

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4603340号  
(P4603340)

(45) 発行日 平成22年12月22日 (2010.12.22)

(24) 登録日 平成22年10月8日 (2010.10.8)

(51) Int.Cl. F 1  
H02P 27/06 (2006.01) H02P 7/63 303V

請求項の数 9 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2004-347099 (P2004-347099)	(73) 特許権者	000004260 株式会社デンソー
(22) 出願日	平成16年11月30日 (2004.11.30)		愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地
(65) 公開番号	特開2006-158126 (P2006-158126A)	(73) 特許権者	000003207 トヨタ自動車株式会社
(43) 公開日	平成18年6月15日 (2006.6.15)		愛知県豊田市トヨタ町1番地
審査請求日	平成19年2月28日 (2007.2.28)	(74) 代理人	100106149 弁理士 矢作 和行
		(72) 発明者	日高 研一郎 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会 社デンソー内
		(72) 発明者	筒井 敏雄 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会 社デンソー内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 モータ制御装置、および操舵装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数のスイッチング素子を備え、それをPWM制御することにより、複数の相の正弦波を生成するインバータと、

生成された前記正弦波をステータコイルに供給することにより、ステータコイルに回転磁界を発生させ、その回転磁界の作用によりロータが回転駆動されるモータとを備えているモータ制御装置であって、

前記インバータで生成される各相の前記正弦波を検出し、その検出結果に基づいて、各相の前記正弦波が一致するように算出された各相の補正量を記憶する記憶手段と、

その補正量に基づいて前記スイッチング素子をPWM制御するPWM信号を補正する補正手段とを備えており、

各相の前記正弦波が、前記正弦波とは異なる基準正弦波と一致するように算出される前記補正量とは、

各相の前記正弦波の極性が切換わるレベルからの前記正弦波の正極側ピーク値、および負極側ピーク値の絶対値が略同一とするように当該レベルをオフセットさせるためのオフセット値と、

前記正弦波の前記正極側ピーク値、および前記負極側ピーク値が、前記基準正弦波のそれぞれのピーク値に一致するように定められるゲインであり、

前記補正手段は、

前記PWM信号を前記ゲインによるゲイン補正を行い、ゲイン補正PWM信号を演算し

10

20

、その後、前記ゲイン補正PWM信号の極性が、ゲイン補正前の前記PWM信号の極性と異なるときは、前記ゲイン補正PWM信号の極性の異なる部分の値をゼロとするクランプ処理を行い、クランプ処理PWM信号を演算することを特徴とするモータ制御装置。

【請求項2】

複数のスイッチング素子を備え、それをPWM制御することにより、複数の相の正弦波を生成するインバータと、

生成された前記正弦波をステータコイルに供給することにより、ステータコイルに回転磁界を発生させ、その回転磁界的作用によりロータが回転駆動されるモータとを備えているモータ制御装置であって、

前記インバータで生成される各相の前記正弦波を検出し、その検出結果に基づいて、各相の前記正弦波が一致するように算出された各相の補正量を記憶する記憶手段と、

その補正量に基づいて前記スイッチング素子をPWM制御するPWM信号を補正する補正手段とを備えており、

各相の前記正弦波のうちの一相の前記正弦波を基準正弦波とし、他の相の前記正弦波が、前記基準正弦波と一致するように算出される前記補正量とは、

各相の前記正弦波の極性が切替わるレベルからの前記正弦波の正極側ピーク値、および負極側ピーク値の絶対値が略同一とするように当該レベルをオフセットさせるためのオフセット値と、

前記正弦波の前記正極側ピーク値、および前記負極側ピーク値が、前記基準正弦波のそれぞれのピーク値に一致するように定められるゲインであり、

前記補正手段は、

前記PWM信号を前記ゲインによるゲイン補正を行い、ゲイン補正PWM信号を演算し、その後、前記ゲイン補正PWM信号の極性が、ゲイン補正前の前記PWM信号の極性と異なるときは、前記ゲイン補正PWM信号の極性の異なる部分の値をゼロとするクランプ処理を行い、クランプ処理PWM信号を演算することを特徴とするモータ制御装置。

【請求項3】

前記補正量は、前記モータの前記ロータをロックした状態における前記正弦波に基づいて算出されることを特徴とする請求項1または請求項2に記載のモータ制御装置。

【請求項4】

前記補正量は、出荷前に一度だけ算出され、前記記憶手段に記憶されており、前記補正手段は、常にその補正量に基づきPWM信号を補正することを特徴とする請求項3に記載のモータ制御装置。

【請求項5】

前記補正量を算出する補正量算出手段を備え、前記補正量は、前記モータを起動する度に算出され、前記記憶手段に記憶され、前記補正手段は、前記補正量に基づきPWM信号を補正することを特徴とする請求項3に記載のモータ制御装置。

【請求項6】

前記補正手段は、前記クランプ処理PWM信号を演算した後、前記オフセット値によるオフセット補正を行い、オフセット補正PWM信号を演算することを特徴とする請求項1から請求項5のいずれか一項に記載のモータ制御装置。

【請求項7】

前記正弦波は、各相の端子に出力される電圧値であることを特徴とする請求項1から請求項6のいずれか一項に記載のモータ制御装置。

【請求項8】

前記正弦波は、各相の端子に出力される電流値であることを特徴とする請求項1から請求項6のいずれか一項に記載のモータ制御装置。

【請求項9】

操舵状態検出手段により検出された操舵状態に基づいて、モータを駆動させ、操舵ハン

10

20

30

40

50

ドルの操舵角と転舵輪の転舵角との間の伝達比を変化させる伝達比可変機構、または、操舵ハンドルの操舵力を補助する補助機構を作動させる操舵装置において、

前記モータは、請求項 1 から請求項 8 のいずれか一項に記載のモータ制御装置によって駆動されていることを特徴とする操舵装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、インバータ駆動されるモータのモータ制御装置、および操舵装置に関するものである。

【背景技術】

10

【0002】

インバータ駆動されるモータのデッドタイム補償制御に関する従来技術として、例えば、特許文献 1 に開示されるものがある。この特許文献 1 のモータ制御装置は、インバータを駆動する PWM 信号に対し、PWM 制御によって生じるデッドタイムの補償量を与えるものであって、トルク電流指令値に基づいて算出されるトルク量に応じてデッドタイム補償ゲインが算出され、この補償ゲインを上記補償量に乗じて、PWM 信号を補正する。これにより、インバータへ送出する PWM 信号を滑らかにすることが可能となり、モータの電流変動を抑制し、モータのトルク変動を抑制することが可能となる。

【0003】

それとは別に、操舵ハンドルの操舵角と転舵輪の転舵角との間の伝達比を変化させる伝達比可変機構を備えている操舵装置において、この伝達比可変機構をモータにて作動させている従来技術として、例えば、特許文献 2 に開示されるものがある。

20

【特許文献 1】特開 2002 - 10685 号公報

【特許文献 2】特開 2000 - 85610 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、インバータに設けられているスイッチング素子の電気的特性値にばらつきがあると、デッドタイム補償ゲインを定め、このゲインをデッドタイムの補償量に乗じて PWM 信号を補正したとしても、インバータが生成する各相の正弦波の波高や波形は、基準の正弦波のそれと一致せず、トルク電流にうねりが生じ、トルク変動が発生するという問題がある。

30

【0005】

このモータ制御装置を用いて、特許文献 2 に開示されているモータを駆動させると、上記理由によりモータにトルク変動が生じ、このトルク変動が操舵ハンドルに伝わり、運転者に違和感を与えるおそれがある。これは、操舵ハンドルの操舵力を補助する補助機構をモータによって作動させている、いわゆる、電動式パワーステアリングについても同様な症状が発生する可能性がある。

【0006】

本発明は、上述した課題を解決するためになされたものであり、その目的とするところは、トルク変動を抑制し得るモータ制御装置を提供することにある。

40

【0007】

また、本発明の別の目的は、モータのトルク変動に伴う操舵ハンドルの振動を抑制し得る操舵装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記目的を達成するために、請求項 1 または請求項 2 では、モータ制御装置は、複数のスイッチング素子を備え、それを PWM 制御することにより、複数の相の正弦波を生成するインバータと、生成された正弦波をステータコイルに供給することにより、ステータコイルに回転磁界を発生させ、その回転磁界の作用によりロータが回転駆動されるモータと

50

を備え、インバータで生成される各相の正弦波を検出し、その検出結果に基づいて、各相の正弦波が一致するように算出された各相の補正量を記憶する記憶手段と、その補正量に基づいてスイッチング素子をPWM制御するPWM信号を補正する補正手段とを備えていることを特徴としている。このような請求項1または請求項2に記載されている構成により、インバータが生成する各相の正弦波を互いに一致させることができるので、トルク電流のうねりが抑えられ、モータのトルク変動を抑制することができ、本発明の目的を達成することができる。

【0011】

請求項1では、補正量は、各相の正弦波が、各相の正弦波とは異なる基準正弦波と一致するように算出されることを特徴としている。これにより、所望のモータ出力を出しつつ、スイッチング素子の電気的特性値のバラツキに起因するトルク電流のうねりを抑えることができる。

【0012】

一方、請求項2では、補正量は、各相の正弦波のうちの一相の正弦波を基準正弦波とし、他の相の正弦波が、基準正弦波と一致するように算出されることを特徴としている。

【0013】

各相の正弦波のうちの一相の正弦波を基準正弦波として、残りの相の正弦波を補正することによっても、スイッチング素子の電気的特性値のバラツキに起因するトルク電流のうねりを抑えることができる。

【0014】

請求項1または請求項2では、補正量とは、各相の正弦波の極性が切替わるレベルからの正弦波の正極側ピーク値、および負極側ピーク値の絶対値が略同一とするように当該レベルをオフセットさせるためのオフセット値と、正弦波の正極側ピーク値、および負極側ピーク値が、基準正弦波のそれぞれのピーク値に一致するように定められるゲインであることを特徴としている。これにより、モータのトルクに最も影響を与えている各相の正弦波のピーク値に基づいて補正量としてのオフセット値とゲインとを求めているので、容易に、かつ効率的に各相の正弦波を基準正弦波の波形と一致させることができ、トルク電流のうねりを抑えることができる。また、インバータを有するモータ制御装置には、インバータの上下アームのトランジスタをスイッチング制御する際の短絡を防止する装置、いわゆるデッドタイム補償装置を有する形式のモータ制御装置がある。デッドタイム補償装置により補正された正弦波には、ゼロクロス点付近では、ゆがみが最も大きくなり、ピーク値付近では、ゆがみが最も小さくなるという特徴がある。請求項1または請求項2では、この補正による、正弦波のゆがみが最も小さいピーク値に基づいて、補正量としてのオフセット値とゲインを求めているので、デッドタイム補償装置を有しているモータ制御装置であっても、容易に、かつ効率的に各相の正弦波を基準正弦波の波形と一致させることができ、トルク電流のうねりを抑えることができる。

【0015】

さらに、請求項1または請求項2では、補正手段は、PWM信号に対してゲインによるゲイン補正を行い、ゲイン補正PWM信号を演算し、その後、ゲイン補正PWM信号の極性が、ゲイン補正前のPWM信号の極性と異なるときは、ゲイン補正PWM信号の極性の異なる部分の値をゼロとするクランプ処理を行い、クランプ処理PWM信号を演算することを特徴としている。所定のゲインでゲイン補正を行うとPWM信号の極性が切替わる付近で正極と負極が交互に変化する場合がある。例えば、負極 - 正極 - 負極 - 正極となる。このように極性が交互に変化すると、極性が切替わる度にモータに供給する電流の方向がその都度切替わり、トルク変動が発生してしまう可能性がある。これに対し、請求項1または請求項2によると、ゲイン補正後のゲイン補正PWM信号の極性が、補正前のPWM信号の極性と異なる部分の値をゼロにするクランプ処理を実行しているので、極性が切替わる付近で正極と負極が交互に変化することがなくなるので、極性の切替わり付近でのトルク変動の発生を抑えることができる。

【0017】

10

20

30

40

50

請求項3では、補正量は、モータのロータをロックした状態における正弦波に基づいて算出されることを特徴としている。

【0018】

モータには、ロータが回転することにより、ステータコイルに鎖交磁束とは90°進み位相の誘起電圧が発生する。ステータコイルに発生する誘起電圧によりインバータが生成する各相の正弦波の位相がずれるなどすることがある。これに対し、請求項3では、ロータの回転を止めた状態で、インバータが生成する各相の正弦波を検出し、補正量を求めているので、ステータコイルに発生する誘起電圧を考慮しなくてもよくなり、容易に補正量を求めることができる。

【0019】

請求項4では、補正量は、出荷前に一度だけ算出され、記憶手段に記憶されており、補正手段は、常にその補正量に基づきPWM信号を補正することを特徴としている。

【0020】

スイッチング素子の電気的特性値は、周囲の環境、例えば、温度などによって変化することが知られている。これに対し、請求項4では、モータ制御装置の出荷前に周囲の環境を比較的一定にすることが可能な工場などで補正量を算出するようにしている。これにより、補正量を正確に算出することができる。

【0021】

請求項5では、補正量を算出する補正量算出手段を備え、補正量は、モータを起動する度に算出され、記憶手段に記憶され、補正手段は、補正量に基づきPWM信号を補正することを特徴としている。これにより、スイッチング素子の電気的特性値の経年変化にも対応することができる。

【0025】

請求項6では、補正手段は、クランプ処理PWM信号を演算した後、オフセット値によるオフセット補正を行い、オフセット補正PWM信号を演算することを特徴としている。

【0026】

請求項1または請求項2では、クランプ処理を行う際には、ゲイン補正PWM信号の極性が切替わる場所、つまりゼロを判断基準としている。請求項6によると、クランプ処理を行った後、オフセット補正を行っているので、クランプ処理の判断基準を変えることなくPWM信号の補正を行うことができ、補正手段の処理ソフトが簡潔になる。

【0027】

請求項7では、正弦波は、各相の端子に出力される電圧値であることを特徴としている。一般的に、回路に流れる電気的な量を計測する場合、電圧値を計測する方が電流値を計測する場合よりも容易に計測が可能であることは知られている。請求項9では、インバータから各相の端子に出力される電気的な量を電圧値として取り出すようにしているため、正弦波を容易に測定することができる。

【0028】

請求項8では、正弦波は、各相に出力される電流値であることを特徴としている。インバータから各相に出力される電気的な量を電流値として取り出すようにしている。

【0031】

請求項9では、操舵状態検出手段により検出された操舵状態に基づいて、モータを駆動させ、操舵ハンドルの操舵角と転舵輪の転舵角との間の伝達比を変化させる伝達比可変機構、または、操舵ハンドルの操舵力を補助する補助機構を作動させる操舵装置において、モータは、請求項1から請求項8のいずれか一項に記載のモータ制御装置によって駆動されていることを特徴としている。

【0032】

これにより、操舵装置に設けられているモータのトルク変動が抑制されるので、このトルク変動による操舵ハンドルの振動を抑制することができ、運転者の操舵フィーリングを向上させることができ、本発明の別の目的を達成することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

10

20

30

40

50

## 【 0 0 3 3 】

以下、本発明のモータ制御装置、および、操舵装置の実施形態について図を参照して説明する。なお、以下の実施形態では、本発明の操舵装置として、自動車等の車両に備えられた操舵装置を例に挙げて説明する。

## 【 0 0 3 4 】

(第1の実施形態)

本発明の第1の実施形態を図に基づいて説明する。図1は、操舵装置の構成を示すブロック図である。図2は、操舵装置に適用される電動モータ(以下、モータと呼ぶ)のモータ制御装置の構成を示すブロック図である。なお、本実施形態では、操舵装置として、特に、車速に応じて、操舵ハンドルの操舵角と転舵輪の転舵角との間の回転伝達比を変化させる伝達比可変機構を備えている操舵装置について説明する。この操舵装置により、例えば、停車時や低速走行時には、操舵ハンドルの操舵角に対して転舵輪の転舵角が大きくなるように伝達比可変機構の回転伝達比を制御して、運転者の操舵ハンドルの操作量を軽減し、反対に、高速走行時には、操舵角に対して転舵角が小さくなるように回転伝達比を制御して、車両を安定して走行させることができる。

10

## 【 0 0 3 5 】

図1に示すように、操舵装置1は、操舵ハンドル2の回転力を転舵輪10に伝達し、転舵輪10を転舵させる機械的構成と、機械的構成の一部を電氣的に制御する電氣的構成とから構成されている。機械的構成は、主に、操舵ハンドル2、入力軸3、伝達比可変機構4、出力軸7、ギヤ装置8、および転舵輪10から構成され、電氣的構成は、主に、操舵角センサ11、回転角センサ12、車速センサ13、およびコンピュータ(以下、ECUと呼ぶ)14から構成されている。

20

## 【 0 0 3 6 】

操舵ハンドル2には、入力軸3の一端が接続され、この入力軸3の他端には、伝達比可変機構4の入力側が接続されている。一方、この伝達比可変機構4に出力側には、出力軸7の一端が接続され、出力軸7の他端には、ラックアンドピニオン式のギヤ装置8の入力側が接続されている。ギヤ装置8の出力側には、ラック軸9が接続されており、このラック軸9の両側には、タイロッド(図示せず)を介して、転舵輪10が接続されている。

## 【 0 0 3 7 】

伝達比可変機構4は、モータ5、および、例えば遊星歯車機構からなる減速機6から構成されており、減速機6をモータ5で駆動することにより、入力軸3 - 出力軸7間の回転伝達比Gを変化させ、入力軸3の回転角の変化量に対して出力軸7の回転角の変化量を可変とすることができる機構となっている。

30

## 【 0 0 3 8 】

本実施形態では、モータ5として、ロータに永久磁石を有し、ステータに3相分のステータコイルを有する、3相ブラシレスモータを例に説明する。伝達比可変機構4に使用するモータ5としては、3相ブラシレスモータに限る必要はなく、3相誘導モータでもよいし、3相以上の多相モータ(例えば、6相モータ、8相モータ等)であってもよい。

## 【 0 0 3 9 】

図1に示すように、操舵角センサ11は、入力軸3に設けられ、入力軸3の回転角、すなわち、操舵ハンドル2の操舵角  $h$  を検出し、この操舵角信号をECU14に送信する。回転角センサ12は、モータ5のロータに設けられ、このロータの回転角  $m$  (電気角) を検出し、この回転角信号をECU14に送信する。ECU14は、この回転角  $m$  および回転伝達比Gから出力軸7の回転角、すなわち出力角  $p$  および転舵輪10の転舵角を演算する。車速センサ13は、車両の速度Vを検出し、この車速信号をECU14に送信する。

40

## 【 0 0 4 0 】

ECU14は、車速Vより伝達比可変機構4の回転伝達比Gを演算し、その回転伝達比Gと操舵角  $h$  の変化量とにより、出力角  $p$  の変化量を演算する。そして、ECU14は、出力角  $p$  が演算した変化量となるように、現在のロータの回転角  $m$  と現在の出力

50

角  $p$  との偏差より、ロータの目標回転角  $m_m$  を演算し、この目標回転角  $m_m$  に基づきモータ電圧指令値  $V_{q^*}$  を決定する。そして、ECU 14 は、モータ制御装置としての機能も有しており、その指令値  $V_{q^*}$  に応じた 3 相分の請求項に記載の正弦波に相当するモータ電流 ( $I_u$ 、 $I_v$ 、 $I_w$ ) を生成し、モータ 5 のステータコイルに供給する。

【0041】

このようにして操舵装置 1 は、例えば、停車時や低速走行時には、モータ 5 を制御することにより伝達比可変機構 4 の回転伝達比  $G$  を変化させ、操舵角  $h$  に対して転舵輪 10 の転舵角が大きくなるようにして、運転者の操舵ハンドル 2 の操作量を軽減し、反対に、高速走行時には、モータ 5 を制御することにより伝達比可変機構 4 の回転伝達比  $G$  を変化させ、操舵角  $h$  に対して転舵角が小さくなるようにして、車両を安定して走行させることができる。

10

【0042】

次に、操舵装置 1 のモータ 5 の駆動制御を行うモータ制御装置に相当する ECU 14 について詳細に説明する。

【0043】

ECU 14 は、PWM 信号演算部 20 とインバータ 30 とから構成されている。PWM 信号演算部 20 は、外部から入力される操舵角  $h$ 、ロータの回転角  $m$ 、および車速  $V$  より、各相のオフセット補正 PWM 信号 ( $U\_PWM3$ 、 $V\_PWM3$ 、 $W\_PWM3$ ) を演算し、インバータ 30 に供給する。インバータ 30 は、PWM 回路 31 とスイッチング回路 32 とから構成されており、オフセット補正 PWM 信号 ( $U\_PWM3$ 、 $V\_PWM3$ 、 $W\_PWM3$ ) に基づき 3 相のモータ電流 ( $I_u$ 、 $I_v$ 、 $I_w$ ) を生成し、モータ 5 のステータコイルに供給する。

20

【0044】

PWM 回路 31 は、PWM 信号演算部 20 で演算された各相のオフセット補正 PWM 信号 ( $U\_PWM3$ 、 $V\_PWM3$ 、 $W\_PWM3$ ) に基づき、スイッチング回路 32 をオンオフし得る駆動信号 ( $U_H$ 、 $V_H$ 、 $W_H$ 、 $U_L$ 、 $V_L$ 、 $W_L$ ) を生成するパルス変調回路であり、これらの駆動信号をスイッチング回路 32 に供給する。

【0045】

図 2 に示すように、スイッチング回路 32 は、U、V、W の各相について 2 個ずつ、合計 6 個のスイッチング素子、例えば MOSFET ( $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$ 、 $T_4$ 、 $T_5$ 、 $T_6$ ) から構成され、駆動信号 ( $U_H$ 、 $V_H$ 、 $W_H$ 、 $U_L$ 、 $V_L$ 、 $W_L$ ) に基づき各 MOSFET ( $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$ 、 $T_4$ 、 $T_5$ 、 $T_6$ ) をオンオフ制御し、U、V、W の各相のモータ電流 ( $I_u$ 、 $I_v$ 、 $I_w$ ) を生成する。また、スイッチング素子として、IGBT を使用してもよい。

30

【0046】

図 2 に示すように、PWM 信号演算部 20 は、電圧指令部 21、2 相 3 相変換部 22、デッドタイム補償部 23、請求項に記載の補正手段に相当する MOS 補正部 24、および請求項に記載の記憶手段に相当する補正量記憶部 25 から構成されている。

【0047】

電圧指令部 21 は、ECU 14 外部から入力される操舵角  $h$ 、ロータの回転角  $m$ 、および車速  $V$  に基づいてロータの回転角  $m$  を目標回転角  $m_m$  とするためのモータ電圧指令値  $V_{q^*}$  を演算する。そして、この指令値  $V_{q^*}$  は、2 相 3 相変換部 22 に出力される。この指令値  $V_{q^*}$  は、 $q$  軸の電圧指令値となっている。

40

【0048】

2 相 3 相変換部 22 は、モータ電圧指令値  $V_{q^*}$  を、モータ 5 の回転角  $m$  に基づいて、いわゆる  $dq$  逆変換 (3 相変換) し、各相の電圧指令値 ( $V_{u^*}$ 、 $V_{v^*}$ 、 $V_{w^*}$ ) を演算する。2 相 3 相変換部 22 により逆変換された各相の電圧指令値 ( $V_{u^*}$ 、 $V_{v^*}$ 、 $V_{w^*}$ ) は、U 相電圧指令値  $V_{u^*}$ 、V 相電圧指令値  $V_{v^*}$ 、W 相電圧指令値  $V_{w^*}$  としてデッドタイム補償部 23 に出力される。

【0049】

50

一般的に、PWM制御を行うインバータ30では、各相の上下アームのMOSFET (T1とT4、T3とT6、T5とT2)が同時にオンとなり、短絡することを防止するために、各相の上下アームのMOSFET (T1とT4、T3とT6、T5とT2)の駆動信号が共にオフとなる時間、いわゆるデッドタイムが設けられている。駆動信号にデッドタイムを設けることにより、上下アームのMOSFET (T1とT4、T3とT6、T5とT2)が短絡することは防止できるが、トルク脈動が発生するので、これを防止するための補償制御、いわゆるデッドタイム補償制御が行われている。

【0050】

デッドタイム補償部23は、デッドタイムによる電流が流れ難い領域の各相の電圧指令値 ( $V_u^*$ 、 $V_v^*$ 、 $V_w^*$ )を補正し、その補正後の電圧指令値を、所定の演算式により、デューティ比(%)に変換し、基本PWM信号 ( $U\_PWM$ 、 $V\_PWM$ 、 $W\_PWM$ )を演算する。そして、デューティ比変換された基本PWM信号 ( $U\_PWM$ 、 $V\_PWM$ 、 $W\_PWM$ )は、MOS補正部24に出力される。

10

【0051】

インバータ30を構成するそれぞれのMOSFET (T1、T2、T3、T4、T5、T6)には、電気的特性値にバラツキがある。この電気的特性値とは、例えば、MOSFETの閾値電圧 $V_{th}$ 、もしくは、MOSFET内部の容量C(寄生容量)である。この電気的特性値にバラツキがあると、所定のPWM信号でインバータ30をPWM駆動させても、MOSFETの駆動時間が所定のPWM信号に応じた駆動時間とならない問題が生じ、生成される各相のモータ電流 ( $I_u$ 、 $I_v$ 、 $I_w$ )の波形がばらついてしまう。結果、トルク電流 $I_q$ にうねりが生じ、モータ5にトルク変動が生じることとなる。

20

【0052】

デッドタイム補償部23には、MOS補正部24が接続され、そのMOS補正部24には、補正量記憶部25が接続されている。MOS補正部24は、デッドタイム補償部23から入力される基本PWM信号 ( $U\_PWM$ 、 $V\_PWM$ 、 $W\_PWM$ )を補正量記憶部25に記憶されている補正量に基づいて補正し、その結果をインバータ30に出力する機能を有する。

【0053】

補正量記憶部25には、上記補正量として、予め、請求項に記載の基準正弦波に相当する基準モータ電流と各相のモータ電流 ( $I_u$ 、 $I_v$ 、 $I_w$ )とを比較して求められるゲイン ( $DGA\_U$ 、 $DGA\_V$ 、 $DGA\_W$ )と、モータ電流の極性が切換わるレベルからの正極側、負極側のピーク値の絶対値がそれぞれ一致するように、このレベルをオフセットさせるためのオフセット値 ( $DOA\_U$ 、 $DOA\_V$ 、 $DOA\_W$ )が記憶されている。ここで説明する基準モータ電流とは、所定のモータ出力を発生させるために必要なモータ電流である。なお、このゲインと、オフセット値を演算する方法については、後ほど詳細に説明する。

30

【0054】

MOS補正部24は、ゲイン補正部26と、オフセット補正部27とから構成されている。ゲイン補正部26では、上記ゲイン ( $DGA\_U$ 、 $DGA\_V$ 、 $DGA\_W$ )により、基本PWM信号 ( $U\_PWM$ 、 $V\_PWM$ 、 $W\_PWM$ )をゲイン補正し、ゲイン補正PWM信号 ( $U\_PWM1$ 、 $V\_PWM1$ 、 $W\_PWM1$ )を演算する。その後、ゲイン補正PWM信号 ( $U\_PWM1$ 、 $V\_PWM1$ 、 $W\_PWM1$ )について、クランプ処理を行い、クランプ処理PWM信号 ( $U\_PWM2$ 、 $V\_PWM2$ 、 $W\_PWM2$ )を演算する。

40

【0055】

オフセット補正部27では、上記オフセット値 ( $DOA\_U$ 、 $DOA\_V$ 、 $DOA\_W$ )により、そのクランプ処理PWM信号 ( $U\_PWM2$ 、 $V\_PWM2$ 、 $W\_PWM2$ )をオフセット補正し、オフセット補正PWM信号 ( $U\_PWM3$ 、 $V\_PWM3$ 、 $W\_PWM3$ )を演算する。そして、演算されたオフセット補正PWM信号 ( $U\_PWM3$ 、 $V\_PWM3$ 、 $W\_PWM3$ )は、PWM回路31に出力される。なお、ゲイン補正、クラ

50



ンプ処理、およびオフセット補正の演算方法については、後ほど詳細に説明する。

【0056】

本実施形態では、ECU14に基本PWM信号(U\_PWM、V\_PWM、W\_PWM)を補正するMOS補正部24を設けたので、MOSFET(T1、T2、T3、T4、T5、T6)の電気的特性値のバラツキに起因する各相のモータ電流(I<sub>u</sub>、I<sub>v</sub>、I<sub>w</sub>)のバラツキを解消することができる。

【0057】

このようにMOS補正部24内のゲイン補正部26にて、基本PWM信号(U\_PWM、V\_PWM、W\_PWM)をゲイン補正、およびクランプ処理し、クランプ処理補正PWM信号(U\_PWM2、V\_PWM2、W\_PWM2)を演算する。次に、MOS補正部24内のオフセット補正部27にて、クランプ処理PWM信号(U\_PWM2、V\_PWM2、W\_PWM2)をオフセット補正し、オフセット補正PWM信号(U\_PWM3、V\_PWM3、W\_PWM3)を演算し、インバータ30を構成するMOSFET(T1、T2、T3、T4、T5、T6)の電気的特性値のバラツキを補正することができる。

10

【0058】

その結果、各相のモータ電流(I<sub>u</sub>、I<sub>v</sub>、I<sub>w</sub>)を基準モータ電流と一致させ、かつ、各相のモータ電流(I<sub>u</sub>、I<sub>v</sub>、I<sub>w</sub>)の波形が互いに一致させることができるので、所定のモータ出力を得つつ、トルク電流I<sub>q</sub>のうねりが抑えられ、トルク変動を抑制することができる。なお、ここでは基準正弦波を電流波形として説明しているが、この波形は、電圧波形であってもよい。

20

【0059】

また、基準モータ電流を、各相のモータ電流(I<sub>u</sub>、I<sub>v</sub>、I<sub>w</sub>)のうち、ある一つのモータ電流(例えば、I<sub>u</sub>)として定め、残りの相のモータ電流(例えば、I<sub>v</sub>、I<sub>w</sub>)を定められたモータ電流に一致するように、ゲイン(DGA<sub>U</sub>、DGA<sub>V</sub>、DGA<sub>W</sub>)、およびオフセット値(DOA<sub>U</sub>、DOA<sub>V</sub>、DOA<sub>W</sub>)を演算して、MOS補正部24で基本PWM信号(U\_PWM、V\_PWM、W\_PWM)を補正するようにしてもよい。なお、この場合は、所望のモータ出力が得られない可能性があるため、モータ出力を調整する電圧調整器などを取り付ける必要がある。

【0060】

本実施形態のモータ制御装置を操舵装置1に適用することで、モータ5のトルク変動による操舵ハンドル2の振動を抑制することができ、運転者の操舵フィーリングを向上させることができる。

30

【0061】

また、このモータ制御装置を伝達比可変機構4の回転伝達比Gを変化させる操舵装置1に替えて、モータ5が発生するトルクを操舵ハンドル2の操舵力を補助する補助機構を作動させるために使用する、いわゆる電動式パワーステアリング装置に適用してもよい。

【0062】

次に、ゲイン補正部26およびオフセット補正部27におけるゲイン補正、クランプ処理、オフセット補正の手順を図2から図4に基づいて説明する。なお、ここでは、U相のみのPWM信号について説明する。図3は、MOS補正部24にて補正したPWM信号でインバータ30をPWM駆動させた場合の各相のモータ電流(I<sub>u</sub>、I<sub>v</sub>、I<sub>w</sub>)とトルク電流I<sub>q</sub>とを示す図であり、図4は、MOS補正部24でPWM信号を補正せずにインバータ30をPWM駆動させた場合の各相のモータ電流(I<sub>u</sub>、I<sub>v</sub>、I<sub>w</sub>)とトルク電流I<sub>q</sub>とを示す図である。

40

【0063】

ゲイン補正部26では、最初に、ゲインDGA<sub>U</sub>に基づきゲイン補正が行われ、ゲイン補正PWM信号U\_PWM1が演算され、次に、クランプ処理が行われ、クランプ処理PWM信号U\_PWM2が演算される。ゲイン補正とは、インバータ30が生成するモータ電流I<sub>u</sub>の波高を基準モータ電流の波高と一致させるための補正である。クランプ処理

50

とは、ゲイン補正を行ったゲイン補正PWM信号U\_PWM1の極性とゲイン補正を行う前の基本PWM信号U\_PWMの極性とを一致させるための処理である。

【0064】

(基本PWM信号U\_PWM > 0の場合)

デッドタイム補償部23から入力される基本PWM信号U\_PWMが、U\_PWM > 0を満たす場合、最初に、式(1)に基づきゲイン補正が行われる。

$$U\_PWM1 = U\_PWM + DGA\_U \quad \dots (1)$$

次に、この結果を受け、式(2)、式(3)に基づきクランプ処理が行われる。

10

$$U\_PWM2 = 0 \quad (U\_PWM1 < 0 \text{の時}) \quad \dots (2)$$

$$U\_PWM2 = U\_PWM1 \quad (U\_PWM1 \geq 0 \text{の時}) \quad \dots (3)$$

このようにクランプ処理を行うことにより、次のような現象を防止することが可能となる。例えば、ゲインDGA\_Uが負の場合、基本PWM信号の極性が正の領域であるにもかかわらず、式(1)にてゲイン補正を行うと、U\_PWM < DGA\_Uの場合は、ゲイン補正PWM信号の極性が負となる可能性がある。

【0065】

このように、ゲイン補正PWM信号の極性が、基本PWM信号の極性と異なると、モータ電流の方向が指令の電流方向と逆になりトルク変動を発生させてしまう。そこで、このクランプ処理を行うことにより、ゲイン補正PWM信号の極性を基本PWM信号の極性と同じにすることができるので、上記問題を解決することができる。

20

【0066】

(基本PWM信号U\_PWM = 0の場合)

デッドタイム補償部23から入力される基本PWM信号U\_PWMが、U\_PWM = 0を満たす場合、最初に、式(4)に基づきゲイン補正が行われ、次に、式(5)に基づきクランプ処理が行われる。

$$U\_PWM1 = U\_PWM \quad \dots (4)$$

$$U\_PWM2 = U\_PWM1 \quad \dots (5)$$

30

(基本PWM信号U\_PWM < 0の場合)

デッドタイム補償部23から入力される基本PWM信号U\_PWMが、U\_PWM < 0を満たす場合、最初に、式(6)に基づきゲイン補正が行われる。

$$U\_PWM1 = U\_PWM - DGA\_U \quad \dots (6)$$

次に、この結果を受け、式(7)、式(8)に基づきクランプ処理が行われる。

40

$$U\_PWM2 = 0 \quad (U\_PWM1 > 0 \text{の時}) \quad \dots (7)$$

$$U\_PWM2 = U\_PWM1 \quad (U\_PWM1 \leq 0 \text{の時}) \quad \dots (8)$$

このようにクランプ処理を行うことにより、基本PWM信号U\_PWM > 0の時と同様な問題を解決することができる。

【0067】

オフセット補正部27では、オフセット値DOA\_Uに基づき、ゲイン補正部26から入力されるクランプ処理PWM信号U\_PWM2のオフセット補正が行われ、オフセット補正PWM信号U\_PWM3が演算される。オフセット補正とは、モータ電流I\_uの極性が切替わるレベルからモータ電流I\_uの正極側のピーク値、負極側のピーク値までの絶対

50

値がそれぞれ一致するように、このレベルをオフセットさせるための処理である。オフセット補正は、式(9)に基づき行われる。オフセット補正し、演算されるオフセット補正PWM信号 $U\_PWM3$ は、PWM回路31に出力される。

$$U\_PWM3 = U\_PWM2 + PWM\_OFFSET + DOA\_U \quad \dots (9)$$

式(9)中の相補PWMオフセット値 $PWM\_OFFSET$ は、インバータ30を相補PWM制御する場合に加算されるものであり、数値は、デューティ比50%となっている。なお、インバータ30を相補PWM制御しない場合は、この相補PWMオフセット値 $PWM\_OFFSET$ を加算せずに $U\_PWM3$ を演算すればよい。

#### 【0068】

V相のゲイン補正PWM信号 $V\_PWM1$ 、クランプ処理PWM信号 $V\_PWM2$ 、およびオフセット補正PWM信号 $V\_PWM3$ と、W相のゲイン補正PWM信号 $W\_PWM1$ 、クランプ処理PWM信号 $W\_PWM2$ 、およびオフセット補正PWM信号 $W\_PWM3$ についても、上記式(1)から式(9)と同じ演算式を使用して演算することができる。

#### 【0069】

このようにMOS補正部24にて、基本PWM信号( $U\_PWM$ 、 $V\_PWM$ 、 $W\_PWM$ )を補正し、インバータ30をPWM駆動することにより、図3に示すように、各相のモータ電流( $I_u$ 、 $I_v$ 、 $I_w$ )の波形を互いに一致させることができ、結果、トルク電流 $I_q$ のうねりを抑えることができる。

#### 【0070】

本実施形態では、最初にゲイン補正部26にて、基本PWM信号 $U\_PWM$ を補正し、クランプ処理PWM信号 $U\_PWM2$ を演算し、次に、オフセット補正部27にて、クランプ処理PWM信号 $U\_PWM2$ を補正し、オフセット補正PWM信号 $U\_PWM3$ を演算するという手順で補正を行っている。

#### 【0071】

これにより、クランプ処理を行う際の判断基準をどの相(U、V、W)も極性が切替わる場所、つまりゼロとすることができるので、処理ソフトが煩雑になるのを防止でき、処理ソフトを簡潔にすることができる。

#### 【0072】

反対に、オフセット補正を行った後、ゲイン補正とクランプ処理を行うと、クランプ処理の際、上記判断基準が、各相のオフセット値を加味したものを使用することになり、クランプ処理の処理ソフトが煩雑になってしまう。

#### 【0073】

次に、補正量記憶部25に記憶される補正量であるゲイン( $DGA\_U$ 、 $DGA\_V$ 、 $DGA\_W$ )とオフセット値( $DOA\_U$ 、 $DOA\_V$ 、 $DOA\_W$ )を演算する方法について図5から図7に基づいて詳しく説明する。図5は、補正量演算装置の構成を示すブロック図である。図6は、U相の電圧波形とオフセット値との関係を示す図であり、図7は、U相電圧波形と基準電圧波形との関係を示す図である。なお、ここでは、U相のみの補正量を演算する方法について説明する。

#### 【0074】

図5に示すように、補正量記憶部25に記憶される補正量(ゲイン、オフセット値)を演算する補正量演算装置40は、インバータ30で生成される各相の正弦波を電圧波形として測定する電圧測定器41、および補正量演算部42から構成され、電圧波形に基づいて補正量が演算される。

#### 【0075】

また、各相の正弦波を電流波形として計測し、補正量を補正量演算部42で演算させてもよい。一般的に、電圧波形として計測する方が、電流波形として計測するよりも計測し易いので、本実施形態では、電圧波形を計測している。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 7 6 】

ゲイン  $DGA\_U$ 、およびオフセット値  $DOA\_U$  を演算するには、モータ 5 のロータの回転を止めた状態で行われる。ロータの回転を止めていないと、ステータコイルに鎖交磁束とは  $90^\circ$  進み位相の誘起電圧が発生し、インバータ 30 が生成する各相の電圧波形の位相がずれてしまうためである。ロータの回転を止めて補正量を演算するようにすれば、ステータコイルに発生する誘起電圧を考慮しなくてもよくなり、容易に補正量を求めることができる。

## 【 0 0 7 7 】

補正量演算装置 40 は、モータ 5 を出荷する前に、例えば工場内の製造ライン上で、インバータ 30 とモータ 5 との間の配線に接続され、補正量を演算する。演算された補正量は、補正量記憶部 25 にデータが書き込み可能な装置によって、ECU 14 内の補正量記憶部 25 に記憶される。本実施形態では、工場内の製造ライン上で補正量を演算しているので、周囲の環境、例えば、温度条件を一定にすることが容易となり、正確にゲイン、オフセット値を演算することが可能となる。これは、温度条件によって MOSFET (T1、T2、T3、T4、T5、T6) の電気的特性値が変化してしまうことを防止するためである。

## 【 0 0 7 8 】

また、補正量演算装置 40 は、工場内の製造ライン上に設ければよいので、モータ 5 一つ一つに補正量演算装置 40 が必要なくなり、ECU 14 が複雑になることが防止される。

## 【 0 0 7 9 】

最初に、オフセット値  $DOA\_U$  を演算する処理を図 6 に基づき説明する。ここでの処理は、測定される電圧波形のゼロクロス点（電圧の極性が変化する点）を含むレベルから正極側ピーク値までの値の絶対値と、該レベルから負極側ピーク値までの値の絶対値とが等しくなるように該レベルをオフセットさせるオフセット値  $DOA\_U$  を演算する（図 6 参照）。

## 【 0 0 8 0 】

次に、ゲイン  $DGA\_U$  を演算する処理を図 7 に基づき説明する。ここでの処理は、オフセット値  $DOA\_U$  で前記レベルをオフセットした後の電圧波形（破線）と、請求項に記載の基準正弦波に相当する基準電圧波形（実線）とを比較することでゲイン  $DGA\_U$  を演算する。ゲイン  $DGA\_U$  は、オフセット後の電圧波形の正極側ピーク値と、基準電圧波形の正極側ピーク値との偏差、もしくは、オフセット後の電圧波形の負極側ピーク値と、基準電圧波形の負極側ピーク値との偏差より演算される（図 7 参照）。

## 【 0 0 8 1 】

本実施形態では、ゲイン  $DGA\_U$ 、オフセット値  $DOA\_U$  を演算する処理を、モータ 5 のトルクに最も影響を与えている電圧波形の正極側または負極側ピーク値に基づいて演算しているので、容易に、かつ効率的に各相の電圧波形を基準の電圧波形と一致させることができ、トルク電流  $I_q$  のうねりを抑えることができる。

## 【 0 0 8 2 】

また、デッドタイム補償部 23 により補正された電圧波形には、ゼロクロス点付近では、ゆがみが最も大きくなり、ピーク値付近では、ゆがみが最も小さくなるという特徴がある。この点からも、この補償部 23 にて補正されたゆがみが比較的小さい正極側または負極側ピーク値に基づいて、補正量としてのオフセット値とゲインを求めているので、デッドタイム補償部 23 を有しているモータ制御装置であっても、容易に、かつ効率的に各相の電圧波形を基準電圧波形と一致させることができ、トルク電流  $I_q$  のうねりを抑えることができる。

## 【 0 0 8 3 】

この補正量演算装置 40 は、一つのモータ 5 の ECU 14 内に一つずつ設けてもよい。これにより、モータ 5 を起動する度に補正量を演算することができ、最新の補正量が補正量記憶部 25 に記憶されるので、MOSFET (T1、T2、T3、T4、T5、T6)

10

20

30

40

50

の電気的特性値の経年劣化に対応することができる。

【0084】

(第2の実施形態)

本発明の第2の実施形態を説明する。本実施形態では、インバータ30は、所定の範囲の電気的特性値を示すMOSFET(T1、T2、T3、T4、T5、T6)で構成されている。

【0085】

MOSFETの閾値電圧Vth、またはMOSFETの寄生容量Cの範囲が異なる複数のグループにMOSFET(T1、T2、T3、T4、T5、T6)を分け、同一グループ内のMOSFET(T1、T2、T3、T4、T5、T6)でインバータ30を構成する。これにより、インバータ30を構成するMOSFET(T1、T2、T3、T4、T5、T6)の電気的特性値のバラツキは抑えられ、このインバータ30が生成する各相のモータ電流(Iu、Iv、Iw)の波形同士が一致するので、トルク電流Iqのうねりを抑えることができ、モータ5のトルク変動を抑えることができる。

10

【0086】

なお、MOSFET(T1、T2、T3、T4、T5、T6)のグループ分けは、閾値電圧Vth、または寄生容量Cのいずれか一方の値で行う必要はなく、閾値電圧Vth、および寄生容量Cの両方の値を使ってグループ分けを行ってもよい。これにより、よりMOSFET(T1、T2、T3、T4、T5、T6)の電気的特性値のバラツキを抑えることができる。

20

【0087】

同様にMOSFETのゲート端子に接続されているゲート抵抗、コンデンサなどにおいても電気的特性値がそろったものを使用する。

【図面の簡単な説明】

【0088】

【図1】操舵装置の構成を示すブロック図である。

【図2】操舵装置に適用される電動モータのモータ制御装置の構成を示すブロック図である。

【図3】MOS補正部にて補正したPWM信号でインバータをPWM駆動させた場合の各相のモータ電流とトルク電流とを示す図である。

30

【図4】MOS補正部でPWM信号を補正せずにインバータをPWM駆動させた場合の各相のモータ電流とトルク電流とを示す図である。

【図5】補正量演算装置の構成を示すブロック図である。

【図6】U相の電圧波形とオフセット値との関係を示す図である。

【図7】U相電圧波形と基準電圧波形との関係を示す図である。

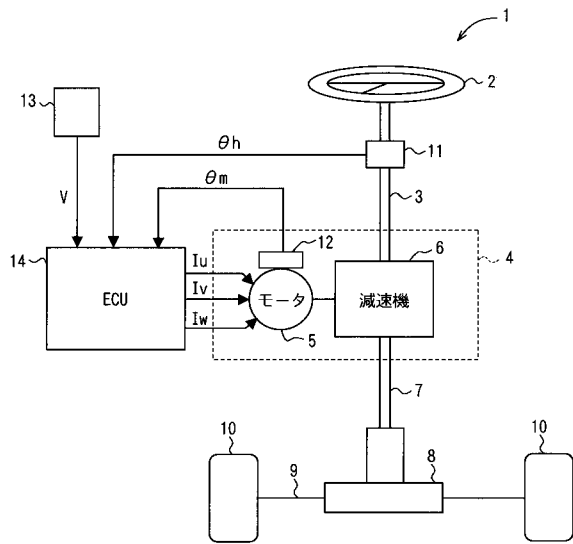
【符号の説明】

【0089】

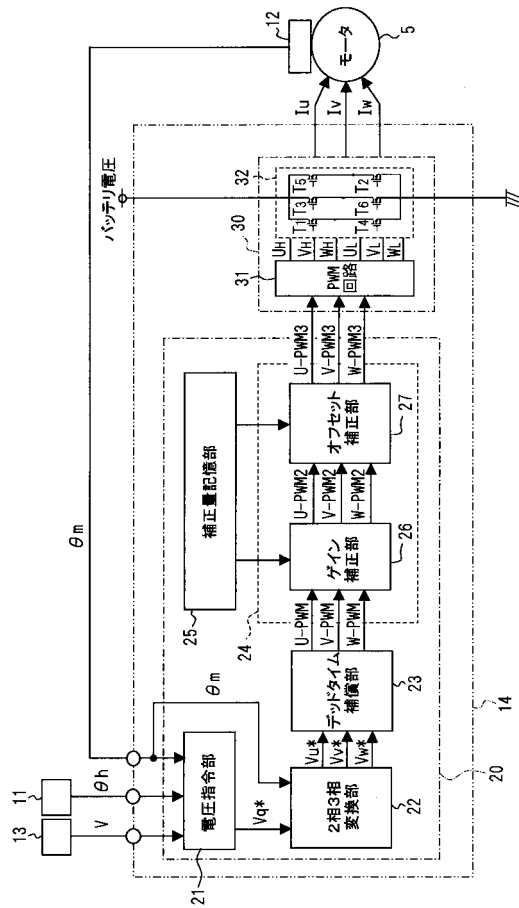
1	操舵装置	
2	操舵ハンドル	
4	伝達比可変機構	40
5	モータ	
10	転舵輪	
14	コンピュータ(ECU)	
20	PWM信号演算部	
24	MOS補正部(補正手段)	
25	補正量記憶部(記憶手段)	
26	ゲイン補正部	
27	オフセット補正部	
30	インバータ	
40	補正量演算装置	50

4 1	電圧測定器
4 2	補正量演算部
T 1、T 2、T 3、T 4、T 5、T 6	M O S F E T (スイッチング素子)
I u	U相モータ電流 (正弦波)
I v	V相モータ電流 (正弦波)
I w	W相モータ電流 (正弦波)
I q	トルク電流
V t h	閾値電圧
C	容量 (寄生容量)
D G A _ U	U相ゲイン
D G A _ V	V相ゲイン
D G A _ W	W相ゲイン
D O A _ U	U相オフセット値
D O A _ V	V相オフセット値
D O A _ W	W相オフセット値

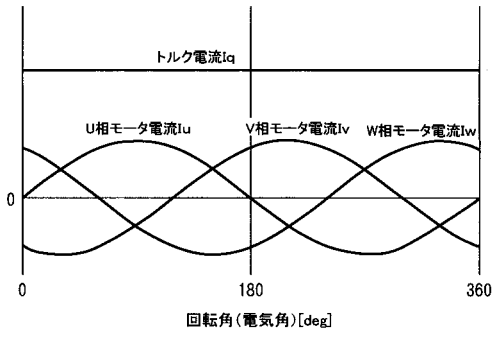
【図1】



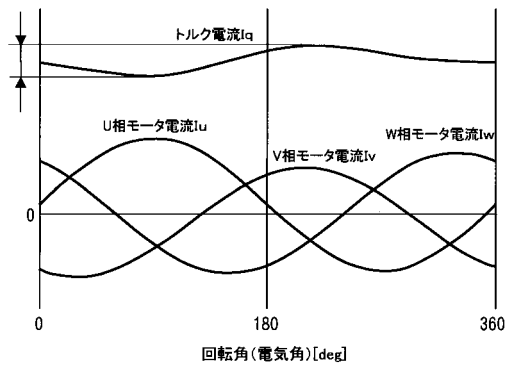
【図2】



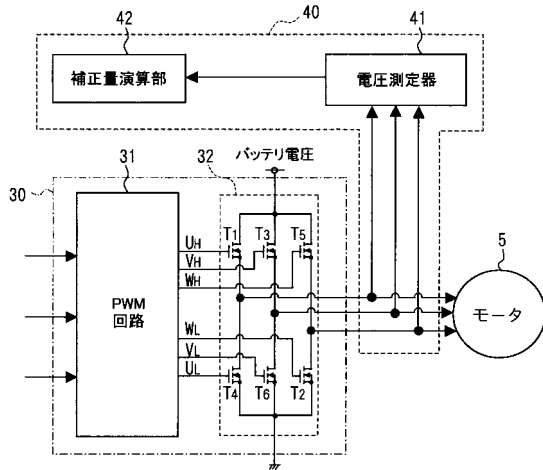
【図3】



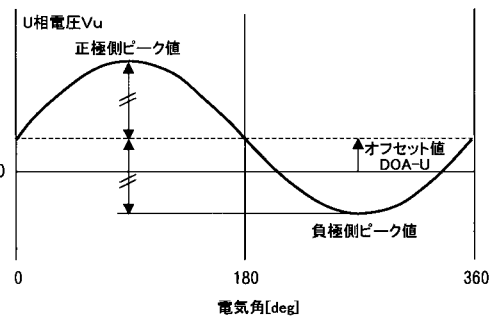
【図4】



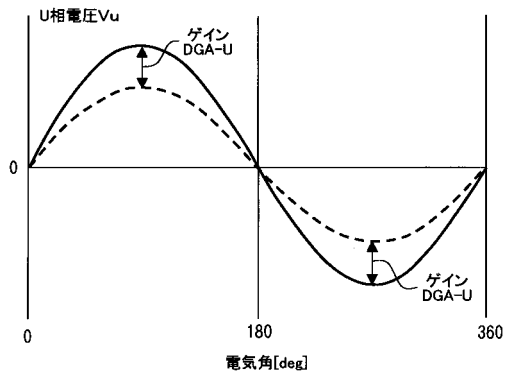
【図5】



【図6】



【図7】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 河合 元史  
愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内
- (72)発明者 平峯 幹大  
愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内
- (72)発明者 宮田 正浩  
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
- (72)発明者 小城 隆博  
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

審査官 牧 初

- (56)参考文献 特開2001-197797(JP,A)  
特開平05-091780(JP,A)  
特開2003-319680(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
H02P 21/00 - 27/18  
H02P 6/00 - 6/24