

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号
特開2007-166892
(P2007-166892A)

(43) 公開日 平成19年6月28日(2007.6.28)

(51) Int.Cl.
H02P 7/06 (2006.01)

F I
H02P 5/06

R

テーマコード (参考)
5H571

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2006-332836 (P2006-332836)	(71) 出願人	591245473
(22) 出願日	平成18年12月11日 (2006.12.11)		ロベルト・ボッシュ・ゲゼルシャフト・ミ
(31) 優先権主張番号	102005059585.5		ト・ベシュレンクテル・ハフツング
(32) 優先日	平成17年12月14日 (2005.12.14)		ROBERT BOSCH GMBH
(33) 優先権主張国	ドイツ(DE)		ドイツ連邦共和国デー70442 シュ
			トゥットガルト, ヴェルナー・シュトラ
			セ 1
		(74) 代理人	100089705
			弁理士 社本 一夫
		(74) 代理人	100140109
			弁理士 小野 新次郎
		(74) 代理人	100075270
			弁理士 小林 泰
		(74) 代理人	100080137
			弁理士 千葉 昭男

最終頁に続く

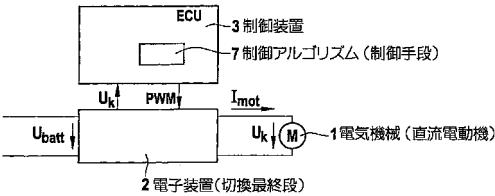
(54) 【発明の名称】 電気機械の回転速度の決定方法および装置

(57) 【要約】

【課題】 直流電動機の回転速度制御の精度を改善し、同時に回転速度変動を低減させる、直流電動機の回転速度(ω)の決定方法を提供する。

【解決手段】 遮断位相 (5) において測定されたアフタ・ランニング電圧 (U_k) から回転速度 (ω) が決定される、PWM運転で操作される電気機械 (1)、特に直流電動機の回転速度の決定方法において、電気機械 (1) が所定のデューティ・レシオで周期的に投入且つ遮断されるPWM位相 (PWM) と、電気機械 (1) が遮断され且つアフタ・ランニング電圧 (U_k) が測定される測定位相 (M) と、を有する制御信号 (6') により、電気機械 (1) が操作される。回転速度 (ω) は測定位相 (M) 内において測定され且つPWM位相 (PWM) 内においてはモデルに基づいて計算される。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

遮断位相（５）において測定されたアフタ・ランニング電圧（ U_k ）から回転速度（ ω ）が決定される、PWM運転で操作される電気機械（１）、特に直流電動機の回転速度の決定方法において、

電気機械（１）が、電気機械（１）が所定のデューティ・レシオで周期的に投入且つ遮断されるPWM位相（PWM）と、電気機械（１）が遮断され且つアフタ・ランニング電圧（ U_k ）が測定される測定位相（M）と、を有する制御信号（６'）により、操作されること、

を特徴とする電気機械の回転速度の決定方法。

10

【請求項 2】

測定位相（M）の期間が、PWM位相（PWM）内における制御信号（６'）の基本周期（ T' ）より大きいことを特徴とする請求項 1 に記載の決定方法。

【請求項 3】

測定位相（M）の期間が、ms（ミリ秒）の範囲内にあることを特徴とする請求項 1 または 2 のいずれかに記載の決定方法。

【請求項 4】

PWM位相（PWM）内における制御信号（６'）の基本周期（ T' ）の長さが μs （マイクロ秒）の範囲内にあることを特徴とする請求項 1 ないし 3 のいずれかに記載の決定方法。

20

【請求項 5】

測定位相（M）の期間が、1ms（ミリ秒）と5ms（ミリ秒）の間の値であることを特徴とする請求項 3 に記載の決定方法。

【請求項 6】

PWM位相（PWM）の期間が、10ms（ミリ秒）－100ms（ミリ秒）の間の値であることを特徴とする請求項 1 ないし 5 のいずれかに記載の決定方法。

【請求項 7】

PWM位相（PWM）の期間が、測定位相（M）の期間より実質的に長いことを特徴とする請求項 1 ないし 6 のいずれかに記載の決定方法。

【請求項 8】

PWM位相（PWM）内における回転速度（ ω ）が、数学モデルにより評価されることを特徴とする請求項 1 ないし 7 のいずれかに記載の決定方法。

30

【請求項 9】

PWM位相（PWM）内における回転速度（ ω ）が、帰納的関数

【数 1】

$$\omega_1 = \omega_{1-1} + \Delta\omega, \text{ ここで } \Delta\omega = f(U_k, \omega_{1-1})$$

により決定されることを特徴とする請求項 8 に記載の決定方法。

【請求項 10】

アフタ・ランニング電圧（ U_k ）を測定するための電圧センサ（２）と、測定されたアフタ・ランニング電圧（ U_k ）から回転速度（ ω ）を決定するための電子装置（２、３）とを含む、PWM運転で操作される電気機械（１）、特に直流電動機の回転速度（ ω ）の決定装置において、

40

電気機械（１）が、電気機械（１）が所定のデューティ・レシオで周期的に投入且つ遮断されるPWM位相（PWM）と、電気機械（１）が発電運転に切り換えられ且つアフタ・ランニング電圧（ U_k ）が測定される測定位相（M）と、を有する制御信号（６'）により、操作されること、

を特徴とする電気機械の回転速度の決定装置。

【発明の詳細な説明】

50

【技術分野】

【0001】

本発明は、電気機械、特に直流電動機の回転速度の決定方法および対応の装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

例えば、自動車ブレーキ装置内の油圧ポンプのためのポンプ駆動装置として使用されるような直流電動機は、その運転において直流電動機が所定のデューティ・レシオで周期的に投入且つ遮断されるPWM運転（PWM：パルス幅変調）で操作されることが多い。デューティ・レシオの適切な選択により、モータの回転速度が希望どおりに設定ないしは制御可能である。この場合、デューティ・レシオ（投入時間／周期長さTにより定義される）は、直流電動機の回転速度を決定し且つ基本的に0%（完全に遮断されている）と100%（連続的に投入されている）との間で選択可能である。

【0003】

図1は直流電動機1の典型的な回転速度制御装置を示す。この装置は、制御されるべき直流電動機1と、それに接続されている、切換最終段を有する電子装置2と、電子装置2に接続されている制御装置（ECU）3とを含む。直流電動機1にかかっている端子電圧は U_k で表わされ、モータ内を流れる電流は $I_{m.o.t}$ で表わされる。

【0004】

制御装置3は、制御偏差の関数としてPWM信号6（図2参照）を発生する制御アルゴリズム（制御手段）7を含み、PWM信号6により、電子装置2の切換最終段は周期的に投入且つ遮断される。制御手段7は、通常、PWM信号6の基本周波数より高い基本周波数で作動する。

【0005】

図2は、直流電動機（モータ）1を操作するための典型的なPWM信号6を示す。投入位相4の間においては切換最終段のスイッチは閉鎖され、遮断位相5の間においては開放されている。これにより、直流電動機1は、デューティ・レシオに対応して周期的に供給電圧 $U_{b.a.t.t}$ と結合され、ないしは供給電圧 $U_{b.a.t.t}$ から切り離される。したがって、個々の位相の期間は $t_{e.i.n}$ ないしは $t_{a.u.s}$ で表わされている。デューティ・レシオは、 $V = t_{e.i.n} / T$ として得られる（但し、Tは基本周期）。

【0006】

入力変数として制御アルゴリズム7に入力される、直流電動機1の現在の実際回転速度 ω は、通常、いわゆるアフタ・ランニング電圧から計算される。この場合、アフタ・ランニング電圧は、PWM信号の遮断位相5において測定される、直流電動機1の発電端子電圧 U_k である。回転速度 ω に対して、 $\omega = f(U_k)$ が成立する。ポンプ・モータのアフタ・ランニング電圧からの回転速度の決定は、例えばドイツ特許公開第19914404号から既知である。

【0007】

実際回転速度 ω は、その位相内において直流電動機1が発電電圧 U_k を発生する遮断位相5の間に（間接的に）測定可能である。これに対して、投入位相4の間においては、回転速度の測定は可能ではない。制御アルゴリズム7は、一般に、より高い基本周波数で作動し且つ投入位相4の間においても回転速度値を必要とするので、この位相4において回転速度が評価される。このために、遮断位相5において、例えば平均回転速度が計算され且つこの回転速度が投入位相4においても通用するものと仮定される。しかしながら、直流電動機1は、投入位相4において著しく加速され且つ遮断位相5の間においては負荷および機械摩擦により制動されるので、既知の評価方法は比較的正確である。これにより、回転速度制御の精度は著しく低下される。

【0008】

従来のPWM運転の他の問題点は、約50Hzの比較的低い周波数のPWM信号が使用されることから発生する。長い投入および遮断位相4、5のために、直流電動機1の回転

速度 ω は目標値の周りで比較的大きく変動する。例えば、20%の小さいデューティ・レシオの場合には、短い投入位相4および比較的に長い遮断位相5のために回転速度変動はきわめて大きくなる。このことは、一方で、直流電動機1により駆動される装置に対して負の影響を与えることになる。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

したがって、直流電動機の回転速度制御の精度を改善し、且つ同時に回転速度変動を低減させることが本発明の課題である。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明によれば、遮断位相において測定されたアフタ・ランニング電圧から回転速度が決定される、PWM運転で操作される電気機械、特に直流電動機の回転速度の決定方法において、電気機械が所定のデューティ・レシオで周期的に投入且つ遮断されるPWM位相と、電気機械が遮断され且つアフタ・ランニング電圧が測定される測定位相と、を有する制御信号により、電気機械が操作される。

【0011】

また本発明によれば、PWM運転で操作される電気機械、特に直流電動機の回転速度の決定装置は、アフタ・ランニング電圧を測定するための電圧センサと、測定されたアフタ・ランニング電圧(U_k)から回転速度(ω)を決定するための電子装置(2、3)とを含む。電気機械は、電気機械が所定のデューティ・レシオで周期的に投入且つ遮断されるPWM位相と、電気機械が発電運転に切り換えられ且つアフタ・ランニング電圧が測定される測定位相と、を有する制御信号により、操作される。

【発明の効果】

【0012】

本発明の本質的な観点は、電気機械を、連続的なPWM信号で操作する代りに、PWM位相および測定位相を交互に有する制御信号で操作することにある。PWM位相においては、電気機械が所定のデューティ・レシオで周期的に投入且つ遮断され、測定位相においては、連続的に遮断される。この場合、PWM位相および測定位相は交互に切り換わる。これは、PWM位相の基本周波数を、電気機械が目標回転速度の周りにきわめて僅か変動するにすぎないように高く選択可能であるという本質的な利点を有している。PWM位相の基本周波数は、kHzの範囲内に、ないしは基本周期が μs (マイクロ秒)の範囲内にあることが好ましい。しかしながら、この高い基本周波数はPWM信号の遮断時間の間に回転速度測定が実行可能ではないという問題点をもたらし、その理由は、この期間が一般に、測定のためには短すぎるからである。したがって、規則的間隔で上記の測定位相が挿入され、この測定位相内において電気機械は遮断され且つ回転速度測定が実行可能である。この場合、測定位相は、アフタ・ランニング電圧が1回または複数回走査可能なように選択されている。

【0013】

測定位相の期間は数ms(ミリ秒)の値であることが好ましい。これに対して、PWM位相の間における基本周期の長さは μs (マイクロ秒)の範囲内にあることが好ましい。

全PWM位相の期間は、合計で、測定位相の期間よりも本質的に長いことが好ましい。この比率は少なくとも5:1、特に約10:1の値であることが好ましい。この比率が高ければ高いほどそれだけ、直流電動機に、より多くの電気エネルギーを伝達可能である。全PWM位相の期間は、10-100msの間の値、特に約50msの値であることが好ましい。

【0014】

回転速度制御装置は、PWM位相の間において常に新たな回転速度実際値を必要とするが、この回転速度実際値は測定可能ではないので、PWM位相内における回転速度値を数学モデルにより計算することが提案される。このために、他の変数から回転速度変化が決

10

20

30

40

50

定され且つ実際回転速度が初期値および回転速度変化から評価されることが好ましい。回転速度変化は、供給電圧 U_{bat} および直流電動機に作用する負荷の関数であることが好ましい。

【0015】

回転速度変化 $\dot{\omega}$ は、次の方程式により計算されることが好ましい。

【0016】

【数2】

$$\dot{\omega} = \frac{1}{J} \left(\frac{k}{R} \cdot U_k - (M_{relb} + M_{last}) - \frac{k^2}{R} \cdot \omega \right)$$

10

【0017】

ここで、電圧 U_k は $U_k = PWM \cdot U_{bat}$ である。負荷トルク M_{last} は、例えば種々の他のセンサ変数から決定されてもよい。摩擦トルク M_{relb} は、モータ定数 k 、オーム抵抗 R および質量慣性モーメント J と同様に既知である。

【0018】

実際回転速度の計算は、対応のアルゴリズムを含む制御装置において実行されることが好ましい。このとき、回転速度制御装置は、評価値からそれぞれ新たなデューティ・レシオを計算する。

【0019】

20

以下に本発明を添付図面により例として詳細に説明する。

【発明を実施するための最良の形態】

【0020】

図1および図2の説明に関しては明細書の冒頭部分が参照される。

図3は、修正PWM信号6'を示し、修正PWM信号6'により、図1の直流電動機1ないしは関連の切換最終段2が操作される。

【0021】

修正PWM信号6'は、直流電動機1が所定のデューティ・レシオで周期的に投入且つ遮断されるPWM位相PWMと、直流電動機1が遮断され、ないしは発電運転に切り換えられている測定位相Mとを含む。この場合、PWM位相PWMおよび測定位相Mは、交互に切り換わる。

【0022】

測定位相Mの間において、直流電動機1の回転速度（ないしは電気角周波数）は発電端子電圧 U_k を介して間接的に測定される。このために、対応の電圧センサが（ブロック2内に）設けられている。PWM位相PWMにおいて、回転速度 ω はモデルに基づいて計算され且つ制御手段7に入力変数として供給される。（この場合、実際回転速度の計算は、電子装置2または制御装置3により実行されてもよい。）

PWM位相PWMの間における基本周波数は、例えば $20\text{kHz} - 100\text{kHz}$ の間の値であってもよく、したがって、図2の信号においてよりも約1000倍高くなっている。PWM位相PWMの全期間は、例えば $10\text{ms} - 50\text{ms}$ の間の値である。これに対して、測定位相Mは、例えば2または3msのような数msの間持続するにすぎない。この場合、PWM位相PWMの全期間は、測定位相Mの期間よりも約10倍長い。したがって、直流電動機1に十分な量の電気エネルギーを伝達可能である。

【0023】

回転速度の計算は、周期的に（例えば、 5ms ごとに） $t_1 - t_4$ の時点に実行される。このとき、制御アルゴリズム7は、評価値からそれぞれPWM信号に対する新たなデューティ・レシオを決定する。

【0024】

実際回転速度 ω は、ここでは、初期値 ω_0 および回転速度変化から評価される。回転速度変化 $\dot{\omega}$ に対しては次式が成立する。

50

【 0 0 2 5 】

【数 3】

$$\dot{\omega} = \frac{1}{J} \left(\frac{k}{R} \cdot U_k - (M_{\text{reib}} + M_{\text{last}}) - \frac{k^2}{R} \cdot \omega \right)$$

【 0 0 2 6 】

有限時間間隔 Δt に対して、次の差分方程式が得られる。

【 0 0 2 7 】

【数 4】

$$\frac{\Delta \omega}{\Delta t} = \frac{\omega_i - \omega_{i-1}}{\Delta t}$$

10

【 0 0 2 8 】

したがって、評価実際回転速度 ω_i は次式により帰納的に得られる。

【 0 0 2 9 】

【数 5】

$$\omega_i = \omega_{i-1} + \Delta \omega, \quad \text{ここで } \Delta \omega = \frac{1}{J} \left(\frac{k}{R} \cdot U_k - (M_{\text{reib}} + M_{\text{last}}) - \frac{k^2}{R} \cdot \omega_{i-1} \right) \Delta t$$

【 0 0 3 0 】

20

ここで、 ω_{i-1} は初期値であり、 $\Delta \omega$ は、それに続く制御サイクル $[t_{i-1}, t_i]$ の間における回転速度の変化である。

図 4 は、測定回転速度 8 および評価回転速度 9 を時間 t に対して示している。図から理解されるように、評価はきわめて良好に実際回転速度 8 と一致している。測定点 10 において、評価回転速度 9 は測定回転速度 8 により置き換えられ、且つそれに続く PWM 位相において回転速度の計算が新たに初期化される。即ち、次の PWM 位相においては、計算は最後に測定された回転速度値 ω からスタートする。

【 0 0 3 1 】

回転速度変化 $\dot{\omega}$ に対する上記の方程式は、図 5 の等価回路図を考慮して簡単に導くことができる。図 5 において、 U_r は、電機子抵抗 R において降下する電圧を表わし、この場合、 $U_r = I R$ である。 U_{ind} は、電機子インダクタンス L において誘導された電圧を表わし、この場合、 $U_{ind} = L \frac{di}{dt}$ が成立する。 U_{gen} は発電電圧であり、発電電圧はモータ定数 k およびモータの角周波数 ω の関数である。この場合、 $U_{gen} = k \omega$ が成立する。

30

【 0 0 3 2 】

電気機械の端子電圧 U_k に対して、次式が成立する。

【 0 0 3 3 】

【数 6】

$$U_k = R I + L \frac{di}{dt} + k \cdot \omega \quad (1)$$

40

【 0 0 3 4 】

機械的モーメント釣合いは、次のとおりである。

【 0 0 3 5 】

【数 7】

$$J \cdot \frac{d\omega}{dt} = k \cdot I - M_{\text{reib}} - M_{\text{last}} \quad (2)$$

【 0 0 3 6 】

この場合、 M_{reib} は摩擦トルクであり、 M_{last} は負荷トルクであり、 J は質量

50

慣性モーメントである。方程式（１）を k/R によって拡張することにより、次式が得られる。

【００３７】

【数８】

$$\frac{k}{R} \cdot U_k = k \cdot I + M_{last} + L \cdot \frac{k}{R} \cdot \frac{di}{dt} + \frac{k^2}{R} \cdot \omega \quad (3)$$

【００３８】

方程式（２）および（３）から、次式が得られる。

10

【００３９】

【数９】

$$J \cdot \dot{\omega} + \frac{k^2}{R} \cdot \omega = \frac{k}{R} \cdot U_k - (M_{reib} + M_{last}) \quad (4)$$

【００４０】

方程式（４）の変換により、次式が得られる。

【００４１】

【数１０】

$$\dot{\omega} = \frac{1}{J} \left(\frac{k}{R} \cdot U_k - (M_{reib} + M_{last}) - \frac{k^2}{R} \cdot \omega \right) \quad (5)$$

20

【図面の簡単な説明】

【００４２】

【図１】回転速度制御を有する直流電動機の略図である。

【図２】従来技術による典型的なPWM信号線図である。

【図３】本発明の一実施形態による修正PWM信号線図である。

【図４】評価回転速度および測定回転速度の時間線図である。

【図５】電動機の略等価回路図である。

【符号の説明】

30

【００４３】

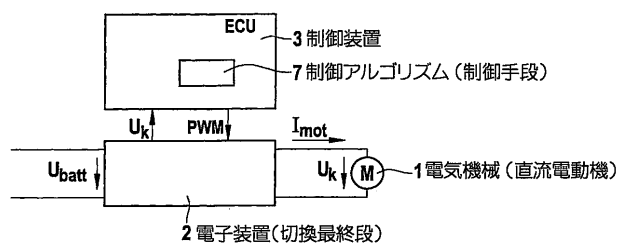
- １ 電気機械（直流電動機）
- ２ 電子装置（切換最終段）
- ３ 制御装置
- ４ 投入位相
- ５ 遮断位相
- ６ PWM信号
- ６' 修正PWM信号（制御信号）
- ７ 制御アルゴリズム（制御器）
- ８ 測定回転速度（実際回転速度）
- ９ 評価回転速度
- 10 測定点
- I_{mot} モータ電流
- L 電機子インダクタンス
- M 測定位相
- PWM PWM位相
- R 電機子抵抗
- T 、 T' 基本周期
- t 時間
- t_1 、 t_2 、 t_3 、 t_4 時点

40

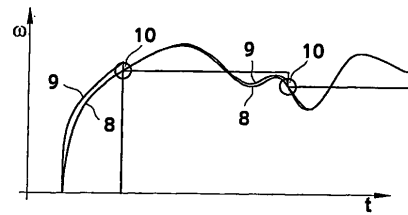
50

t_{aus} 遮断位相期間
 t_{ein} 投入位相期間
 U_{batt} 供給電圧
 U_{gen} 発電電圧
 U_{ind} 電機子インダクタンス誘導電圧
 U_k アフタ・ランニング電圧
 U_r 電機子抵抗降下電圧
 ω 回転速度（角周波数）

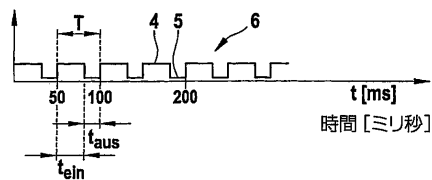
【図 1】



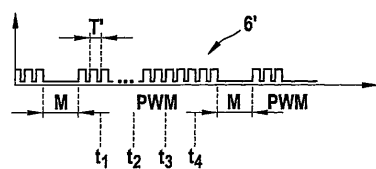
【図 4】



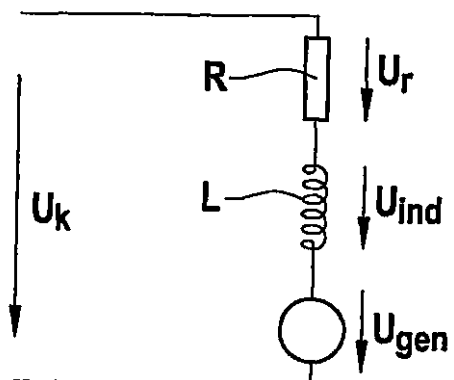
【図 2】



【図 3】



【図 5】



フロントページの続き

(74)代理人 100096013

弁理士 富田 博行

(72)発明者 マティアス・シャンツェンバッハ

ドイツ連邦共和国 7 4 2 4 6 エーバーシュタット, アム・ハーダー 8

(72)発明者 ユルゲン・ハハテル

ドイツ連邦共和国 7 4 2 1 9 モックミュール, オルガシュトラッセ 2

Fターム(参考) 5H571 AA03 CC04 DD03 FF02 GG02 GG05 HD02 JJ02 JJ04