V相の実測電流値 I_v は、次式から求めることができる。

20

$$I_v = -(I_u + I_w)$$

【0026】

電流検出部3で検出された各相の実測電流値 I_u 、 I_v 、 I_w は、3軸-2軸変換部12において、d軸実測電流値 I_{fb_d} とq軸実測電流値 I_{fb_q} に変換される。この変換は、次式に従って行われる。

【数1】

$$\begin{bmatrix} I_{fb_d} \\ I_{fb_q} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos\left(\theta - \frac{2}{3}\pi\right) & \cos\left(\theta + \frac{2}{3}\pi\right) \\ -\sin(\theta) & -\sin\left(\theta - \frac{2}{3}\pi\right) & -\sin\left(\theta + \frac{2}{3}\pi\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_u \\ I_v \\ I_w \end{bmatrix}$$

30

ここで θ は、モータ1の回転位置(回転角度)を検出する角度センサ50の出力に基づいて得られる電気角である(以下の式においても同様)。このようにして変換されたd軸実測電流値 I_{fb_d} およびq軸実測電流値 I_{fb_q} は、印加電圧生成部4に与えられるとともに、電流-電圧変換部9に与えられる。

【0027】

印加電圧生成部4には、図示しない外部の制御部(指令部)から、モータ1に流すべき電流の目標値を示す電流指令値が入力される。印加電圧生成部4は、その電流指令値と電流検出部3で検出される実測電流値の情報とを用いて、印加電圧値(モータ1へ印加する電圧の値) V_u 、 V_v 、 V_w を生成する。

40

【0028】

印加電圧生成部4について更に詳しく説明する。印加電圧生成部4は、D軸制御部41と、演算器42、43と、PI(比例積分)制御部44、45と、2軸-3軸変換部46とから構成される。演算器42は、トルクセンサ(図示省略)で検出された操舵トルクに応じたq軸電流指令値 I_{ref_q} と、3軸-2軸変換部12からのq軸実測電流値 I_{fb_q} との偏差を演算する。演算器43は、D軸制御部41により位相が調整されたd軸電流指令値 I_{ref_d} と、3軸-2軸変換部12からのd軸実測電流値 I_{fb_d} (実測値)との偏差を演算

50

する。

【0029】

演算器42の出力であるq軸電流指令値Iref_qとq軸実測電流値Ifb_qとの偏差は、PI制御部44へ与えられ、PI制御部44からは、この偏差に応じたq軸電圧V_qが出力される。また、演算器43の出力であるd軸電流指令値Iref_dとd軸実測電流値Ifb_dとの偏差は、PI制御部45へ与えられ、PI制御部45からは、この偏差に応じたd軸電圧V_dが出力される。

【0030】

2軸-3軸変換部46は、PI制御部44から入力されるq軸電圧V_qと、PI制御部45から入力されるd軸電圧V_dを、2軸-3軸変換により3相電圧に変換する。この変換により得られた3相の印加電圧値V_u, V_v, V_wは、PWM信号生成部5へ与えられるとともに、後述する異常検出手段6aへ与えられる。2軸-3軸変換部46での2軸-3軸変換は、次式に従って行われる。

【数2】

$$\begin{bmatrix} V_u \\ V_v \\ V_w \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix}$$

【0031】

PWM信号生成部5は、上記印加電圧値V_u, V_v, V_wに基づいて、駆動部2のスイッチング素子Q1~Q6(図5)をON・OFF制御するための所定のデューティを持った各相のPWM信号を生成し、駆動部2へ出力する。図4では、U相のスイッチング素子Q1, Q2の各PWM信号をPWM_u、V相のスイッチング素子Q3, Q4の各PWM信号をPWM_v、W相のスイッチング素子Q5, Q6の各PWM信号をPWM_wで表してある。

【0032】

駆動部2は、PWM信号生成部5から与えられるPWM信号に基づくスイッチング素子Q1~Q6のON・OFF動作により、3相の駆動電圧を生成してこれをモータ1へ出力し、モータ1を駆動する。

【0033】

異常検出手段6aにおいて、印加電圧値記憶部7と補正電圧値生成部8は、印加電圧生成部4で生成された印加電圧値V_u, V_v, V_wに対して補正処理を行い、補正された各相の補正電圧値を生成する。この補正の詳細については後述する。

【0034】

補正電圧値生成部8で生成された各相の補正電圧値は、3軸-2軸変換部11へ与えられ、ここで3相から2相の補正電圧値V_d1, V_q1に変換される(詳細は後述)。また、3軸-2軸変換部12から出力されるd軸実測電流値Ifb_dおよびq軸実測電流値Ifb_qは、電流-電圧変換部9でd軸実測電圧値V_d2およびq軸実測電圧値V_q2に変換される(詳細は後述)。そして、d軸異常判定部10dは、3軸-2軸変換部11からのd軸補正電圧値V_d1と、電流-電圧変換部9からのd軸実測電圧値V_d2との差を求め、その差があらかじめ設定された閾値以上であれば異常と判定し、閾値未満であれば正常と判定する。また、q軸異常判定部10qは、3軸-2軸変換部11からのq軸補正電圧値V_q1と、電流-電圧変換部9からのq軸実測電圧値V_q2との差を求め、その差があらかじめ設定された閾値以上であれば異常と判定し、閾値未満であれば正常と判定する。

【0035】

次に、印加電圧値の補正について説明する。図6は、3相のうちの1相のある期間における電流・電圧の様子を示した図である。実線のカーブは、電流検出部3で検出されたある相の実測電流値（図4の I_u 、 I_v 、 I_w のいずれか）を表している。なお、電流検出は後述する電流検出タイミング t_1 、 t_2 、 t_3 、…毎に行われ、各タイミング（サンプリング点）での電流値が離散的な値として検出される。図6の実線のカーブは、電流検出タイミング毎に検出された点としての電流値同士を結び、連続的な線としたものである。破線のカーブは、実測電流値から演算により求められるある相の実測電圧値を表している。つまり、破線のカーブは、実線のカーブで表されている電流値を電流－電圧変換して求めたものである。階段状の実線は、印加電圧生成部4からPWM信号生成部5へ与えられるある相の印加電圧値（図4の V_u 、 V_v 、 V_w のいずれか）を表している。

10

【0036】

t_1 、 t_2 、 t_3 、…は、電流検出部3で電流が検出されるタイミングを表している。 τ は、各タイミング t_1 、 t_2 、 t_3 、…で電流が検出されてから、印加電圧生成部4が印加電圧値を算出するまでに要する処理時間を表している。 T_1 は、前回の電流検出タイミングから今回の電流検出タイミングまでに要した時間、すなわち電流検出周期を表している。 T_2 は、電流が検出されてから、モータに実際に印加電圧が印加されるまでの時間を表している。

【0037】

タイミング t_1 で電流が検出されると、処理時間 τ を経て印加電圧値 V_1 が決定され、この時点からさらに一定時間遅れて、印加電圧 V_{m1} （ $=V_1$ ）が実際にモータに印加される。この間、タイミング t_2 において新たに電流が検出され、処理時間 τ を経て、印加電圧値 V_2 が決定される。そして、この時点からさらに一定時間遅れて、印加電圧 V_{m2} （ $=V_2$ ）が実際にモータに印加される。以下のタイミングにおいても、同様の動作が行われる。

20

【0038】

図6からわかるように、モータに与えられる印加電圧は階段状の波形であるのに対し、モータの実測電流から求められる実測電圧（破線）は連続的な波形となる。この実測電圧の波形は、実測電流値（実線のカーブ）から演算により求められたものであるが、これは印加電圧の階段状波形を平均化した $\sin$ 波形と合致するものである。このように、波形だけで見ると両者の波形は一致しないので、印加電圧値と実測電圧値との間には誤差が存在することになってしまう。例えば、タイミング t_3 においては、実測電圧値は V であるのに、印加電圧値は V_{m1} となり、両者の間に誤差 γ が生じることになってしまう。したがって、印加電圧値を補正せずに単純に V と V_{m1} とを比較すると、もし誤差 γ が閾値以上であれば、回路状態が正常であるにもかかわらず、誤って異常と判定してしまう結果となる。

30

【0039】

そこで、本発明では、上記のような誤判定を防止するために、印加電圧値の補正を行う。その詳細を図7を参照して説明する。図7の各波形は、図6のそれらと同じである。実測電圧（破線）は、上述したように $\sin$ 波形であるが、短い区間では直線で近似することができる。これにより、演算を簡略化する。図7において、 P は実測電圧波形と印加電圧波形との交点であり、線分 $x-y$ の midpoint である。タイミング t_2 から交点 P までの距離（時間）を a 、交点 P から次のタイミング t_3 までの距離（時間）を b とする。 V_o は、直線近似した実測電圧の曲線上に想定される補正電圧値である。タイミング t_3 における補正電圧値 V_o と印加電圧値 V_{m1} との差を B 、補正電圧値 V_o と印加電圧値 V_{m2} との差を A としたとき、 $A : B = a : b$ の関係が成立する。また、補正電圧値 V_o は次式により算出される。

40

【数 3】

$$V_o = \left(V_{m1} \times \frac{a}{a+b} + V_{m2} \times \frac{b}{a+b} \right) \div 2 \quad \cdots (1)$$

ここで、図 7 より

【数 4】

$$\left. \begin{aligned} a+b &= T_1 \\ a &= T_2 - T_1 / 2 \\ b &= T_1 - a = 3T_1 / 2 - T_2 \end{aligned} \right\} \quad \cdots (2)$$

10

の関係が成立する。そして、 T_1 は電流検出周期であって通常は一定値である。もし何らかの理由により、電流検出タイミングが周期的とならなかった場合には、前回の電流検出タイミングから今回の電流検出タイミングまでに要した時間を求めることで、 T_1 を求めることができる。また、 T_2 は電流検出から電圧印加までに要する時間であって一定値である。したがって、 T_1 および T_2 がともに一定値である通常の場合は、(1) 式における $a/(a+b)$ 、 $b/(a+b)$ は定数である。また、(1) 式と (2) 式から、補正電圧値 V_o は次のように表すことができる。

20

【数 5】

$$V_o = \left(V_{m1} \times \frac{T_2 - T_1 / 2}{T_1} + V_{m2} \times \frac{3T_1 / 2 - T_2}{T_1} \right) \div 2 \quad \cdots (3)$$

【0040】

30

こうして幾何学的に求められた補正電圧値 V_o は、前述したように、実測電圧の曲線上にあると想定される電圧値である。したがって、この補正電圧値 V_o は、本来、電流検出部 3 で検出された電流から求めた実測電圧値 V (図 6) と一致するはずである。そこで、実測電圧値 V と補正電圧値 V_o とを比較して両者の差を求めれば、その差は実質的に 0 となって閾値以上になることがないので、装置が正常な場合に異常と誤判定するのを回避することができる。また、装置に異常が発生した場合には、実測電圧値 V が変動して補正電圧値 V_o との間に差が生じるので、その差が閾値以上となることで異常を検出することができる。

【0041】

上記のような演算を行うにあたって、電流検出部 3 での電流検出タイミング t_1 、 t_2 、 t_3 、…ごとに、印加電圧生成部 4 で算出した印加電圧値 V_1 (V_{m1})、 V_2 (V_{m2})、 V_3 (V_{m3})、…が印加電圧値記憶部 7 に記憶される。そして、補正電圧生成部 8 は、現在のタイミングを例えば t_2 とした場合、当該タイミング t_2 から印加電圧生成部 4 が生成した印加電圧値 V_2 (V_{m2}) と、1 つ前のタイミング t_1 から印加電圧生成部 4 が生成して印加電圧値記憶部 7 に記憶されている印加電圧値 V_1 (V_{m1}) と、電流検出周期 T_1 と、タイミング t_2 で電流が検出されてからモータに V_2 (V_{m2}) の電圧が印加されるまでに要する時間 T_2 とに基づき、前記 (3) 式により、印加電圧値を補正した補正電圧値 V_o を各相について求める。

40

【0042】

なお、電流検出周期 T_1 と電流が検出されてからモータ 1 に電圧が印加されるまでに要

50

する時間 T_2 とは、印加電圧記憶部 7 に記憶させておいてもよく、別に設けた記憶部に記憶させておいてもよい。また、何らかの理由により、電流検出タイミングが周期的とならなかった場合は、電流検出タイミングの時刻を記憶するようにしてもよい。その場合、前回の電流検出タイミングから今回の電流検出タイミングまでに要した時間を、補正電圧値生成部 8 で求めるようにしてもよい。電流検出タイミングの時刻を記憶する場合も、印加電圧記憶部 7 に記憶させておいてもよく、別に設けた記憶部に記憶させておいてもよい。

【0043】

こうして求められた各相の補正電圧値 V_o は、図 4 の 3 軸 - 2 軸変換部 11 へ与えられる。3 軸 - 2 軸変換部 11 では、次式の演算処理により、3 相の補正電圧値を 2 相の補正電圧値に変換する。

10

【数 6】

$$\begin{pmatrix} V_{d1} \\ V_{q1} \end{pmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{pmatrix} \cos(\theta) & \cos\left(\theta - \frac{2}{3}\pi\right) & \cos\left(\theta + \frac{2}{3}\pi\right) \\ -\sin(\theta) & -\sin\left(\theta - \frac{2}{3}\pi\right) & -\sin\left(\theta + \frac{2}{3}\pi\right) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_o[u] \\ V_o[v] \\ V_o[w] \end{pmatrix}$$

… (4)

20

ここで、 V_{d1} は d 軸補正電圧値、 V_{q1} は q 軸補正電圧値、 $V_o[u]$ は U 相補正電圧値、 $V_o[v]$ は V 相補正電圧値、 $V_o[w]$ は W 相補正電圧値である。なお、d 軸補正電圧値 V_{d1} と q 軸補正電圧値 V_{q1} の信号は、いずれも直流電圧である。

【0044】

一方、電流 - 電圧変換部 9 では、3 軸 - 2 軸変換部 12 から与えられる d 軸実測電流値 I_{fb_d} および q 軸実測電流値 I_{fb_q} を、次式の演算処理により、d 軸実測電圧値 V_{d2} および q 軸実測電圧値 V_{q2} に変換する。これらの d 軸実測電圧値 V_{d2} と q 軸実測電圧値 V_{q2} の信号も、直流電圧である。

【数 7】

30

$$V_{d2} = \left(R + \frac{di}{dt} L_d \right) I_{fb_d} - \omega \cdot L_q \cdot I_{fb_q}$$

$$V_{q2} = \omega \cdot L_d \cdot I_{fb_d} + \left(R + \frac{di}{dt} L_q \right) I_{fb_q} + \omega \cdot K_e$$

… (5)

40

ここで、 R はモータ抵抗 $[\Omega]$ 、 L_d は d 軸インダクタンス $[H]$ 、 L_q は q 軸インダクタンス $[H]$ 、 ω はモータ電気角速度 $[rad/s]$ 、 K_e は誘起電圧定数 $[V/(rad/s)]$ である。

【0045】

3 軸 - 2 軸変換部 11 で得られた d 軸補正電圧値 V_{d1} と、電流 - 電圧変換部 9 で得られた d 軸実測電圧値 V_{d2} は、d 軸異常判定部 10d へ入力される。d 軸異常判定部 10d は、前記の通り d 軸補正電圧値 V_{d1} と d 軸実測電圧値 V_{d2} との差を演算し、その差が閾値以上であれば異常と判定し、閾値未満であれば正常と判定する。

【0046】

また、3 軸 - 2 軸変換部 11 で得られた q 軸補正電圧値 V_{q1} と、電流 - 電圧変換部 9

50

で得られた q 軸実測電圧値 V_{q2} は、 q 軸異常判定部10 q へ入力される。 q 軸異常判定部10 q は、前記の通り q 軸補正電圧値 V_{q1} と q 軸実測電圧値 V_{q2} との差を演算し、その差が閾値以上であれば異常と判定し、閾値未満であれば正常と判定する。

【0047】

ところで、前述したように、印加電圧値と実測電圧値との間には、波形の相違に起因する誤差が存在する。このため、印加電圧値 V_u 、 V_v 、 V_w を補正せずにそのまま3軸-2軸変換部11で2軸変換すると、図8(c)に示すように、 d 軸印加電圧値 V_{d1}' と d 軸実測電圧値 V_{d2} との間に誤差 δ_d が生じる。ここで、 d 軸印加電圧値 V_{d1}' は、図8(a)の印加電圧値(実線)に基づくものであり、 d 軸実測電圧値 V_{d2} は、(b)の検出電流値から算出される(a)の実測電圧値(破線)に基づくものである。先にも述べたが、上記誤差 δ_d は、図9(c)に示すように、印加電圧の周期が短くなる(モータの回転が速くなる)ほど大きくなる。

10

【0048】

同様に、 q 軸印加電圧値 V_{q1}' と q 軸実測電圧値 V_{q2} の間にも誤差 δ_q が生じる。ここで、 q 軸印加電圧値 V_{q1}' は、図8(a)の印加電圧値(実線)に基づくものであり、 q 軸実測電圧値 V_{q2} は、(b)の検出電流値から算出される(a)の実測電圧値(破線)に基づくものである。上記誤差 δ_q も、図9(c)に示すように、印加電圧の周期が短くなる(モータの回転が速くなる)ほど大きくなる。

【0049】

したがって、印加電圧値 V_u 、 V_v 、 V_w を補正しない場合、 d 軸異常判定部10 d は、 d 軸印加電圧値 V_{d1}' と d 軸実測電圧値 V_{d2} との差 δ_d が閾値を超えておれば、異常と誤判定してしまう。同様に、 q 軸異常判定部10 q も、 q 軸印加電圧値 V_{q1}' と q 軸実測電圧値 V_{q2} との差 δ_q が閾値を超えておれば、異常と誤判定してしまう。

20

【0050】

これに対し、本実施例の場合は、式(3)により各相の印加電圧値を補正した補正電圧値 V_o を算出し、この補正電圧値 V_o を用いて式(4)の3軸-2軸変換を行うことにより、 d 軸補正電圧値 V_{d1} および q 軸補正電圧値 V_{q1} を求める。そして、 d 軸異常判定部10 d において、 d 軸補正電圧値 V_{d1} と d 軸実測電圧値 V_{d2} とを比較すると、正常状態では両者の差はほぼ0であるから、差が閾値を超えて異常と誤判定されるおそれはない。同様に、 q 軸異常判定部10 q において、 q 軸補正電圧値 V_{q1} と q 軸実測電圧値 V_{q2} とを比較すると、正常状態では両者の差はほぼ0であるから、差が閾値を超えて異常と誤判定されるおそれはない。

30

【0051】

以上のように、本実施例によれば、補正電圧値生成部8において、電流検出周期 T_1 および電流検出から電圧印加までの時間 T_2 に基づいて、(3)式のように印加電圧値が補正されるので、補正電圧値と実測電圧値との間の誤差が小さくなる。このため、実測電圧値を補正電圧値と比較することによって、正常なのに異常と誤判定してしまうことがなくなり、異常の有無を正確に判定することができる。また、閾値を大きくしなくても正確な判定ができるので、高精度な異常検出が可能となる。

【0052】

40

また、本実施例では、2軸変換された補正電圧値 V_{d1} 、 V_{q1} と、2軸変換された実測電圧値 V_{d2} 、 V_{q2} とを比較している。このため、それぞれの電圧値が振幅と位相のみの情報を持ったデータとなり、 d 軸異常判定部10 d および q 軸異常判定部10 q における判定処理を簡略化することができる。

【0053】

本発明では、以上述べた以外にも種々の実施例を採用することができる。例えば、上記実施例では、 d 軸異常判定部10 d と q 軸異常判定部10 q において2軸変換した電圧同士を比較したが、前述した図3のように、異常判定部を、 U 相異常判定部10 u 、 V 相異常判定部10 v 、 W 相異常判定部10 w から構成し、各相の補正電圧値と各相の実測電圧値とを直接比較するようにしてもよい。

50

【0054】

また、上記実施例では、前記（3）式により補正電圧値 V_o を求めるにあたって、現在のタイミング t_2 での印加電圧値 V_2 （ V_{m2} ）は、印加電圧生成部4から取得し、1つ前のタイミング t_1 での印加電圧値 V_1 （ V_{m1} ）は、これを記憶している印加電圧値記憶部7から取得した。しかし、本発明はこれのみに限定されるものではなく、印加電圧値記憶部7に各タイミングでの印加電圧値を順次記憶し、隣接する2つのタイミングでの印加電圧値を印加電圧値記憶部7から取得して、補正電圧値 V_o を求めてもよい。

【0055】

また、上記実施例では、スイッチング素子 $Q_1 \sim Q_6$ としてFETを使用したか、IGBT（絶縁ゲート型バイポーラモードトランジスタ）のような他のスイッチング素子を使用してもよい。

10

【0056】

また、上記実施例では、モータ1として3相モータを例に挙げたが、本発明は、4相以上の多相モータを駆動する場合にも適用することができる。

【0057】

さらに、上記実施例では、モータ1としてブラシレスモータを例に挙げたが、本発明は、ブラシレスモータ以外のモータを駆動する装置にも適用することができる。

【符号の説明】

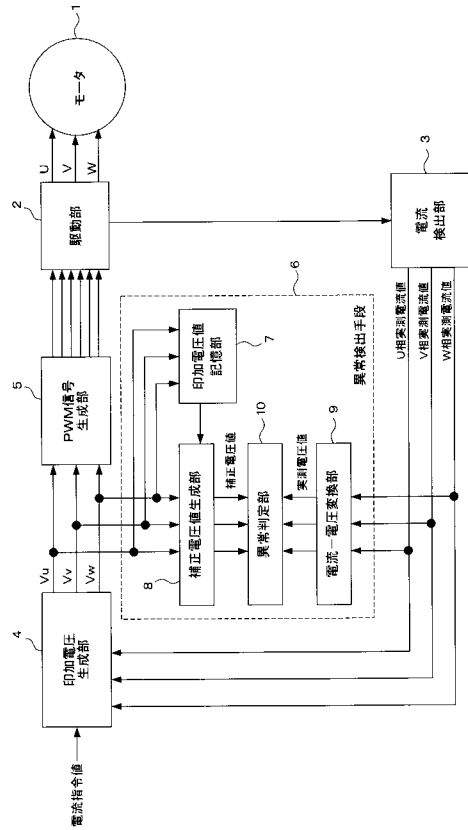
【0058】

- 1 モータ
- 2 駆動部
- 3 電流検出部
- 4 印加電圧生成部
- 5 PWM信号生成部
- 6, 6a, 6b 異常検出手段
- 7 印加電圧値記憶部
- 8 補正電圧値生成部
- 9 電流－電圧変換部
- 10 異常判定部
- 10d d軸異常判定部
- 10q q軸異常判定部
- 10u U相異常判定部
- 10v W相異常判定部
- 10w W相異常判定部
- 11, 12 3軸－2軸変換部
- 31 電流検出抵抗
- 32 電流検出回路

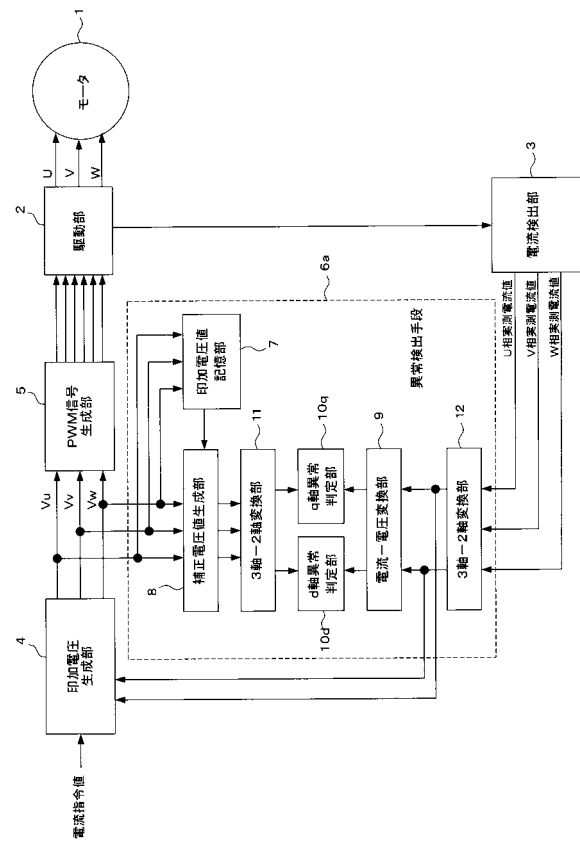
20

30

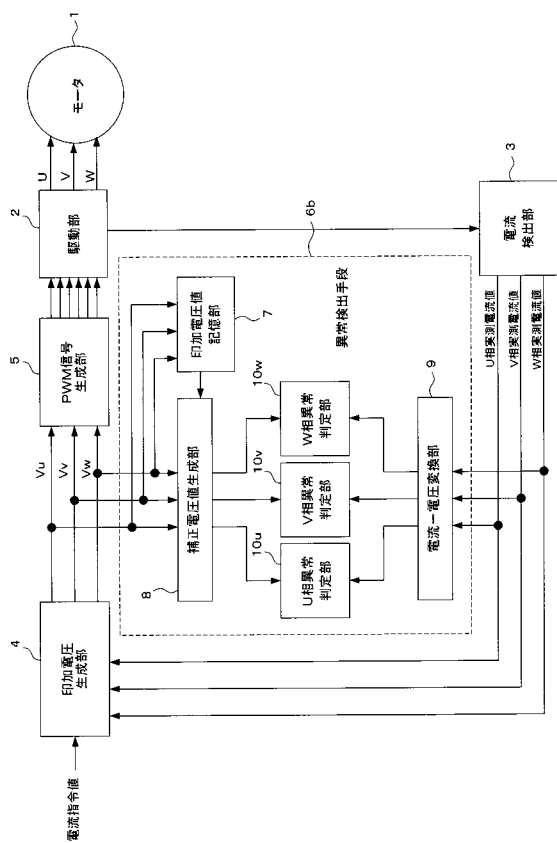
【図 1】



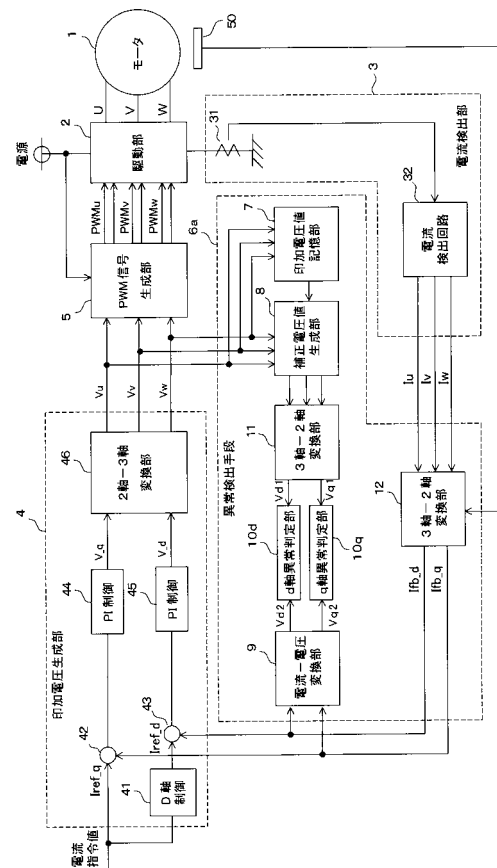
【図 2】



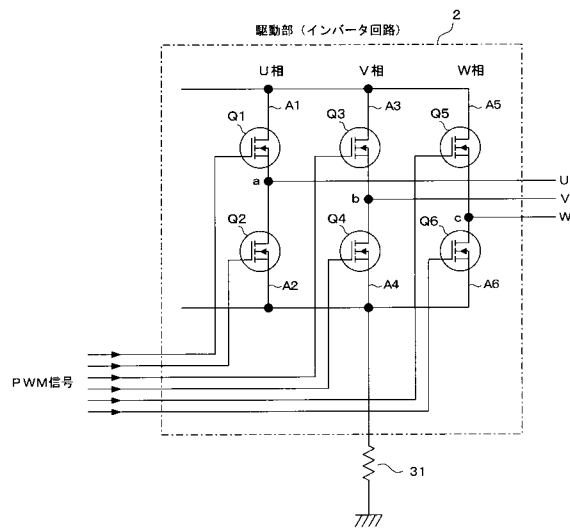
【図 3】



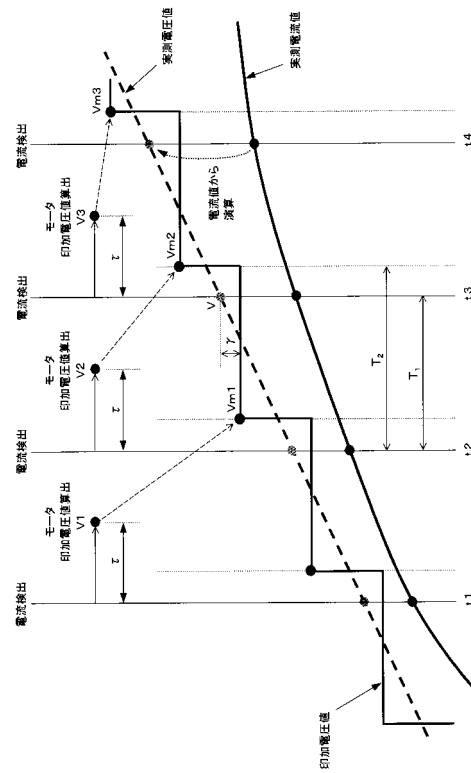
【図 4】



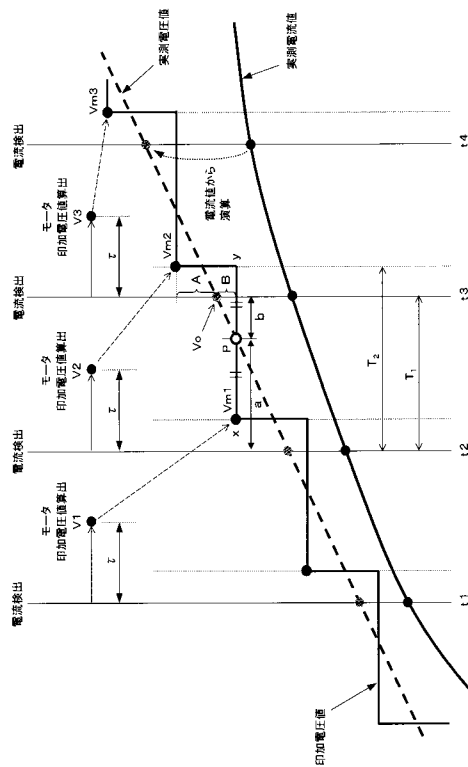
【図 5】



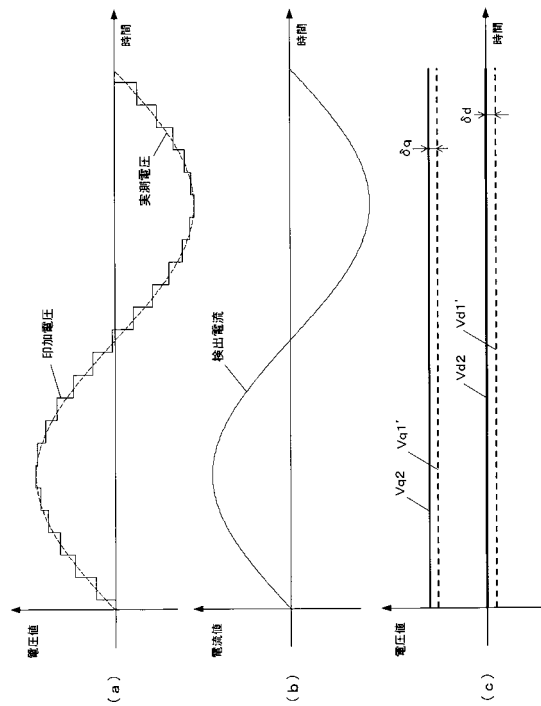
【図 6】



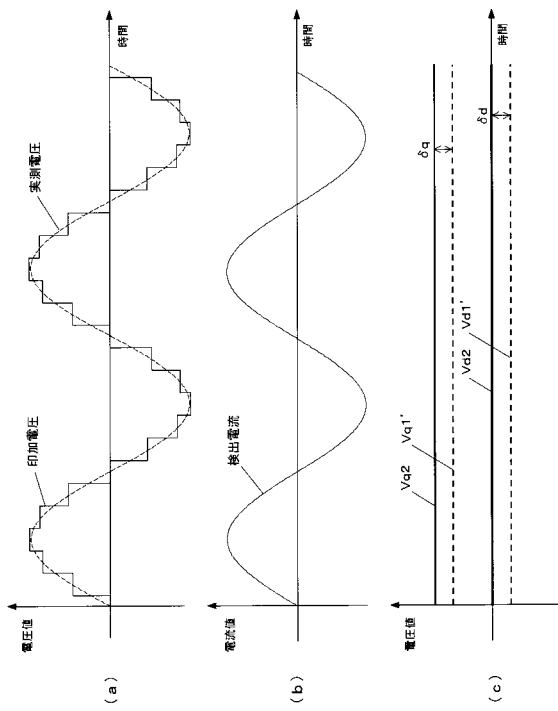
【図 7】



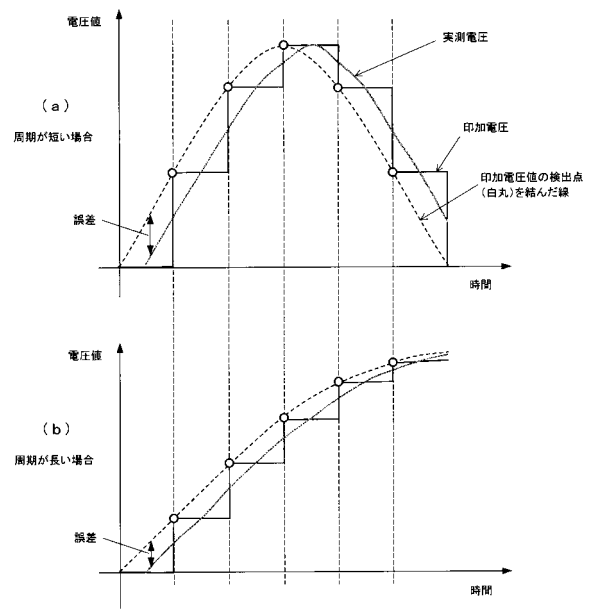
【図 8】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

審査官 高橋 祐介

- (56)参考文献 特許第3812739 (JP, B2)
特開2006-067731 (JP, A)
特開2007-244133 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H02P 27/06
H02P 21/00
H02P 27/04