

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4411742号
(P4411742)

(45) 発行日 平成22年2月10日(2010.2.10)

(24) 登録日 平成21年11月27日(2009.11.27)

(51) Int.Cl. F I
 HO2P 21/00 (2006.01) HO2P 5/408 C
 HO2P 27/04 (2006.01) HO2P 6/02 341H
 HO2P 6/06 (2006.01)

請求項の数 6 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2000-126746 (P2000-126746)	(73) 特許権者	000006105 株式会社明電舎 東京都品川区大崎2丁目1番1号
(22) 出願日	平成12年4月27日(2000.4.27)	(74) 代理人	100096459 弁理士 橋本 剛
(65) 公開番号	特開2001-309698 (P2001-309698A)	(72) 発明者	山田 堅滋 東京都品川区大崎2丁目1番17号 株式 会社明電舎内
(43) 公開日	平成13年11月2日(2001.11.2)	審査官	山村 和人
審査請求日	平成17年12月9日(2005.12.9)	(56) 参考文献	特開平08-205547 (JP, A) 特開平10-004690 (JP, A) 特開昭62-079380 (JP, A)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 モータ制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

モータに供給される3相電流の検出値を3相/2相座標変換したd軸電流検出値及びq軸電流検出値と、d軸電流指令及びq軸電流指令との偏差を基にd軸電圧指令及びq軸電流指令を演算する電流制御器と、このd軸電圧指令及びq軸電圧指令をモータ回転子位相を示す電気角位相に応じて3相の電圧指令に変換する座標変換部と、この3相の電圧指令にデッドタイム補償値を加えた信号に応じた等価3相電力を前記モータに供給するインバータとを有するモータ制御装置において、

前記電流制御器から出力されるd軸出力電圧指令を示す下記(A1)式に、

$$d \text{ 軸上出力電圧指令} = \text{デッドタイムの影響による} d \text{ 軸の誤差電圧} + \text{モータ一次巻線抵抗} \times \text{一定電流} \dots (A1)$$

電気角位相を変えながら一定電流を流すように電流制御を4回行いそのときの電流制御器のd軸出力電圧指令と電流値と、

各相の誤差電圧が等しくないという条件での電流方向を異にするd軸上での下記各電圧誤差式(B)のうち、前記電流制御時における電気角位相の電圧誤差式と、を代入し、

$$V_{err}(-30^\circ \sim \sim 30^\circ) = -V_u \cos \quad - V_v \cos(+60) - V_w \cos(-60) \dots (B1)$$

$$V_{err}(30^\circ \sim \sim 90^\circ) = -V_u \cos \quad - V_v \cos(-120) - V_w \cos(-60) \dots (B2)$$

$$V_{err}(90^\circ \sim \sim 150^\circ) = -V_u \cos(-180) - V_v \cos(-$$

$$\frac{120) - Vw \cos(-60) \cdots (B3)}{Verr(150^\circ \sim 210^\circ) = -Vu \cos(-180) - Vv \cos(-120) - Vw \cos(-240) \cdots (B4)}$$

$$\frac{Verr(210^\circ \sim 270^\circ) = -Vu \cos(-180) - Vv \cos(-300) - Vw \cos(-240) \cdots (B5)}{Verr(270^\circ \sim 330^\circ) = -Vu \cos(-360) - Vv \cos(-300) - Vw \cos(-240) \cdots (B6)}$$

なお、 $Verr$; d軸上での誤差電圧

$Vu \cdot Vv \cdot Vw$; $U \cdot V \cdot W$ 相素子での電圧誤差

各電圧誤差とモータ1次抵抗とを変数とする4元一次方程式をたて、その方程式を解くことにより、デッドタイム補償値を決定することを特徴とするモータ制御装置。

10

【請求項2】

モータに供給される3相電流の検出値を3相/2相座標変換したd軸電流検出値及びq軸電流検出値と、d軸電流指令及びq軸電流指令との偏差を基にd軸電圧指令及びq軸電流指令を演算する電流制御器と、このd軸電圧指令及びq軸電圧指令をモータ回転子位相を示す電気角位相に応じて3相の電圧指令に変換する座標変換部と、この3相の電圧指令にデッドタイム補償値を加えた信号に応じた等価3相電力を前記モータに供給するインバータとを有するモータ制御装置において、

前記電流制御器から出力されるq軸出力電圧指令を示す下記(A2)式に、

$$q \text{ 軸上出力電圧指令} = \text{デッドタイムの影響による} q \text{ 軸の誤差電圧} + \text{モータ一次巻線抵抗} \times \text{一定電流} \cdots (A2)$$

20

電気角位相を変えながら一定電流を流すように電流制御を4回行いそのときの電流制御器のq軸出力電圧指令と電流値と、

各相の誤差電圧が等しくないという条件での電流方向を異にするq軸上での下記各電圧誤差式(C)のうち、前記電流制御時における電気角位相の電圧誤差式と、を代入し、

$$Verr(240^\circ \sim 300^\circ) = -Vu \cos - Vv \cos(+60) - Vw \cos(-60) \cdots (C1)$$

$$Verr(300^\circ \sim 0^\circ) = -Vu \cos - Vv \cos(-120) - Vw \cos(-60) \cdots (C2)$$

$$Verr(0^\circ \sim 60^\circ) = -Vu \cos(-180) - Vv \cos(-120) - Vw \cos(-60) \cdots (C3)$$

30

$$Verr(60^\circ \sim 120^\circ) = -Vu \cos(-180) - Vv \cos(-120) - Vw \cos(-240) \cdots (C4)$$

$$Verr(120^\circ \sim 180^\circ) = -Vu \cos(-180) - Vv \cos(-300) - Vw \cos(-240) \cdots (C5)$$

$$Verr(180^\circ \sim 240^\circ) = -Vu \cos(-360) - Vv \cos(-300) - Vw \cos(-240) \cdots (C6)$$

なお、 $Verr$; q軸上での誤差電圧

$Vu \cdot Vv \cdot Vw$; $U \cdot V \cdot W$ 相素子での電圧誤差

各電圧誤差とモータ1次抵抗とを変数とする4元一次方程式をたて、その方程式を解くことにより、デッドタイム補償値を決定することを特徴とするモータ制御装置。

40

【請求項3】

請求項1または2記載のモータ制御装置において、

前記4回の電流制御を行う電気角位相を、前記4元一次方程式中の $\cos(+x) = 0$ になるような電気角位相として、デッドタイム補償値を計算することを特徴とするモータ制御装置。

【請求項4】

モータに供給される3相電流の検出値を3相/2相座標変換したd軸電流検出値及びq軸電流検出値と、d軸電流指令及びq軸電流指令との偏差を基にd軸電圧指令及びq軸電流指令を演算する電流制御器と、このd軸電圧指令及びq軸電圧指令をモータ回転子位相

50

を示す電気角位相に応じて3相の電圧指令に変換する座標変換部と、この3相の電圧指令にデッドタイム補償値を加えた信号に応じた等価3相電力を前記モータに供給するインバータとを有するモータ制御装置において、

前記電流制御器から出力されるd軸出力電圧指令を示す下記(A1)式に、

$$\underline{d \text{ 軸上出力電圧指令} = \underline{\text{デッドタイムの影響による d 軸の誤差電圧} + \underline{\text{モータ一次巻線抵抗}} \times \underline{\text{一定電流}} \cdots (A1)}$$

電気角位相を変えながら一定電流を流すように電流制御を2回行いそのときの電流制御器のd軸出力電圧指令と電流値と、

各相の誤差電圧が等しいという条件での電流方向を異にするd軸上での下記各電圧誤差式(D)のうち、前記電流制御時における電気角位相の電圧誤差式と、を代入し、

$$\underline{V_{err}(-30^\circ \sim \sim 30^\circ) = -2V \cos \cdots (D1)}$$

$$\underline{V_{err}(30^\circ \sim \sim 90^\circ) = -V(3 \sin + \cos) \cdots (D2)}$$

$$\underline{V_{err}(90^\circ \sim \sim 150^\circ) = -V(3 \sin - \cos) \cdots (D3)}$$

$$\underline{V_{err}(150^\circ \sim \sim 210^\circ) = 2V \cos \cdots (D4)}$$

$$\underline{V_{err}(210^\circ \sim \sim 270^\circ) = V(3 \sin + \cos) \cdots (D5)}$$

$$\underline{V_{err}(270^\circ \sim \sim 330^\circ) = V(3 \sin - \cos) \cdots (D6)}$$

なお、 V_{err} ; d軸上での誤差電圧

V ; $U \cdot V \cdot W$ 相素子での電圧誤差

各電圧誤差とモータ1次抵抗とを変数とする2元一次方程式をたて、その方程式を解くことにより、デッドタイム補償値を決定することを特徴とするモータ制御装置。

【請求項5】

モータに供給される3相電流の検出値を3相/2相座標変換したd軸電流検出値及びq軸電流検出値と、d軸電流指令及びq軸電流指令との偏差を基にd軸電圧指令及びq軸電流指令を演算する電流制御器と、このd軸電圧指令及びq軸電圧指令をモータ回転子位相を示す電気角位相に応じて3相の電圧指令に変換する座標変換部と、この3相の電圧指令にデッドタイム補償値を加えた信号に応じた等価3相電力を前記モータに供給するインバータとを有するモータ制御装置において、

前記電流制御器から出力されるq軸出力電圧指令を示す下記(A2)式に、

$$\underline{q \text{ 軸上出力電圧指令} = \underline{\text{デッドタイムの影響による q 軸の誤差電圧} + \underline{\text{モータ一次巻線抵抗}} \times \underline{\text{一定電流}} \cdots (A2)}$$

電気角位相を変えながら一定電流を流すように電流制御を2回行いそのときの電流制御器のq軸出力電圧指令と電流値と、

各相の誤差電圧が等しいという条件での電流方向を異にするq軸上での下記各電圧誤差式(E)のうち、前記電流制御時における電気角位相の電圧誤差式と、を代入し、

$$\underline{V_{err}(240^\circ \sim \sim 300^\circ) = -2V \cos \cdots (E1)}$$

$$\underline{V_{err}(300^\circ \sim \sim 0^\circ) = -V(3 \sin + \cos) \cdots (E2)}$$

$$\underline{V_{err}(0^\circ \sim \sim 60^\circ) = -V(3 \sin - \cos) \cdots (E3)}$$

$$\underline{V_{err}(60^\circ \sim \sim 120^\circ) = 2V \cos \cdots (E4)}$$

$$\underline{V_{err}(120^\circ \sim \sim 180^\circ) = V(3 \sin + \cos) \cdots (E5)}$$

$$\underline{V_{err}(180^\circ \sim \sim 240^\circ) = V(3 \sin - \cos) \cdots (E6)}$$

なお、 V_{err} ; q軸上での誤差電圧

V ; $U \cdot V \cdot W$ 相素子での電圧誤差

各電圧誤差とモータ1次抵抗とを変数とする2元一次方程式をたて、その方程式を解くことにより、デッドタイム補償値を決定することを特徴とするモータ制御装置。

【請求項6】

請求項4または5記載のモータ制御装置において、

前記2回の電流制御を行う電気角位相を前記2元一次方程式中の $\cos(\quad) = 0$ または $\cos(\quad) = 1$ 、 $\sin(\quad) = 0$ または $\sin(\quad) = 1$ になるような電気角位相として、デッドタイム補償値を計算することを特徴とするモータ制御装置。

【発明の詳細な説明】

10

20

30

40

50

【 0 0 0 1 】

【 産業上の利用分野 】

この発明は、永久磁石式同期電動機（以下、PMモータという）をベクトル制御するモータ制御装置に関する。

【 0 0 0 2 】

【 従来の技術 】

従来、PMモータの磁気位置を推定してベクトル制御するモータ制御装置の構成例を図1について説明する。2はPMモータ3を駆動するインバータ（主回路）で、整流器1の出力電圧をコンデンサCで平滑した直流電圧Vdcを直流電源とし、制御回路10によりベクトル制御される。

10

【 0 0 0 3 】

制御回路10について、電流検出回路12はホールCT5で検出したPMモータのU、V相の電流I_u、I_vからW相の電流I_wを検出して3相電流I_u、I_v、I_wを出力する。この3相電流は3相/2相変換回路13と座標変換回路14によりdq軸電流I_d、I_qに変換される。速度検出回路15はPMモータに直結された速度検出用エンコーダ6のAB相信号からモータの速度 ω を検出する。

【 0 0 0 4 】

速度制御器22は、シリアルI/F21からの速度等の情報と ω からトルク指令を演算し、ベクトル制御器23はこのトルク指令から電流指令I_d^{*}、I_q^{*}を演算する。

【 0 0 0 5 】

デジタル電流制御器24はこの電流指令と座標変換回路14からの電流I_d、I_qから電圧指令V_d^{*}、V_q^{*}を演算し、この電圧指令は座標変換回路26と2相/3相変換回路27により3相電圧指令に変換される。この3相電圧指令はPWM変調されてゲート出力回路31ベースドライブ回路32を介してインバータ2のスイッチング素子のベースを駆動する。

20

【 0 0 0 6 】

磁極位置推定回路25は、座標変換回路14からの検出電流I_d、I_qと電流制御器24からの電圧指令V_d^{*}、V_q^{*}を用いて後述のようにPMモータ3の固定子巻線のインダクタンス最小位置を検出してPMモータ3のロータの磁極位置推定値aを出力する。

【 0 0 0 7 】

位相演算回路16はエンコーダ6のAB相信号と磁極位置推定値aによりインバータ出力電圧の位相を演算し、この位相は位相補正回路17でエンコーダ6のZ相信号で補正され座標変換回路14、15の座標を回転させるための電気角位相 θ を出力する。しかしてPMモータ3の磁極位置に応じた電流制御ができる。

30

【 0 0 0 8 】

上記のように、PMモータでベクトル制御を行う場合、PMモータのロータの磁極位置に応じた電流制御が必要となる。そのため、PMモータのベクトル制御では、ロータ磁極位置を検出することが必要となる。そこで、PMモータのベクトル制御装置では、絶対位置エンコーダをモータに取り付ける場合が多い。絶対値エンコーダを取り付けない場合は、停止中に、高調波電流や電圧を用いて初期磁極位置推定を行い、モータ回転中にはオブザーバや誘起電圧を利用して磁極位置を推定して運転する方式がとられている。

40

【 0 0 0 9 】

【 発明が解決しようとする課題 】

初期磁極位置推定は、PMモータの固定子巻き線のインダクタンスがロータの磁極位置によって変化することを利用して行われる。具体的には、電気角位相を変えながらインダクタンスを測定し、インダクタンスが一番小さくなる電気角位相を制御軸（d軸）とする。そのため、精度よくインダクタンスを測定することが必要になる。

【 0 0 1 0 】

インダクタンスの測定には、パルス状の電圧出力してその電流応答によりインダクタンスを測定する方法や、パルス状の電流指令に対して電流制御を行いそのときの出力電圧指令

50

の大きさによってインダクタンスを測定する方法が知られている。このような方法を採用した場合、ベクトル制御装置の主回路部分でのデッドタイムの影響や主回路での電圧降下によって出力電圧が指令値どおりに出力できないことが問題となる。

【0011】

デッドタイムの影響を減らすデッドタイム補償法が知られている。例えば、電流方向をによって、デッドタイムの影響によって低下する電圧分を3相出力電圧指令に加算し出力する方法が知られている。このとき、主回路のスイッチング素子の個体差や温度変化、流れる電流によって、デッドタイムの影響によって低下する電圧は変化する。そのため、デッドタイムの影響を正しく低減するためには、デッドタイムの影響によって低下する電圧分と出力電圧に加算する電圧（以下デッドタイム補償値）が一致することが必要である。

10

【0012】

上記パルス状の電圧出力 - 電流応答方式で磁極位置推定を行う場合、デッドタイムの影響により正しく磁極がとれない。デッドタイムの影響を補正する方式として、各相の電流方向によって各相の電圧指令に補正電圧を加算する方式があるが、インバータのスイッチング素子の電流や個体差、温度によって補正電圧を変更する必要がある。

【0013】

この発明は、上記課題を解決すべくなされたものであり、その目的とするところは、補正電圧の変更をする必要なくデッドタイムの影響を補正することができるモータの制御装置を提供することにある。

【0014】

20

【課題を解決するための手段】

この発明は、モータに供給される3相電流の検出値を3相/2相座標変換したd軸電流検出値及びq軸電流検出値と、d軸電流指令及びq軸電流指令との偏差を基にd軸電圧指令及びq軸電圧指令を演算する電流制御部と、このd軸電圧指令及びq軸電圧指令をモータ回転子位相を示す電気角位相に応じて3相の電圧指令に変換する座標変換部と、この3相の電圧指令に応じて等価3相電力を前記モータに供給するインバータとを有し、電流方向によってデッドタイムの影響によって低下する各相の誤差電圧をデッドタイム補償値として出力電圧指令に加算してデッドタイム補償するモータ制御装置において、各相の誤差電圧が等しくないという条件での電流方向を異にするd軸上又はq軸上での各電圧誤差式と、電気角位相を変えながら一定電流を流すように電流制御を4回行いそのときの電流制御器のd軸又はq軸の出力電圧指令と電流値より4元一次方程式をたて、その方程式を解くことにより、デッドタイム補償値を決定する。この場合前記4回の電流制御を行う電気角位相を、前記方程式が簡単になるような電気角位相とすることで、簡単な方程式にてデッドタイム補償値を計算することができる。

30

【0015】

または、各相の誤差電圧が等しいという条件での電流方向を異にするd軸上又はq軸上での各電圧誤差式と、電気角位相を変えながら一定電流を流すように電流制御を2回行いそのときの電流制御器のd軸又はq軸の電圧指令と電流値より2元一次方程式をたて、その方程式を解くことにより、デッドタイム補償値を決定する。その場合、前記2回の電流制御を行う電気角位相を、前記2元一次方程式が簡単になるような電気角位相とすることで、簡単な方程式にてデッドタイム補償値を計算することができる。

40

【0016】

【発明の実施の形態】

実施の形態1

上記従来の技術で説明した図1のモータ制御装置において、以下のようにデッドタイム補償値を決定してデッドタイム補償を行う。

【0017】

【表1】

誤差電圧を $V_u \neq V_v \neq V_w$ の条件で計算した場合のd軸上での電圧誤差

電気角位相	電流方向			誤差電圧式
	I_u	I_v	I_w	
$-30^\circ \sim \theta \sim 30^\circ$	+	-	-	$V_{err} = -V_u \cos \theta - V_v \cos(\theta + 60^\circ) - V_w \cos(\theta - 60^\circ)$
$30^\circ \sim \theta \sim 90^\circ$	+	+	-	$V_{err} = -V_u \cos \theta - V_v \cos(\theta - 120^\circ) - V_w \cos(\theta - 60^\circ)$
$90^\circ \sim \theta \sim 150^\circ$	-	+	-	$V_{err} = -V_u \cos(\theta - 180^\circ) - V_v \cos(\theta - 120^\circ) - V_w \cos(\theta - 60^\circ)$
$150^\circ \sim \theta \sim 210^\circ$	-	+	+	$V_{err} = -V_u \cos(\theta - 180^\circ) - V_v \cos(\theta - 120^\circ) - V_w \cos(\theta - 240^\circ)$
$210^\circ \sim \theta \sim 270^\circ$	-	-	+	$V_{err} = -V_u \cos(\theta - 180^\circ) - V_v \cos(\theta - 300^\circ) - V_w \cos(\theta - 240^\circ)$
$270^\circ \sim \theta \sim 330^\circ$	+	-	+	$V_{err} = -V_u \cos(\theta - 360^\circ) - V_v \cos(\theta - 300^\circ) - V_w \cos(\theta - 240^\circ)$

$U \cdot V \cdot W$ 相素子での電圧誤差 $=V_u \cdot V_v \cdot V_w$

相対変換で座標変換した場合には、3相電圧とd-q軸上での電圧の大きさには、以下の関係がある。

$$3\text{相電圧} = \sqrt{\frac{2}{3}} \text{d-q軸電圧}$$

【0018】

インバータ2の各相出力電圧のデッドタイムの影響による電圧誤差は、表1に示す誤差電圧式のようにd軸に現れる。表1のように、デッドタイムによる電圧誤差は電気角位相によって異なる式で表される。

【0019】

ここで、ある電気角位相に電流制御しながら、一定電流 I (A)をd軸上に流した場合の電流制御器24から出力されるd軸出力電圧指令 V_d^* には、以下の式の成分が含まれる。

【0020】

d軸上出力電圧指令 =

デッドタイムによるd軸への影響分 + モータ一次巻き線抵抗 $R_1 \times$ 一定電流 I

このことから、電気角位相を変えながら一定電流 I を電流制御してd軸上に流し、そのときの電流制御器24のd軸電圧指令と表1の式を用いて電圧方程式に表すと(1)~(4)式のようになる。この例では、4回位相を変えながら電流制御し、そのときのd軸電圧指令をそれぞれ、 $V_1 \sim V_4$ とし記述している。このときの電気角位相は任意でよい。

【0021】

【数1】

$$V_1 = V_u \cos \theta_1 + V_v \cos(\theta_1 + 60^\circ) + V_w \cos(\theta_1 - 60^\circ) + I * R_1 \quad (-30^\circ < \theta_1 < 30^\circ) \dots (1)$$

$$V_2 = V_u \cos(\theta_2 - 180^\circ) + V_v \cos(\theta_2 - 120^\circ) + V_w \cos(\theta_2 - 60^\circ) + I * R_1 \quad (90^\circ < \theta_2 < 150^\circ) \dots (2)$$

$$V_3 = V_u \cos(\theta_3 - 360^\circ) + V_v \cos(\theta_3 - 300^\circ) + V_w \cos(\theta_3 - 240^\circ) + I * R_1 \quad (270^\circ < \theta_3 < 330^\circ) \dots (3)$$

$$V_4 = V_u \cos(\theta_4 - 360^\circ) + V_v \cos(\theta_4 - 300^\circ) + V_w \cos(\theta_4 - 240^\circ) + I * R_1 \quad (270^\circ < \theta_4 < 330^\circ) \dots (4)$$

【0022】

ここで電流 I は、磁極位置推定時に流れる程度の電流とする。また、電流指令、d軸電圧指令はモータ制御装置では既知の値であり、 V_u 、 V_v 、 V_w 、 R_1 を変数とする4元一次方程式となる。この方程式を解くことにより、3相電圧指令値に加えるための各相のデッドタイム補償値(電圧誤差 V_u 、 V_v 、 V_w)を決定することができる。

【0023】

10

20

30

40

50

図 2 に S / W によるデッドタイム補償回路を示す。上記 4 元一次方程式を解いて決定した各相のデッドタイム補償値 V_u 、 V_v 、 V_w は PM モータの各相電流 I_u 、 I_v 、 I_w の正負符号によって座標変換 2 相 / 3 相変換回路 2 8 から PWM 制御器 3 3 に出力される 3 相電圧指令値に加算してデッドタイムの影響を補正する。

【 0 0 2 4 】

3 相上で、デッドタイムの影響や直流コンデンサ C の電圧の影響は各相の電流方向によって決まる。具体的には、電流方向の正の時は出力電圧が負の方向に、電流方向が負の時は正の方向に電圧誤差が生ずる。そこで、図 3 に示すように、電流 = 正の場合、3 相上の電圧指令にデッドタイム補正値を加算することで、正しい電圧が出力され、電流 = 負の場合、3 相上の電圧指令にデッドタイム補正値を減算することによって、正しい電圧が出力される。

10

【 0 0 2 5 】

このデッドタイム補償は、従来のデッドタイム補償と同様 S / W で行うので、H / W に変更はない。

【 0 0 2 6 】

実施の形態 2

上記実施の形態 1 では、デッドタイム補償値を決定するとき電流制御して流す電気角位相は任意としていた。そのため上記 (1) ~ (4) 式からなる 4 元一次方程式を解く際の計算が複雑になっていた。

【 0 0 2 7 】

20

実施の形態 2 はこの 4 元一次方程式が簡単になるよう、具体的には式中の $\cos(\theta + x) = 0$ となる電気角位相 θ で電流制御する。例えば (1) 式では $\theta = 30^\circ$ としたとき式が (5) 式のように簡単になる。同様に例えば (2) ~ (4) 式の θ をそれぞれ 90° 、 270° 、 330° とすると (6) ~ (8) 式となる。

【 0 0 2 8 】

【 数 2 】

$$V1 = Vu \cos(30^\circ) + Vw \cos(-30^\circ) + I * R \quad (\theta1 = 30^\circ) \dots (5)$$

$$V2 = Vv \cos(-30^\circ) + Vw \cos(30^\circ) + I * R \quad (\theta2 = 90^\circ) \dots (6)$$

$$V3 = Vv \cos(-30^\circ) + Vw \cos(30^\circ) + I * R \quad (\theta3 = 270^\circ) \dots (7)$$

$$V4 = Vu \cos(-30^\circ) + Vv \cos(30^\circ) + I * R \quad (\theta4 = 330^\circ) \dots (8)$$

30

【 0 0 2 9 】

しかして、電気角位相 θ を例えば 30° 、 90° 、 270° 、 330° と 4 回変えながら一定電流 I を電流制御して d 軸上に流し、そのときの電流制御器 2 4 の d 軸電流指令 V_1 ~ V_4 とし、表 1 の式を用いて電圧方程式を表すと、(5) ~ (8) 式のような V_u 、 V_v 、 V_w 、 R を変数とする 4 元一次方程式となる。この 4 元一次方程式を解くことで、各相のデッドタイム補償値を決定する。決定したデッドタイム補償値は実施の形態 1 と同様に 3 相電圧指定に加算する。

40

【 0 0 3 0 】

実施の形態 3

上記実施の形態 1 及び 2 では、インバータ 2 の各相出力電圧の各相でのデッドタイムの影響は表 1 のように異なるとしていた (V_u V_v V_w)。しかし、実際には、モータ制御装置内では、同一のスイッチング素子が使用されることや、温度もほぼ同一であることから、各相でのデッドタイムの影響はほぼ同一としても良い。

【 0 0 3 1 】

各相でのデッドタイムの影響は同じとした場合、電圧誤差は表 2 に示す式のように d 軸に

50

現れる。表 2 のように、表 1 の式と比較して簡便な式となる。

【 0 0 3 2 】

【 表 2 】

誤差電圧を $V_u = V_v = V_w$ の条件で計算した場合の d 軸上での電圧誤差。

電気角位相	電流方向			誤差電圧式
	I_u	I_v	I_w	
$-30^\circ \sim \theta \sim 30^\circ$	+	-	-	$V_{err} = -2V \cos \theta$
$30^\circ \sim \theta \sim 90^\circ$	+	+	-	$V_{err} = -V(\sqrt{3} \sin \theta + \cos \theta)$
$90^\circ \sim \theta \sim 150^\circ$	-	+	-	$V_{err} = -V(\sqrt{3} \sin \theta - \cos \theta)$
$150^\circ \sim \theta \sim 210^\circ$	-	+	+	$V_{err} = 2V \cos \theta$
$210^\circ \sim \theta \sim 270^\circ$	-	-	+	$V_{err} = V(\sqrt{3} \sin \theta + \cos \theta)$
$270^\circ \sim \theta \sim 330^\circ$	+	-	+	$V_{err} = V(\sqrt{3} \sin \theta - \cos \theta)$

10

U・V・W相素子での電圧誤差 = V

相対変換で座標変換した場合には、3相電圧と d q 軸上での電圧の大きさには、以下の関係がある。

$$3\text{相電圧} = \sqrt{\frac{2}{3}} \text{d q 軸電圧}$$

20

【 0 0 3 3 】

また、同様に電気角位相を変えながら一定電流 I を電流制御して d 軸上に流し、そのときの電流制御器の d 軸電圧指令と表 2 の式を用いて電圧方程式に表すと (9) (1 0) 式のようになる。実施の形態 2 では、2 回位相を変えながら電流制御し、そのときの d 軸電圧指令をそれぞれ、 $V_1 \sim V_2$ とし記述している。このときの電気角は任意でよい。

【 0 0 3 4 】

【 数 3 】

$$V_1 = 2V \cos \theta_1 + R_1 \times I \quad (-30^\circ < \theta_1 < 30^\circ) \dots (9)$$

$$V_2 = \sqrt{3}V \sin \theta_2 - V \cos \theta_2 + R_1 \times I \quad (90^\circ < \theta_2 < 150^\circ) \dots (10)$$

30

【 0 0 3 5 】

電流 I は、磁極位置推定時に流れる程度の電流とする。また、電流指令、d 軸電圧指令はモータ制御装置では既知の値であり、V、R₁ を変数とする 2 元一次方程式となる。この方程式を解くことにより、各相のデッドタイム補償値を決定することができる。

【 0 0 3 6 】

決定したデッドタイム補償値は実施の形態 1 同様に 3 相電圧指令値に加算する。

【 0 0 3 7 】

実施の形態 4

上記実施の形態 3 はデッドタイム補償値を決定するとき電流制御して電流を流す電気角位相は任意としていた。そのため、2 元一次方程式を解く際の計算が複雑になっていた。実施の形態 4 は、方程式が簡単になるよう、具体的には式中の $\cos(\) = 0$ または $\cos(\) = 1$ 、 $\sin(\) = 0$ または $\sin(\) = 1$ となる電気角位相で電流制御をすることにより、方程式が簡単にする。例えば、(9) 式では、 $\theta = 0^\circ$ としたときに式が (1 1) 式のように簡単となる。また例えば (1 0) 式では $\theta = 90^\circ$ としたとき (1 2) 式のように簡単となる。

40

50

【 0 0 3 8 】

【 数 4 】

$$V1 = 2V + R1 \times I \dots (11)$$

$$V2 = \sqrt{3}V + R1 \times I \dots (12)$$

【 0 0 3 9 】

しかして、上記のように方程式が簡単となるように電気角位相 を例えば 0° 、 90° に 2 回変えて電流制御を行いその結果の方程式を解くことにより、方程式が簡単になり、デッドタイム補償値の計算時間が短縮できる。決定したデッドタイム補償値は実施の形態 1 と同様に 3 相電圧指令に加算する。

10

【 0 0 4 0 】

実施の形態 5

上記実施の形態 1 ~ 4 では、電流制御を d 軸上で行い、d 軸電圧指令を用いてデッドタイム補償値の演算をしていた。同様に、q 軸上で電流制御を行い、q 軸電圧指令でデッドタイム補償値の演算を行うことができる。ただし、そのときの各相での電圧誤差の q 軸上での電圧誤差は表 3 に示すようになる。

【 0 0 4 1 】

【 表 3 】

20

誤差電圧を $V_u \neq V_v \neq V_w$ の条件で計算した場合の q 軸上での電圧誤差

電気角位相	電流方向			誤差電圧式
	I_u	I_v	I_w	
$240^\circ \sim \theta \sim 300^\circ$	+	-	-	$V_{err} = -V_u \cos \theta - V_v \cos(\theta + 60) - V_w \cos(\theta - 60)$
$300^\circ \sim \theta \sim 0^\circ$	+	+	-	$V_{err} = -V_u \cos \theta - V_v \cos(\theta - 120) - V_w \cos(\theta - 60)$
$0^\circ \sim \theta \sim 60^\circ$	-	+	-	$V_{err} = -V_u \cos(\theta - 180) - V_v \cos(\theta - 120) - V_w \cos(\theta - 60)$
$60^\circ \sim \theta \sim 120^\circ$	-	+	+	$V_{err} = -V_u \cos(\theta - 180) - V_v \cos(\theta - 120) - V_w \cos(\theta - 240)$
$120^\circ \sim \theta \sim 180^\circ$	-	-	+	$V_{err} = -V_u \cos(\theta - 180) - V_v \cos(\theta - 300) - V_w \cos(\theta - 240)$
$180^\circ \sim \theta \sim 240^\circ$	+	-	+	$V_{err} = -V_u \cos(\theta - 360) - V_v \cos(\theta - 300) - V_w \cos(\theta - 240)$

30

$U \cdot V \cdot W$ 相素子での電圧誤差 $= V_u \cdot V_v \cdot V_w$

相対変換で座標変換した場合には、3相電圧と d q 軸上での電圧の大きさには、以下の関係がある。

$$3\text{相電圧} = \sqrt{\frac{2}{3}} \text{d q 軸電圧}$$

【 0 0 4 2 】

実施の形態 5 は表 3 の式を用い、実施の形態 1 と同様にデッドタイム補償値を決定し、デッドタイム補償を行う。即ち、電気角位相 を変えながら一定電流 I を電流制御して q 軸上に流し、そのときの電流制御器 2 4 の q 軸電圧指令と表 3 の式を用いて電圧方程式に表すと (13) ~ (16) 式ようになる。この例では、4 回位相を変えながら電流制御し、そのときの q 軸電圧指令をそれぞれ、 $V_1 \sim V_4$ とし記述している。このときの電気角位相 は任意でよい。

40

【 0 0 4 3 】

【 数 5 】

$$V1 = Vu \cos \theta1 + Vv \cos(\theta1 + 60^\circ) + Vw \cos(\theta1 - 60^\circ) + I * R1 \quad (240^\circ < \theta1 < 300^\circ) \dots (13)$$

$$V2 = Vu \cos(\theta2 - 180^\circ) + Vv \cos(\theta2 - 120^\circ) + Vw \cos(\theta2 - 60^\circ) + I * R1 \quad (0^\circ < \theta2 < 60^\circ) \dots (14)$$

$$V3 = Vu \cos(\theta3 - 360^\circ) + Vv \cos(\theta3 - 300^\circ) + Vw \cos(\theta3 - 240^\circ) + I * R1 \quad (180^\circ < \theta3 < 240^\circ) \dots (15)$$

$$V4 = Vu \cos(\theta4 - 360^\circ) + Vv \cos(\theta4 - 300^\circ) + Vw \cos(\theta4 - 240^\circ) + I * R1 \quad (180^\circ < \theta4 < 240^\circ) \dots (16)$$

【 0 0 4 4 】

ここで電流 I は、磁極位置推定時に流れる程度の電流とする。また、電流指令、 q 軸電圧指令はモータ制御装置では既知の値であり、 Vu 、 Vv 、 Vw 、 $R1$ を変数とする 4 元一次方程式となる。この方程式を解くことにより、各相のデッドタイム補償値を決定することができる。

10

【 0 0 4 5 】

決定したデッドタイム補償値は実施の形態 1 同様に 3 相電圧指令値に加算する。なお、この q 軸電圧指令を用いたデッドタイムを決定においても実施の形態 2 ~ 3 の場合と同様に方程式を簡単に行うことができる。

【 0 0 4 6 】

【 発明の効果 】

この発明は、PM モータの磁気位置を推定しベクトル制御する電圧出力 - 電流応答方式のモータ制御装置において、上述のようにデッドタイム補償値を演算し、その値でデッドタイム補償を行うので、PM モータの磁極位置推定を正確に行うことができる。また、通常のモータ制御時にも安定な制御が可能になる。

20

【 図面の簡単な説明 】

【 図 1 】 PM モータの磁極位置を推定してベクトル制御を行うモータ制御装置の回路構成図。

【 図 2 】 S / W によるデッドタイム補償回路図。

【 図 3 】 デッドタイム補正を加えるタイミングの説明図。

【 符号の説明 】

2 ... インバータ主回路

3 ... PM モータ

4 ... 速度検出用エンコーダ

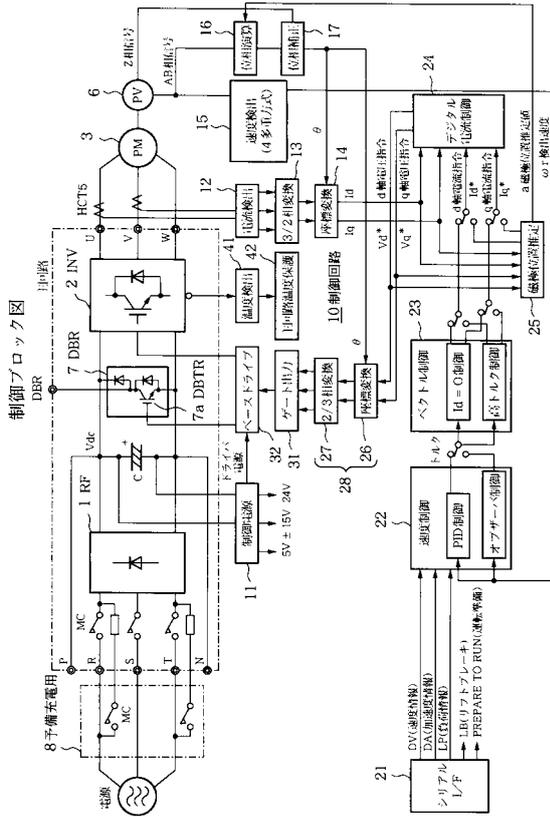
... 電気角位相

Vu , Vv , Vw ... 各相のデッドタイム補償値、各相の誤差電圧

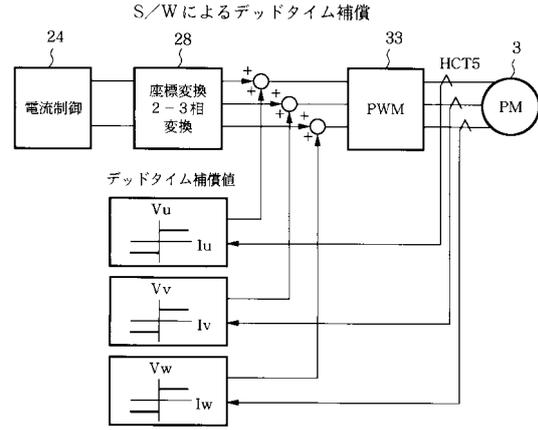
$V1 \sim V4$... 4 回位相を変えたときの d 軸電圧指令

30

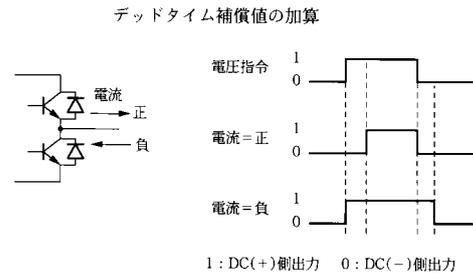
【図1】



【図2】



【図3】



フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B名)

H02P 21/00

H02P 6/06

H02P 27/04