

(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2006-64704

(P2006-64704A)

(43) 公開日 平成18年3月9日(2006.3.9)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO 1 B 21/22 (2006.01)	GO 1 B 21/22	2 F 0 6 9
GO 1 D 5/244 (2006.01)	GO 1 D 5/244 B	2 F 0 7 7
FO 2 D 13/02 (2006.01)	FO 2 D 13/02 G	3 G 0 9 2
FO 2 D 45/00 (2006.01)	FO 2 D 45/00 3 5 8 H	3 G 3 8 4
GO 1 B 7/30 (2006.01)	FO 2 D 45/00 3 5 8 N	
審査請求 未請求 請求項の数 24 O L (全 23 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2005-248401 (P2005-248401)
 (22) 出願日 平成17年8月29日 (2005.8.29)
 (31) 優先権主張番号 102004041712.1
 (32) 優先日 平成16年8月28日 (2004.8.28)
 (33) 優先権主張国 ドイツ (DE)

(71) 出願人 390009070
 ルーク ラメレン ウント クツプルング
 スバウ ベタイリグングス コマンディー
 トゲゼルシャフト
 LuK Lamellen und Ku
 pplungsbau Beteili
 gungs KG
 ドイツ連邦共和国 バーデン ビュール
 インズストリーストラーセ 3

(74) 代理人 100061815
 弁理士 矢野 敏雄
 (74) 代理人 100094798
 弁理士 山崎 利臣
 (74) 代理人 100099483
 弁理士 久野 琢也

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 クランク軸に相対的な往復動ピストン内燃機関のカム軸回転角度位置を確定するための方法

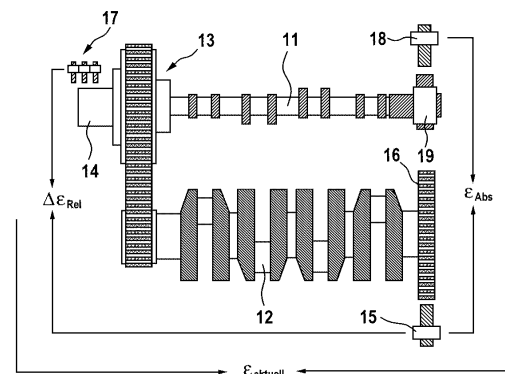
(57) 【要約】

【課題】カム軸のクランク軸に対する相対的な回転角度位置をさらに正確に確定できるように改善を行うこと。

【解決手段】少なくとも2つの調整シャフト回転角度測定値と、調整シャフト測定時点間の時間差並びに最後の調整シャフト測定時点と基準時点の間の時間間隔とから、調整シャフトが基準時点において有している回転角度に対する推定値を外挿により求め、

前記推定値と、少なくとも1つのクランク軸回転角度測定値と、伝動装置パラメータとから回転角度位置に対する値を確定する。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

クランク軸（１２）に対して相対的な往復動ピストン内燃機関のカム軸（１１）回転角度位置を確定するための方法であって、

前記クランク軸（１２）は、調節伝動装置を介してカム軸（１１）と駆動可能に接続形成されており、前記調節伝動装置は、クランク軸に結合されたドライブシャフトと、カム軸に結合されたドリブンシャフトと、調整モータに駆動可能に結合された調整シャフトとを有するトリプルシャフト伝動装置として構成されており、

少なくとも１つのクランク軸測定時点においてクランク軸回転角度に対する測定値が検出され、

10

少なくとも２つの調整シャフト測定時点においてそれぞれ調整シャフト回転角度に対する１つの測定値がデジタル方式で検出され、

クランク軸測定時点と調整シャフト測定時点の後に存在する少なくとも１つの基準時点において、少なくとも１つのクランク軸回転角度測定値と、少なくとも１つの調整シャフト回転角度測定値と、トリプルシャフト伝動装置の伝動装置パラメータに基づいて、クランク軸（１２）に相対的なカム軸（１１）の回転角度位置に対する値が確定される形式の方法において、

少なくとも２つの調整シャフト回転角度測定値と、調整シャフト測定時点間の時間差並びに最後の調整シャフト測定時点と基準時点の間の時間間隔とから、調整シャフトが基準時点において有している回転角度に対する推定値を外挿により求め、

20

前記推定値と、少なくとも１つのクランク軸回転角度測定値と、伝動装置パラメータとから回転角度位置に対する値を確定するようにしたことを特徴とする方法。

【請求項 2】

少なくともそのつどの最後の調整シャフト測定時点において調整シャフトの角速度に対する値が求められ、調整シャフトが基準時点において有している回転角度に対する推定値を、最後の調整シャフト回転角度測定値と、基準点と最後の調整シャフト測定時点の間の時間差並びに角速度値とから求める、請求項 1 記載の方法。

【請求項 3】

前記調整モータは EC モータ（１４）であり、該 EC モータ（１４）は、巻線を備えたステータと調整シャフトに回転不動に結合されたロータを有しており、該ロータの周囲には周面方向で互いにずらされて相対向する方向で交互に磁化された複数のマグネットセグメント（１... ８）が配設されており、該マグネットセグメントは、それらの位置付け及び／又は寸法に関して許容誤差を有しており、調整シャフト角度測定値及び／又は角速度値の検出のために前記マグネットセグメント（１... ８）のステータに対する相対的な位置が検出され、調整シャフト回転角度測定値に対する少なくとも１つの許容誤差の影響を補償するための少なくとも１つの補正值が求められ、該補正值を用いて調整シャフト回転角度測定値及び／又は角速度値が補正される、請求項 1 または 2 記載の方法。

30

【請求項 4】

前記マグネットセグメント（１... ８）の位置が測定装置（１７）を用いて検出され、該測定装置（１７）は、ステータに複数の磁気センサを有しており、該磁気センサは、ロータの回転毎にステータに対して相対的にこれらの磁気センサの組み合わせが通過していくように、ステータの周面方向で相互にずらされて配設されており、これらの各マグネットセグメント・センサ組み合わせ毎にそれぞれ１つの補正值が求められて記憶され、調整シャフト回転角度測定値及び／又は角速度値の補正のために用いられる、請求項 1 から 3 いずれか 1 項記載の方法。

40

【請求項 5】

所定数のマグネットセグメント・センサ組み合わせが通過するようにロータがステータに対して相対的に回転され、測定装置（１７）を用いて当該のマグネットセグメント・センサ組み合わせに対して第 1 の補正されていない調整シャフト回転角度測定値及び／又は角速度値が求められ、調整シャフト回転角度及び／又は角速度に対する付加的な基準値

50

が求められ、それは第 1 の調整シャフト回転角度測定値ないしは角速度値よりも大きい精度を有しており、第 1 の補正されていない調整シャフト回転角度測定値及び/又は角速度値を用いて、補正値が補正係数として求められ、第 1 の未補正の調整シャフト回転角度測定値ないしは角速度値に割当てられるマグネットセグメント・センサ組合わせが新たに通過し、その際前記測定装置 (17) を用いて第 2 の未補正の調整シャフト回転角度測定値ないしは角速度値が検出され、これらの値が、事前に求められた補正係数を用いて補正される、請求項 1 から 4 いずれか 1 項記載の方法。

【請求項 6】

前記基準値は、第 1 の補正されていない調整シャフト回転角度測定値ないしは角速度値がフィルタリングによって平滑化されることによって形成される、請求項 1 から 5 いずれか 1 項記載の方法。 10

【請求項 7】

個々のマグネットセグメント・センサ組合わせが少なくとも 2 回出現するようにロータがステータに対して相対的に回転され、その場合個々のマグネットセグメント・センサ組合わせ毎に、調整シャフト回転角度測定値ないしは角速度値に対するそれぞれ 1 つの補正係数が求められ、個々のマグネットセグメント・センサ組合わせ毎に求められた複数の補正係数からそれぞれ 1 つの平均値が形成され、そのようにして得られた平均値が新たな補正係数として記憶され、調整シャフト回転角度測定値ないしは角速度値が、マグネットセグメント・センサ組合わせの新たな通過の際に前記補正係数を用いて補正される、請求項 1 から 6 いずれか 1 項記載の方法。 20

【請求項 8】

平均値としてそのつど算術的な平均値が形成される、請求項 1 から 7 いずれか 1 項記載の方法。

【請求項 9】

平均値としてそのつど平滑化される平均値が形成され、有利には補正係数の平均値に關与する重み付けが、補正係数の経時特性の増大と共に低減される、請求項 1 から 8 いずれか 1 項記載の方法。

【請求項 10】

個々のマグネットセグメント・センサ組合わせに対する平滑化された平均値 $F_{Neu}[i(t-T)]$ が、以下の関係式、 30

$$F_{Neu}[i(t-T)] = F_{Alt}[i(t-T)] + (1 - \alpha) F[i(t-T)]$$

に従って周期的に求められ、
この場合前記 i は、そのつどのマグネットセグメント・センサ組合わせを識別するインデックスであり、前記 t は時間であり、前記 T は、実際の角速度と測定された角速度値の間の遅延時間であり、前記 $F_{Alt}[i(t-T)]$ は、最後の平均値形成の際にインデックス i にて求められた平均値であり、前記 α は忘却係数であり、これは 0 よりも大きく 1 よりも小さくて有利には 0.7 ~ 0.9 の間にある、請求項 1 から 9 いずれか 1 項記載の方法。

【請求項 11】

a) ロータがステータに対して相対的に回転され、補正係数が個々のマグネットセグメント・センサ組合わせに対して求められて記憶され、 40
b) その後相応するマグネットセグメント・センサ組合わせが新たに通過され、その場合新たな補正係数のセットが求められ、
c) 先行の補正係数セットの補正係数が、新たな補正係数セットの補正係数に対して相対的に周期的に入れ替わり、その後で当該の補正係数セットが相互に比較され、
d) 前記ステップ c) は、先行する補正係数セットの全ての入れ替わり組合わせが新たな補正係数セットと比較されるまで繰返され、
e) 新たな補正係数セットとの最大の一致が現れる入れ替わり組合わせが求められ、
f) 前記入れ替わり組合わせに対応付けられる先行の補正係数セットの補正値の配置構成を用いて角速度値が補正される、
請求項 1 から 10 いずれか 1 項記載の方法。 50

【請求項 1 2】

補正係数セット間で最大の一致が現れる入れ替え組合わせのもとでそれぞれ相互に対応付けられた先行の補正係数セットと新たな補正係数セットの補正係数からそのつど 1 つの平均値が形成され、新たな補正係数として記憶され、当該平均値形成によって得られた補正係数セットを用いて角速度値を補正する、請求項 1 1 記載の方法。

【請求項 1 3】

a) 全てのマグネットセグメント・センサ組合わせが少なくとも一回は通過するようにロータをステータに対して相対的に回転させ、
b) その場合 E C モータ (1 4) の回転毎にロータの各磁極対毎にそれぞれ所定数の測定信号状態が経過するように、磁気センサの位置測定信号を生成し、
c) それぞれ少なくとも該当するマグネットセグメント・センサ組合わせに対する補正係数とそれに対応付けられた測定信号状態とからなる、マグネットセグメント・センサ組合わせの数に相応する数の値組合わせを有する第 1 のデータセットを求めて記憶し、
d) その後で、相応するマグネットセグメント・センサ組合わせを新たに通過させ、その場合に値組合わせを有する新たな第 2 のデータセットを求めて記憶し、
e) 第 1 のデータセットと第 2 のデータセットの測定信号状態の間でずれが生じている場合に、データセットの測定信号状態が一致するように、第 1 のデータセットの値組合わせが周期的に第 2 のデータセット値組合わせに対して相対的にシフトされ、
f) その後で、それぞれ相互に対応付けられたデータセットの補正係数が相互に比較され、
g) 1 つのデータセットの補正係数が、磁気センサの二倍の数に相応する数のステップだけ他のデータセットの補正係数に対して相対的に周期的に入れ替えられ、その後でそれぞれ相互に対応付けられたデータセットの補正係数が相互に比較され、
h) 場合によって前記ステップ g) を全ての入れ替え組合わせが処理されるまで繰返し、
i) データセットの補正係数間で最大の一致が見られた入れ替え組合わせが求められ、
j) この入れ替え組合わせに対応付けられる第 1 のデータセットの補正值の指示を用いて角速度値が補正される、請求項 1 から 1 2 いずれか 1 項記載の方法。

【請求項 1 4】

データセットの補正係数間で最大の一致が見られた入れ替え組合わせのもとでそのつどの相互に対応づけられた、第 1 のデータセットの補正係数と第 2 のデータセットの補正係数からそのつど 1 つの平均値が形成され、新たな補正係数として記憶され、そのような平均値形成によって得られた補正係数セットを用いて角速度値が補正される、請求項 1 3 記載の方法。

【請求項 1 5】

補正されていない角速度値と補正された角速度値の変動幅が 1 つの時間窓の中で求められて相互に比較され、補正された角速度値の変動幅が、補正されていない角速度値の変動幅よりも大きい場合には、補正係数が新たに求められ、及び / 又はマグネットセグメント・センサ組合わせに対する補正係数の対応付けが再構築される、請求項 1 から 1 4 いずれか 1 項記載の方法。

【請求項 1 6】

前記補正係数は、予め定められた値範囲に制限され、該値範囲は、有利には 0.8 ~ 1.2 の間である、請求項 1 から 1 5 いずれか 1 項記載の方法。

【請求項 1 7】

ロータの慣性モーメントに対する慣性モーメント値が確定され、
個々の調整シャフト測定時点毎にそれぞれ巻線内の電氣的電流に対する電流値 $I(k)$ を求めることによって電流信号 I が検出され、
個々の角速度値 (k) 毎にそのつど、
先の調整シャフト測定時点に対応付けられた角速度値 $\omega_k(k-1)$ と、電流信号 I と、慣性モーメント値とから角速度値 (k) に対する推定値 $\omega_s(k)$ が求められ、
前記推定値 $\omega_s(k)$ に、当該推定値 $\omega_s(k)$ の含まれている許容誤差帯域を対応付

10

20

30

40

50

け、

角速度値 (k) が許容誤差帯域外に存在する場合には、当該角速度値 (k) が、許容誤差帯域内にある角速度値 $k(k)$ によって置換えられる、請求項 1 から 16 いずれか 1 項記載の方法。

【請求項 18】

ロータが負荷モーメントによって負荷され、当該負荷モーメントに対して負荷モーメント信号 M_L を供給し、推定値 $s(k)$ がそのつど、先の走査時点に対応付けられた角速度値 $k(k-1)$ と、電流信号 I と、負荷モーメント信号 M_L と、慣性モーメント値とから確定される、請求項 1 から 17 いずれか 1 項記載の方法。

【請求項 19】

巻線に印加された電圧を検出し、電流値 $I(k)$ を間接的に、巻線の電圧とインピーダンスと、場合によって補正される角速度値 $k(k)$ と、モータ定数とから確定する、請求項 1 から 18 いずれか 1 項記載の方法。

【請求項 20】

許容誤差帯域を境界値によって制限し、許容誤差帯域外にある角速度値 (k) を許容誤差帯域の自身の次に存在する境界値に補正する、請求項 1 から 19 いずれか 1 項記載の方法。

【請求項 21】

許容誤差帯域の幅及び / 又は位置が、先の調整シャフト測定時点に対応付けられた角速度値 $k(k-1)$ に依存して選択され、有利には、角速度の増加と共に低減させるか、及び / 又は角速度の低減と共に増大させる、請求項 1 から 20 いずれか 1 項記載の方法。

【請求項 22】

許容誤差帯域の幅及び / 又は位置が、電流信号 I に依存して選択され、有利には、電流の増加と共に増大させるか、及び / 又は電流の低減と共に低減させる、請求項 1 から 21 いずれか 1 項記載の方法。

【請求項 23】

電流信号 I がフィルタリング、特に平滑化される平均値形成によって平滑化され、角速度値 (k) に対する推定値 $s(k)$ をフィルタリングされた電流信号 I を用いて確定する、請求項 1 から 22 いずれか 1 項記載の方法。

【請求項 24】

そのつど少なくとも 2 つのクランク軸回転角度測定値と、
これらの測定値に対応付けられたクランク軸回転角度測定時点間の時間差と、
最後のクランク軸測定時点と基準点の間の時間間隔とから、
基準点においてクランク軸 (12) が有している回転角度に対する推定値を補外によって求め、

基準点と最後のクランク軸測定時点の間の時間差を求め、

推定値を、

最後のクランク軸測定時点におけるクランク軸回転角度測定値と、

時間差と、

角速度値とから確定する、請求項 1 から 23 いずれか 1 項記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、クランク軸に対して相対的な往復動ピストン内燃機関のカム軸回転角度位置を確定するための方法であって、前記クランク軸は、調節伝動装置を介してカム軸と駆動可能に接続形成されており、前記調節伝動装置は、クランク軸に固定されたドライブシャフトと、カム軸に固定されたドリブンシャフトと、調整モータに駆動可能に結合された調整シャフトとを有するトリプルシャフト伝動装置として構成されており、少なくとも 1 つのクランク軸測定時点においてクランク軸回転角度に対する測定値が検出され、少なくとも 2 つの調整シャフト測定時点においてそれぞれ調整シャフト回転角度に対する 1 つの測

10

20

30

40

50

定値がデジタル方式で検出され、クランク軸測定時点と調整シャフト測定時点の後に存在する少なくとも1つの基準時点において、少なくとも1つのクランク軸回転角度測定値と、少なくとも1つの調整シャフト回転角度測定値と、トリプルシャフト伝動装置の伝動装置パラメータに基づいて、クランク軸に相対的なカム軸の回転角度位置に対する値が確定される形式のクランク軸に相対的な往復動ピストン内燃機関のカム軸回転角度位置を確定するための方法に関する。

【背景技術】

【0002】

この種の方法は、実質的に公知である。この場合調節伝動装置として循環型伝動装置が設けられており、そのドライブシャフトに、カム軸に対して相対的に回転可能に支承されているカム軸歯車が回転不動に結合されている。このカム軸歯車は、駆動チェーンを介して駆動可能に接続形成される。調節伝動装置のドリブンシャフトは、カム軸と駆動可能に接続形成され、調整シャフトは調整モータに駆動可能に接続形成される。静止しているドリブンシャフトのもとで調整シャフトとドリブンシャフトの間で調節伝動装置によって設定されるギヤ比が存在しており、これはいわゆる静止ギヤ比である。調整シャフトが回転すると、調整シャフトの回転方向に応じてカム軸歯車と相対的にドライブシャフトとドリブンシャフトの間でギヤ比の拡大ないし縮小が生じ、それによってカム軸のクランク軸に対する相対的な位相位置に変動が生じる。内燃機関が一定の位相位置で作動される方法に比べて、位相位置が適応化されるならば、内燃機関のより良好なシリンダ充填が達成される。これにより燃料が節約でき有害物質の排出が低減され及び/又は内燃機関の出力が高められる。目標値信号に向けて位相位置を制御するためには、まずクランク軸の回転角度と調整シャフトの回転角度を誘導型センサを用いて測定し、その後で既知の静止ギヤ比を用いてカム軸のクランク軸に対する相対的な位相位置の実値信号を確定しなければならない。基準点においては、マイクロプロセッサベースの電子制御機器において割込みがトリガされ、この割込みのもとでは調整シャフト回転角度に対する測定値が制御装置へ読込まれ、供給された目標値信号と比較される。ここにおいて測定値と目標値信号との間で偏差ないしずれが生じている場合には、制御装置はECモータを次のように駆動制御する。すなわち当該のずれが低減されるように駆動制御する。調整シャフト回転角度の測定は、磁気センサを用いて行われる。この磁気センサは、ECモータのロータの周面に配設されているマグネットセグメントの位置をデジタル方式で検知している。しかしながら測定値のデジタル化と調整シャフト測定時点からずれている基準点のデジタル化に基づいて測定の不精度が生じてしまう。このような不精度は、測定されたカム軸の相対的な角度位置が実際の回転角度位置までの分だけ鋸刃状の変動となって現れてしまうことになりかねない。このことは制御精度に不都合な作用を及ぼし、それ以外にもECモータの過度なエネルギー消費に結び付く。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

それ故に本発明の課題は、冒頭に述べたような形式の方法において、カム軸のクランク軸に対する相対的な回転角度位置をさらに正確に確定できるように改善を行うことである。

【課題を解決するための手段】

【0004】

この課題は本発明により、

少なくとも2つの調整シャフト回転角度測定値と、調整シャフト測定時点間の時間差並びに最後の調整シャフト測定時点と基準時点の間の時間間隔とから、調整シャフトが基準時点において有している回転角度に対する推定値を外挿により求め、

前記推定値と、少なくとも1つのクランク軸回転角度測定値と、伝動装置パラメータとから回転角度位置に対する値を確定するようにして解決される。

【0005】

本発明によれば、位相位置に対する値の精度が次のことによって有利な形式で高められる。すなわち、最後の調整シャフト測定時点とそのつどの目下の基準点との間で調整シャフトをさらに回転させ続ける角度を推定し、その推定値を位相位置に対する値を求める際に考慮することによって高められる。これによって、測定された調整シャフト回転角度経過と実際の調整シャフト回転角度経過の間で現れる鋸刃状の変動の振幅が相応に低減される。それにより本発明による方法は、位相位置の確定の際の高い精度と調整モータの少ないエネルギー消費を達成できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0006】

本発明の有利な実施形態によれば、少なくともそのつどの最後の調整シャフト測定時点において調整シャフトの角速度に対する値が求められ、調整シャフトが基準時点において有している回転角度に対する推定値を、最後の調整シャフト回転角度測定値と、基準点と最後の調整シャフト測定時点の間の時間差並びに角速度値とから求める。つまり基準時点における調整シャフト回転角度測定値は、線形な補外処理によって、そのつどの最後の調整シャフト回転角度測定値から角速度値を用いて求められる。この角速度値は、最後に測定された2つの角速度値の角度差とこれらの角速度値に割当てられた測定時点の間の時間差とから算出される。

【0007】

本発明の別の有利な実施形態によれば、前記調整モータはECモータであり、該ECモータは、巻線を備えたステータと調整シャフトに回転不動に結合されたロータを有しており、該ロータの周囲には周面方向で互いにずらされて相対向する方向で交互に磁化された複数のマグネットセグメントが配設されており、該マグネットセグメントは、それらの位置付け及び/又は寸法に関して許容誤差を有しており、調整シャフト角度測定値及び/又は角速度値の検出のために前記マグネットセグメントのステータに対する相対的な位置が検出され、調整シャフト回転角度測定値に対する少なくとも1つの許容誤差の影響を補償するための少なくとも1つの補正值が求められ、該補正值を用いて調整シャフト回転角度測定値及び/又は角速度値が補正される。この実施形態は、次のような見識に基づいている。すなわち、ステータに対して位置固定されて配設されている磁気センサを、許容誤差を含んでいるロータのマグネットセグメントが何度も通過する場合には、磁気センサの各通過毎に当該磁気センサを用いて検出される相応のマグネットセグメントに対する位置測定信号が常に同じようなマグネットセグメントの許容誤差に起因するエラーを有していることである。このエラーは、測定によって若しくは他の方式で求められ、その後で補正值が確定され、この補正值を用いて該当するマグネットセグメントが磁気センサを新たに通過する際に、調整シャフト回転角度測定値が後の時点まで補正される。それにより、マグネットセグメントの許容誤差によって引き起された測定不精度が簡単な方法で回転数信号において補正される。その際には、補正された回転数値と補正されていない回転数値との間で時間遅延を生じさせることなく、この補正をオンラインでそのつどの目下の測定された回転数値に施すことが可能である。

【0008】

有利には、前記マグネットセグメントの位置が測定装置を用いて検出され、該測定装置は、ステータに複数の磁気センサを有しており、該磁気センサは、ロータの回転毎にステータに対して相対的にこれらの磁気センサの組み合わせが通過していくように、ステータの周面方向で相互にずらされて配設されており、これらの各マグネットセグメント・センサ組み合わせ毎にそれぞれ1つの補正值が求められて記憶され、調整シャフト回転角度測定値及び/又は角速度値の補正のために用いられる。これによりクランク軸に対する相対的なカム軸の位相位置は、より一層高精度に設定できる。マグネットセグメント・センサ組み合わせの数は有利には、磁気センサの数とロータの磁極の数の積に相応する。

【0009】

本発明の別の有利な実施形態によれば、所定数のマグネットセグメント・センサ組み合わせが通過するようにロータがステータに対して相対的に回転され、測定装置(17)を用

いて当該のマグネットセグメント・センサ組合わせに対して第1の補正されていない調整シャフト回転角度測定値及び/又は角速度値が求められ、調整シャフト回転角度及び/又は角速度に対する付加的な基準値が求められ、それは第1の調整シャフト回転角度測定値ないしは角速度値よりも大きい精度を有しており、第1の補正されていない調整シャフト回転角度測定値及び/又は角速度値を用いて、補正値が補正係数として求められ、第1の未補正の調整シャフト回転角度測定値ないしは角速度値に割当てられるマグネットセグメント・センサ組合わせが新たに通過し、その際前記測定装置を用いて第2の未補正の調整シャフト回転角度測定値ないしは角速度値が検出され、これらの値が、事前に求められた補正係数を用いて補正される。これらの補正値は、補正係数の形態で求められる。これにより、マグネットセグメントの許容誤差によって引き起された測定エラーの補正が、様々な回転数のもとで可能となる。基準信号は、例えばECモータの製造の際に付加的な位置測定装置を用いて検出された測定信号であってもよい。この基準信号は、ECモータに結合されているシャフトの回転数信号及び/又は積分された加速度信号であってもよい。

【0010】

本発明の有利な実施例によれば、前記基準値は、第1の補正されていない調整シャフト回転角度測定値ないしは角速度値がフィルタリングによって平滑化されることによって形成される。これにより基準信号測定のための付加的なセンサは不要となる。

【0011】

有利には、個々のマグネットセグメント・センサ組合わせが少なくとも2回出現するようにロータがステータに対して相対的に回転され、その場合個々のマグネットセグメント・センサ組合わせ毎に、調整シャフト回転角度測定値ないしは角速度値に対するそれぞれ1つの補正係数が求められ、個々のマグネットセグメント・センサ組合わせ毎に求められた複数の補正係数からそれぞれ1つの平均値が形成され、そのようにして得られた平均値が新たな補正係数として記憶され、調整シャフト回転角度測定値ないしは角速度値が、マグネットセグメント・センサ組合わせの新たな通過の際に前記補正係数を用いて補正される。この場合個々のマグネットセグメント・センサ組合わせは、有利にはできるだけ頻繁に通過する。このことは電子的なカム軸調整のためのECモータのもとでは問題なく可能である。なぜならこのモータは内燃機関の作動中は常に回転しているからである。

【0012】

本発明の有利な実施例によれば、平均値としてそのつど算術的な平均値が形成される。その際平均値形成に対して利用された同じ重み付けの全ての補正係数が平均値に關与する。

【0013】

本発明の別の有利な実施例によれば、平均値としてそのつど平滑化される平均値が形成され、有利には補正係数の平均値に關与する重み付けが、補正係数の経時特性の増大と共に低減される。つまり新たな補正係数は、引き続き過去にさかのぼった時点に対応付けされている補正係数よりも強く平均値に關与している。一度エラーは発生すると、これはマグネットセグメント・センサ組合わせが識別されないことにつながり、それによって、既に求められた補正係数がまちがったマグネットセグメントに対応付けられる。この誤った補正係数割当ては、短時間しか回転数信号の補正に影響を及ぼさない。すなわち誤った補正係数は比較的迅速に“忘却”される。

【0014】

有利には、個々のマグネットセグメント・センサ組合わせに対する平滑化された平均値 $F_{Neu}[i(t-T)]$ が、以下の関係式、

$$F_{Neu}[i(t-T)] = F_{Alt}[i(t-T)] + (1 - \quad) F[i(t-T)]$$

に従って周期的に求められ、

この場合前記 i は、そのつどのマグネットセグメント・センサ組合わせを識別するインデックスであり、前記 t は時間であり、前記 T は、実際の角速度と測定された角速度値の間の遅延時間であり、前記 $F_{Alt}[i(t-T)]$ は、最後の平均値形成の際にインデックス

10

20

30

40

50

i にて求められた平均値であり、前記 は忘却係数であり、これは 0 よりも大きく 1 よりも小さくて有利には 0.7 ~ 0.9 の間にある。この種の平均値形成は、オンライン計算に対して良好に適している。時間 T は、回転数に依存しており、回転数の増加と共に低減する（イベント制御システム）。

【0015】

本発明の有利な実施形態によれば、

- a) ロータがステータに対して相対的に回転され、補正係数が個々のマグネットセグメント・センサ組合わせに対して求められて記憶され、
- b) その後相応するマグネットセグメント・センサ組合わせが新たに通過され、その場合新たな補正係数のセットが求められ、
- c) 先行の補正係数セットの補正係数が、新たな補正係数セットの補正係数に対して相対的に周期的に入れ替わり、その後で当該の補正係数セットが相互に比較され、
- d) 前記ステップ c) は、先行する補正係数セットの全ての入れ替わり組合わせが新たな補正係数セットと比較されるまで繰返され、
- e) 新たな補正係数セットとの最大の一致が現れる入れ替わり組合わせが求められ、
- f) 前記入れ替わり組合わせに対応付けられる先行の補正係数セットの補正值の配置構成を用いて角速度値が補正される。

10

【0016】

このようにしてマグネットセグメントへの補正係数の対応付けが例えば測定信号の障害に基づいて不所望に変更されてしまったような場合に再構築され得る。それにより既に求められた補正係数が障害の発生の後でも引き続き使用できるようになる。その際 EC モータのロータにおけるロータのステータに対する相対的な位置の絶対測定を可能にする識別特徴は省くことができる。有利にはこの方法は、EC モータの再投入接続の後でも、先行する投入フェーズの間に求められて不揮発性のメモリに記憶された補正係数を、先の投入フェーズ中に求めたその時のマグネットセグメント・センサ組合わせに対応付けるために適用することが可能である。場合によってはこれらの補正係数は、EC モータの製造の際の理想的条件のもとで、すなわち有利には製造の最終段階で求められてもよい。

20

【0017】

有利には、補正係数セット間で最大の一致が現れる入れ替え組合わせのもとでそれぞれ相互に対応付けられた先行の補正係数セットと新たな補正係数セットの補正係数からそのつど 1 つの平均値が形成され、新たな補正係数として記憶され、当該平均値形成によって得られた補正係数セットを用いて角速度値を補正する。すなわち第 1 のデータセットの補正係数も第 2 のデータセットの補正係数も角速度値の補正の際に考慮される。

30

【0018】

本発明の有利な実施形態によれば、

- a) 全てのマグネットセグメント・センサ組合わせが少なくとも一回は通過するようにロータをステータに対して相対的に回転させ、
- b) その場合 EC モータ (14) の回転毎にロータの各磁極対毎にそれぞれ所定数の測定信号状態が経過するように、磁気センサの位置測定信号を生成し、
- c) それぞれ少なくとも該当するマグネットセグメント・センサ組合わせに対する補正係数とそれに対応付けられた測定信号状態とからなる、マグネットセグメント・センサ組合わせの数に相応する数の値組合わせを有する第 1 のデータセットを求めて記憶し、
- d) その後で、相応するマグネットセグメント・センサ組合わせを新たに通過させ、その場合に値組合わせを有する新たな第 2 のデータセットを求めて記憶し、
- e) 第 1 のデータセットと第 2 のデータセットの測定信号状態の間でずれが生じている場合に、データセットの測定信号状態が一致するように、第 1 のデータセットの値組合わせが周期的に第 2 のデータセット値組合わせに対して相対的にシフトされ、
- f) その後で、それぞれ相互に対応付けられたデータセットの補正係数が相互に比較され、
- g) 1 つのデータセットの補正係数が、磁気センサの二倍の数に相応する数のステップだ

40

50

け他のデータセットの補正係数に対して相対的に周期的に入れ替えられ、その後でそれぞれ相互に対応付けられたデータセットの補正係数が相互に比較され、

h) 場合によって前記ステップ g) を全ての入れ替え組合わせが処理されるまで繰返し、
i) データセットの補正係数間で最大の一致が見られた入れ替え組合わせが求められ、
j) この入れ替え組合わせに対応付けられる第 1 のデータセットの補正值の指示を用いて角速度値が補正される。

【0019】

この手段によって比較的少ない入れ替え操作ないしシフト操作と、それに伴う相応に少ない時間コストでもって、マグネットセグメント・センサ組合わせに対する補正係数の対応付けが再構築され得る。

10

【0020】

その際には、データセットの補正係数間で最大の一致が見られた入れ替え組合わせのもとでそのつどの相互に対応づけられた、第 1 のデータセットの補正係数と第 2 のデータセットの補正係数からそのつど 1 つの平均値を形成し、新たな補正係数として記憶し、そのような平均値形成によって得られた補正係数セットを用いて角速度値を補正することも可能である。それにより第 1 のデータセットの補正係数も第 2 のデータセットの補正係数も回転数信号の補正の際に考慮される。

【0021】

本発明の有利な実施例によれば、補正されていない角速度値と補正された角速度値の変動幅が 1 つの時間窓の中で求められて相互に比較され、補正された角速度値の変動幅が、補正されていない角速度値の変動幅よりも大きい場合には、補正係数が新たに求められ、及び / 又はマグネットセグメント・センサ組合わせに対する補正係数の対応付けが再構築される。この場合は次のことが前提となっている。すなわち補正された角速度値の変動が補正されていない角速度値の変動よりも大きい場合には、個々のマグネットセグメント・センサ組合わせに対する補正係数の対応付けにおいて例えば EMC 放射によるエラーが発生していることが前提となっている。このようなエラーの補正のために、補正係数が値 1 にリセットされ、その後で新たな適応化がなされるか若しくは初期の対応付けが、例えば補正係数の周期的な入れ替えによって再構築される。

20

【0022】

有利には、前記補正係数は、予め定められた値範囲に制限され、該値範囲は、有利には 0.8 ~ 1.2 の間である。これにより、補正された回転数信号の中で、所定の値範囲外にある妥当でない補正係数によって引き起されている異常値が抑圧される。

30

【0023】

本発明の有利な実施形態によれば、ロータの慣性モーメントに対する慣性モーメント値が確定され、個々の調整シャフト測定時点毎にそれぞれ巻線内の電流的電流に対する電流値 $I(k)$ を求めることによって電流信号 I が検出され、個々の角速度値 (k) 毎にそのつど、先の調整シャフト測定時点に対応付けられた角速度値 $k(k-1)$ と、電流信号 I と、慣性モーメント値とから角速度値 (k) に対する推定値 $s(k)$ が求められ、前記推定値 $s(k)$ に、当該推定値 $s(k)$ の含まれている許容誤差帯域を対応付け、角速度値 (k) が許容誤差帯域外に存在する場合には、当該角速度値 (k) が、許容誤差帯域内にある角速度値 $k(k)$ によって置換えられる。つまり許容誤差帯域外にあるため妥当性を有さない角速度値 (k) は、許容誤差帯域に対して制限される。この場合許容誤差帯域に対する限界値は、動的に求められる。それにより、平滑化されたないしは補正された角速度信号と測定された角速度信号の間で顕著な時間遅延を伴うことなく、角速度値内の変動が簡単な形式で平滑化される。この制限には電気機械の動的関係式が基づいている。:

40

$$J \cdot d^2 \theta / dt^2 = K_t \cdot I$$

この場合前記 J はロータの慣性モーメントであり、前記 θ はロータの回転数、前記 K_t は、電気機械の定数、前記 I は巻線電流、そして前記 t は時間である。回転数推定値 $s(k)$ は以下の関係式、

50

【 0 0 2 4 】

【 数 1 】

$$\omega_s(k) = \omega_k(k-1) + \frac{T \cdot K_t I(k-1)}{J}$$

によって求められる。この場合前記 T は走査期間を表している。

【 0 0 2 5 】

許容誤差帯域の幅が、 $\pm \text{Greenz}$ に定められるならば、k 番目の回転数測定値 (k) に対する許容誤差帯域の上方の境界値 $\text{HighLim}(k)$ と下方の境界値 $\text{LowLim}(k)$ が以下の式、

$$\begin{aligned} \text{HighLim}(k) &= \omega_s + \text{Greenz} = (k-1) + T K_t \cdot I(k-1) / J + \text{Greenz} \\ \text{LowLim}(k) &= \omega_s - \text{Greenz} = (k-1) + T K_t \cdot I(k-1) / J - \text{Greenz} \end{aligned}$$

に従って求められる。この場合許容誤差帯域の幅 $\pm \text{Greenz}$ は、角速度値の変動の跳躍的低減を達成するために有利には回転数測定値 (k) の変動幅よりも遙かに小さく選定される。

【 0 0 2 6 】

本発明の有利な実施形態によれば、ロータが負荷モーメントによって負荷され、当該負荷モーメントに対して負荷モーメント信号 M_L を供給し、推定値 $\omega_s(k)$ がそのつど、先の走査時点に対応付けられた角速度値 $\omega_k(k-1)$ と、電流信号 I と、負荷モーメント信号 M_L と、慣性モーメント値とから確定される。E C モータの動的な関係式は次式、 $J \cdot d\omega / dt = K_t \cdot I - M_L$ によって表される。

【 0 0 2 7 】

その結果から角速度推定値 $\omega_s(k)$ 並びに許容誤差帯域の上方の境界値 $\text{HighLim}(k)$ と下方の境界値 $\text{LowLim}(k)$ が以下の式

【 0 0 2 8 】

【 数 2 】

$$\omega_s(k) = \omega_k(k-1) + \frac{T \cdot K_t I(k-1)}{J} - \frac{T \cdot M_L(k-1)}{J}$$

$$\omega_{\text{HighLim}}(k) = \omega_s + \Delta\omega_{\text{Grenz}} = \omega(k-1) + T/J [K_t I(k-1) - M_L(k-1)] + \Delta\omega_{\text{Grenz}}$$

$$\omega_{\text{LowLim}}(k) = \omega_s - \Delta\omega_{\text{Grenz}} = \omega(k-1) + T/J [K_t I(k-1) - M_L(k-1)] - \Delta\omega_{\text{Grenz}}$$

に従って求められる。

【 0 0 2 9 】

本発明の別の有利な実施形態によれば、巻線に印加された電圧が検出され、電流値 $I(k)$ が間接的に、巻線の電圧とインピーダンスと、場合によって補正される角速度値 $\omega_k(k)$ と、モータ定数とから確定される。相応の系列関係式は、次式、

$$U = R_A \cdot I + L_A \cdot dI / dt + K_e \cdot \omega_k$$

で表される。この場合前記 R_A は、巻線のオーム抵抗であり、前記 L_A は、巻線のインダクタンスであり、前記 K_e は、E C モータのモータ定数である。この方法は、有利には、巻線電流が巻線に印可される電圧のパルス幅変調によって設定される E C モータに適用できる。

【 0 0 3 0 】

10

20

30

40

50

有利には、許容誤差帯域の幅及び／又は位置が、先の調整シャフト測定時点に対応付けられた角速度値 ω_k ($k - 1$) に依存して選択され、有利には角速度の増加と共に低減されるか、及び／又は角速度の低減と共に増大される。カムシャフトの負荷モーメントに対して平均値が存在し、その精度が回転数に依存しているならば、精度の回転数依存性は、許容誤差帯域の幅の確定の際に考慮される。

【0031】

別の有利な実施例によれば、許容誤差帯域の幅及び／又は位置が、電流信号 I に依存して選択され、有利には電流の増加と共に増大されるか、及び／又は電流の低減と共に低減される。この場合は、巻線電流が大きい場合にはロータは通常は加速され、それによって回転数も相応に上昇することを前提としている。つまり許容誤差帯域の幅及び／又は位置は、巻線の通電に基づいて推定されるロータの回転数変化に整合される。

10

【0032】

回転数信号が例えばリブルに起因するような障害を伴っている場合には、大抵は巻線電流も相応に変動する。このようなケースでは、有利には、電流信号 I がフィルタリング、特に平滑化される平均値形成によって平滑化され、角速度値 ω_k (k) に対する推定値 ω_s (k) がフィルタリングされた電流信号 I を用いて確定される。

【0033】

本発明の別の有利な実施形態によれば、

そのつど少なくとも2つのクランク軸回転角度測定値と、

これらの測定値に対応付けられたクランク軸回転角度測定時点間の時間差と、

20

最後のクランク軸測定時点と基準点の間の時間間隔とから、

基準点においてクランク軸が有している回転角度に対する推定値を補外によって求め、

基準点と最後のクランク軸測定時点の間の時間差を求め、

推定値が、

最後のクランク軸測定時点におけるクランク軸回転角度測定値と、時間差と、角速度値とから確定される。この手段によって、調整シャフト測定時点の補外との組み合わせにおいて非常に高い精度が位相位置の設定の際に達成される。

【0034】

有利には、許容誤差帯域を境界値によって制限し、許容誤差帯域外にある角速度値 ω_k (k) を許容誤差帯域の自身の次に存在する境界値に補正する。

30

【実施例】

【0035】

次に本発明を図面に基づき以下の明細書で詳細に説明する。

【0036】

クランク軸12に対する往復動ピストン内燃機関のカム軸の回転角度位置ないし位相位置の調整のための調整装置は、調節伝動装置13を有しており、この調節伝動装置13は、クランク軸に固定されたドライブシャフトと、カム軸に固定されたドリブンシャフトと、調整モータのロータに結合された調整シャフトとを有するトリプルシャフト伝動装置として構成されている。位相位置に対する測定値の確定のために、クランク軸の測定時点においてクランク軸回転角度に対する測定値がそのつど検出される。その他に調整シャフト測定時点において調整シャフト回転角度に対する測定値が測定される。これらのクランク軸回転角度の測定値と調整シャフト回転角度の測定値からは、トリプルシャフトギヤの既知の固定ギヤ比を用いて位相位置に対する値が確定される。

40

【0037】

図1からは次のようなことが識別できる。すなわちクランク軸回転角度の測定のために、誘導センサ15が設けられており、該誘導センサ15は、クランク軸12に設けられた導磁性材料からなるスプロケット16の歯面を検出する。このスプロケット16の間隙ないし歯のうちの1つは、その他の間隙ないし歯に比べて幅広に構成されており、基準マークとして用いられる。この基準マークがセンサ15を通過すると、クランク軸回転角度に対する測定値はスタート値にセットされる。その後で測定値は基準マークがセンサ15を

50

新たに通過するまで歯面の各検出毎に捕捉される。このクランク軸回転角度に対する測定値の捕捉は、制御機器を用いて行われる。この制御機器では、操作プログラムによって1つの歯面の検出毎に割込みがトリガされる。つまりクランク軸回転角度は、デジタル方式で測定されている。

【0038】

前記調整モータとしてECモータ14が設けられており、このモータは、ロータを有しており、このロータの周囲には互いに相対向する方向で交互に磁化された一連のマグネットセグメントが配設されている。これらのマグネットセグメントは、空隙を介してステータの歯と磁氣的に相互作用する。これらの歯は、駆動装置を介して通電される巻線によって巻回される。

10

【0039】

ステータに相対するマグネットセグメントの位置と調整シャフト回転角度は、測定装置17を用いて検出される。この測定装置17は、ステータに複数の磁気センサA、B、Cを有しており、これらのセンサは、ロータの回転毎にこれらの磁気センサの組み合わせが通過していくように、ステータの周面方向で相互にずらされて配設されている。カム軸回転角度に対する基準値センサとしてホールセンサ18が設けられており、このホールセンサ18は、カム軸11に設けられているトリガホイール19と相互作用している。このホールセンサ18がトリガホイール19のエッジを検出すると、制御機器の操作プログラムにおいて割込みがトリガされる。この割込みのもとではクランク軸回転角度と調整シャフト回転角度が中間記憶される。この割込みは、以下ではカム軸割込みとも称する。

20

【0040】

カム軸によってトリガされた絶対角度 A_{abs} と相対的調整角度 R_{el} は、目下の調整角度 $a_{k t u e l l}$ に対して算出される。この目下の調整角度 $a_{k t u e l l}$ を表す信号は、位相位置の制御に対して設けられている制御回路の実際値入力側に供給される。前記絶対値角度 A_{abs} は、カム軸割込みのトリガされた時点 $t_{T r i g N W}$ でのクランク軸角度である。すなわち、

$$A_{abs} = K_W (t_{T r i g N W})$$

この場合クランク軸12に相対するカム軸1の回転角度位置 R_{el} は、ロータの角度カウンタの時間同期変化(制御器操作) E_m とカム軸トリガの際の基準値に関するクランク軸 K_W からトリプルシャフトギヤのギヤ基本方程式を解して算出される。すな

30

わち、

【0041】

【数3】

$$\varepsilon_{Aktuell} = \varepsilon_{Abs} + \varepsilon_{Rel} = \varepsilon_{Abs} + \frac{1}{i_g} \cdot (\Delta\varphi_{KW} - 2 \cdot \Delta\varphi_{Em})$$

$$\varepsilon_{Aktuell} = \varphi_{KW, TrigNW} + \frac{1}{i_g} \cdot ([\varphi_{KW} - \varphi_{KW, TrigNW}] - 2 \cdot [\varphi_{Em} - \varphi_{Em, TrigNW}]) \quad (1.1)$$

40

この場合前記 i_g は、カム軸11と調整シャフトの間の固定ギヤ比である。すなわち、

【0042】

【数4】

$$i_g = \frac{n_{Em}}{n_{NW}} \Big|_{n_{Kw}=0}$$

回転角度位置 R_{el} を算出するために、クランク軸の角度 $K_W, T r i g N W$ とECモータロータないし調整シャフトの角度 $E_m, T r i g N W$ がカム軸トリガの時点で

50

記憶される。その後の時点では、制御機器の操作プログラムにおいて割込みがトリガされ、そこでは回転角度位置 R_{e1} が、中間記憶された角度 $KW, TrigNW$ と角度 $E_{m, TrigNW}$ を用いて算出される。この割込みは、以下では周期的割込みとも称する。

【0043】

相対的回転角度位置 R_{e1} の分解能は、前記式(1.1)の個々の構成要素の不確定性の観察によって得られる。クランク軸回転角度は例えば $0 \sim +0.2^\circ$ の不確定性を有する。測定装置17の分解能 E_M は、磁極対Pの数(例えば $P=7$)と磁気センサA, B, Cの数(例えば $m=3$)から得られる。すなわち、

$$E_M = 360^\circ / (2 \cdot m \cdot P) = 360^\circ / (2 \cdot 3 \cdot 7) = 8.57^\circ$$

10

この場合不確定性の帯域は(正の回転数)一方の側では $-0^\circ \sim 8.57^\circ$ におかれてもよい。なぜなら角度はそのつどのマグネットセグメント・センサ組合わせの入替えの時点で正確にピックアップされ、その後で増分されるからである。相対的回転角度位置 R_{e1} が、クランク軸の回転角度 $KW, TrigNW$ と調整シャフトの回転角度 $E_{m, TrigNW}$ から直接算出されるのであれば、相対的回転角度位置 R_{e1} に対する測定精度は、以下の関係式から $-0.29^\circ \sim +0.49^\circ$ となる。:

【0044】

【数5】

$$\varepsilon_{-0.29}^{+0.49} = \varphi_{KW, TrigNW-0}^{+0.2} + \frac{1}{i_g} \left([\varphi_{KW-0}^{+0.2} - \varphi_{KW, TrigNW-0}^{+0.2}] - 2 \cdot [\varphi_{Em-0}^{+8.57} - \varphi_{Em, TrigNW-0}^{+8.57}] \right)$$

20

【0045】

図2からも明かなように、調整シャフト回転角度のデジタル化は、周期的割込みの発生する時点とマグネットセグメント・センサ組合わせの入れ替わる時点との間である種のうなりを生じる。定常的にはECモータ14は、クランク軸12の正確に二倍の速さで回転する。通常は、周期的割込みの発生する時点は、マグネットセグメント・センサ組合わせの入れ替わる時点から区別される。図2では例えばマグネットセグメント・センサ組合わせの新たな入れ替わりは、8つの割込み周期内で、つまり割込み周期毎にE-モータは、 $(9/8) \cdot 8.57^\circ$ の角度を網羅する。制御機器においては 8.57° の整数倍だけ読出されるので、真の調整シャフト回転角度と制御機器内で処理された調整シャフト回転角度の間の差分は、周期的な割込みのもとでホールセンサパルスがいつもよりも多く関与するまで拡大し続け、真の調整シャフト回転角度と測定された調整シャフト回転角度が短時間だけ再び同期する。

30

【0046】

相対的回転角度位置 R_{e1} がクランク軸回転角度 $KW, TrigNW$ と調整シャフト回転角度 $E_{m, TrigNW}$ から直接算出されるのであれば、測定された回転角度位置 R_{e1} において前記式(1)に従ったジャンプがもたらされる。それはほぼ $= 2 \cdot E_M / i_g$ の大きさを有し、介入制御を誘因する。このことは特に定常的運転中では望まれない。

40

【0047】

このジャンプの高さを低減するか若しくはほぼ完全に回避するために、そのつどの少なくとも2つの調整シャフト回転角度測定値の外挿によって、調整シャフトが基準点において有する回転角度であって調整シャフト測定時点後に存在する回転角度に対する推定値が求められる。この基準点として一方では、カム軸の割込みが出現する時点であって、他方では、周期的な割込みがトリガされる時点が選択される。

【0048】

以下では前記外挿を図3に基づいて説明する。カム軸割込みの時点 t_{TrigNW} では、調整シャフト回転角度値に相応する、測定装置17のカウンタ状態 N_{TrigNW} が生じる。時間 t_{TrigNW} 並びに回転数 $E_{m, TrigNW}$ は、マグネットセグメ

50

ント・センサ組合わせの入れ替わりのもとで得られる。相応のデータには、各周期的割込み t_i 毎にアクセスされ得る。例えば時点 t_{18} に対してカウンタ状態 $N_{t_{18}}$ 、差分時間 t_{18} および回転数 $E_{m, t_{18}}$ が得られる。

【0049】

マグネットセグメント・センサ組合わせの最後の入れ替わりの出現以降に亘る角度、つまりカム軸トリガの際の、目下の制御機器割込み時点 t_i での EC モータないしは調整シャフトの角度は以下の式に従ってこれまでよりも正確に求められる。：

$$E_{m, TriggNW} = N_{TriggNW} \cdot E_m + t_{TriggNW} \cdot E_{m, TriggNW} \quad (2.1)$$

$$E_{m, t_i} = N_{t_i} \cdot E_m + t_i \cdot E_{m, t_i} \quad (2.2)$$

10

それに相応して位相角度の計算に必要な制御機器割込み時点 t_i での差分角度は以下のとおりである。：

$$E_{m, t_i} = E_{m, t_i} - E_{m, TriggNW} \\ = (N_{t_i} - N_{TriggNW}) \cdot E_m + [t_i \cdot E_{m, t_i} - t_{TriggNW} \cdot E_{m, TriggNW}]$$

外挿に対しては目下の EC モータ回転数が必要である。それは最も簡単には、最後の調整シャフト測定時点とその 1 つ前の調整シャフト測定時点の間の持続時間 t_{Hall} から得られるかないしは最後のマグネットセグメント・センサ組合わせの入れ替わりとその 1 つ前のマグネットセグメント・センサ組合わせの入れ替わりとの間の持続時間 t_{Hall} から得られる（これらの上方は時間遅延なしで直ちに得られる）。カウント方向の極性符号 S と関連して以下の関係式が成り立つ。：

20

$$E_m = S \cdot E_m / t_{Hall}$$

この手法は非常に簡単であるが、しかしながら変動の大きな値を供給しかねない。なぜならマグネットセグメント・センサ組合わせの入れ替わりの間の持続時間 t_{Hall} が一定の回転数のもとでも許容誤差のために非常に不規則になり得るからである。結果の改善のために基本的には複数の調整シャフト回転角度値に亘る平均化が可能である。しかしながらその場合には、時間遅延を伴ってしか平均値が算出できないことに注意しなければならない。そのため EC モータ 14 の加速のもとではこのエラーが外挿に影響を及ぼす。制御機器割込みにおいては、EC モータ 14 の目下の回転数 E_m が位相角の制御に対しても算出される。

30

【0050】

以下の明細書では、図 4 から図 7 に基づいて、前述した許容誤差に起因して現れるエラーの、クランク軸に相対するカム軸の回転角度位置への影響が、時間遅延なしでどのように低減され得るかを説明する。

【0051】

図 4 に示されている実施例では、ロータが 8 つのマグネットセグメント 1 ... 8 を有している。これらのマグネットセグメント 1 ... 8 は、それらの固定されている支持体部分 9 の周面方向において相互に 45° のパターンでずらされている。マグネットセグメント 1 ... 8 は、ロータの周面においてそれぞれ 1 つの磁極を形成している。これにより周面に亘って全部で p 個の磁極対が生じる。このことは図 4 において例えば $p = 4$ 個の磁極対を有した 1 つのロータで表されている。マグネットセグメント 1 ... 8 によって形成されたリング上では、その方向の回転毎に磁化が 8 回入れ替わる。既に前述したように、マグネットセグメント 1 ... 8 は、周面方向でその位置に関しても寸法に関しても許容誤差を有している。相互に隣接するマグネットセグメント 1 ... 8 の相互に対応する箇所間の機械的な角度は、目標値 $180^\circ / p$ （ここでは 45° ）からずれている。ロータの回転方向は、図 4 では矢印 Pf によって表されている。

40

【0052】

磁気センサ A の出力信号は、ロータの回転毎に角度 分変化する。それにより磁気センサ A だけを用いることによってロータ回転角度の分解能 が達成可能である。図 4 からわ

50

かるように、センサ A , B , C がロータの周面に相互にずらされて設けられている。このずれは次のように選択される。すなわちセンサ A , B , C を用いて検出される位置測定信号が $180^\circ / (p \cdot m)$ の分解能を有するように選択される。このことは次のことによって達成される。すなわち磁気センサ B が磁気センサ A に対して $= 180^\circ / m$ の整数倍を含めて $180^\circ / (m \cdot p)$ の機械的角度だけ順方向の回転方向 P f にずらされ、磁気センサ C は磁気センサ A に対して当該機械的角度の二倍だけ順方向の回転方向 P f にずらされることによって達成される。

【0053】

図 5 には、センサ A , B , C の出力信号 A , B , C から統合された調整シャフト回転角度信号の区分が矢印 P f の方向での適正な回転に対してグラフィックに表されている。その場合出力信号 A は磁気センサ A に対応付けられ、出力信号 B は磁気センサ B に対応付けられ、出力信号 C は磁気センサ C に対応付けられる。これらの出力信号 A , B , C はデジタル信号であり、これらのデジタル信号は、論理値 0 若しくは 1 をとり得る。この場合論理値 1 は、該当するセンサ A , B , C に、N 極を形成するマグネットセグメント 1 ... 8 が対向した場合に発生する。相応した形式で出力信号 A , B , C は、該当するセンサ A , B , C に、S 極を形成するマグネットセグメント 1 ... 8 が対向した場合に論理値 0 をとる。

【0054】

それぞれ該当するセンサ A , B , C の前をちょうど通過するマグネットセグメント 1 ... 8 に対する出力信号の個々の値の対応付けを一義的にするために、出力信号値にはそれぞれ該当する磁気区分 1 ... 8 の関連数が表されている。図 5 では、出力信号下方の横軸にそれぞれ磁気的回転角度 *magnetisch* と機械的回転角度 *mechanisch* がプロットされている。機械的な $360^\circ / p (= 90^\circ)$ の回転のもとで調整シャフト回転角度信号は、相前後して $2 \cdot m (= 6)$ の異なる状態をとりそれが繰返されていることが明かである。

【0055】

出力信号 A , B , C から合成される調整シャフト回転角度信号は、評価のために制御機器に伝送される。この制御機器は、磁気センサ A , B , C に接続されている。制御機器には、出力信号 A , B , C がわかっているだけであり、どのマグネットセグメント 1 ... 8 がちょうどセンサ A , B , C を通過しているかはわからない。

【0056】

図 5 では、常にマグネットセグメント・センサ組合わせのうちの 1 つがアクティブであることがわかる。これらは図 5 において左方から右方に向けてマグネットセグメント・センサ組合わせ (1, 6, 3)、(1, 6, 4)、(1, 7, 4)、(2, 7, 4)、(2, 7, 5)、(2, 8, 5) などである。これらのマグネットセグメント・センサ組合わせのシーケンスは $2p$ 個のマグネットセグメント 1 ... 8 が磁気センサ A , B , C を通過した後で繰返される。すなわち完全な機械的な一回転の後で繰返される。

【0057】

位置測定信号がその値を変更する入れ替わりの数を介してロータの総回転角度が確定される。スタート値から出発して総回転角度は各入れ替わり毎に増分する。

【0058】

そのように求められた調整シャフト回転角度信号は、回転数信号の形成のために微分される。このことは例えば次のように行われてもよい。すなわち調整シャフト回転角度信号の 2 つの変化の間の時間 t を測定し、回転数 n を以下の式、

$$n = TT / (m \cdot p \cdot t) \text{ [rad / s]}$$

に従って算出してもよい。

【0059】

マグネットセグメント 1 ... 8 の許容誤差に基づいてそのように求められた回転数信号 $Mess_i$ はエラーを含み得る。このようなエラーは例えばロータの実際の一定回転数のもとで、回転数信号にジャンプを引き起す。

【 0 0 6 0 】

制御機器においては、マグネットセグメント・センサ組合わせに対して $1 \sim 2 \cdot m \cdot p$ の数値が付される。そのためこの数値（以下では単に“インデックス i ”とも称する）はカウントアップされ、 $2 \cdot m \cdot p$ に達した時にジャンプする。ECモータのスイッチオンの際にインデックス i はスタート値、例えば値 1 にセットされる。

【 0 0 6 1 】

ここにおいて各マグネットセグメント・センサ組合わせ毎に補正係数 $F_{A d a p [i]}$ が求められ、この補正係数 $F_{A d a p [i]}$ はインデックス i を介して相応するマグネットセグメント 1 ... 8 に割当てられる。この補正係数 $F_{A d a p [i]}$ は i 番目のマグネットセグメント・センサ組合わせに対する調整シャフト回転角度信号を用いて求められた“回転数値 $M e s s , i$ ”と、この回転数値 $M e s s , i$ よりも高い精度を有しているとみなされる“基準回転数値 $R e f$ ”の間の比に相応している。この補正係数 $F_{A d a p [i]}$ は、制御機器のデータメモリに記憶される。

【 0 0 6 2 】

前記補正係数 $F_{A d a p [i]}$ を用いることによって、各“回転数値 $M e s s , i$ ”毎に以下の式 $K o r r , i = M e s s , i / F_{A d a p [i]}$ から補正された回転数値 $K o r r , i$ が求められる。

【 0 0 6 3 】

前記補正係数 $F_{A d a p [i]}$ は、学習課程において求められる。この学習課程の開始の際には、全ての補正係数 $F_{A d a p [i]}$ がそれぞれ値 1 にセットされる。すなわち補正された回転数 $K o r r , i$ はまず最初は測定された回転数 $M e s s , i$ に相応する。学習課程の期間中に補正係数 $F_{A d a p [i]}$ は、 $0.8 \sim 1.2$ の間の値範囲に制限される。これは実際において完全には排除できないエラー適応化の際のエラー範囲を制限するためである。

【 0 0 6 4 】

図 6 に示されているように、調整シャフト回転角度信号の変化が識別された場合には、常に以下に述べるシーケンスが経過する。目下の時点は符号 t で表される。

A：マグネットセグメント・センサ組合わせの最後の入れ替わりと目下の入れ替わりの間の差分時間 t が記憶される。この差分時間は、先に活動化されたマグネットセグメント・センサ組合わせの通過がどの位の間続いたかを示している。インデックス i は当該のマグネットセグメント・センサ組合わせに対応する位置測定信号の測定値を示し、それは次のシーケンスの呼出しに対してシーケンスの終了に合わせられる。

B：補正されていない回転数 $M e s s , i$ が以下の式

$$M e s s , i = T T / (m \cdot p \cdot t)$$

に従って計算される。

C：補正されていない回転数のフィルタリングが行われる。真の回転数 $T r u e$ はまだ未知なので、補正されていない回転数のフィルタリングによって回転数の基準信号が形成される。このフィルタリングの結果 $R e f$ は、以下の関係式、

$$R e f (t) = T r u e (t - T)$$

で表されるように T 秒前の実際の速度に比較的良好に一致している。前記符号 T は、フィルタの遅延時間であり、それはフィルタの形式や次数によって異なる。

D：適応化前提条件の検査。例えば補正係数は、ロータの回転方向が変更された場合には適応化されない。またロータの加速及び / 又は減速が強いフェーズの間は、補正係数の適応化は中断される。なぜならフィルタリングされた回転数は、大体において実際の回転数とは一致しないからである。

E：マグネット・センサ組合わせに対する実際の補正係数は、以下の式に従って、

$$F_{T r u e [i]} = M e s s , i (t) / T r u e (t)$$

算出された回転数 $M e s s , i (t)$ と真の回転数信号 $T r u e (t)$ からの微分商として得られる。真の回転数 $T r u e$ は、遅延 T を伴ってしか基準回転数 $R e f$ の形態で得られないので、関与しているその他の全てのパラメータも遅延されなければならない。

それ故にインデックス i と未補正の回転数値 $M e s s , i$ はシフトレジスタに記憶され、それによってそれらの遅延値がここにおいて得られるようになる。従って補正係数は、以下の式、

$$F[i(t-T)] = M e s s , i(t-T) / R e f(t)$$

に従って得られる。

F：補正係数に対する平均値形成：補正係数 F は、まだ所定の不精度を有している。なぜなら回転数基準値 $R e f$ は実際の回転数値 $T r u e$ とまだ近似的にしか一致していないからである。それ故ロータの個々の回転のもとでそのつど新たな補正係数が求められ、そのつどのマグネット・センサ組合わせ毎に逐次求められたこれらの補正係数は、平滑化された平均値形成によって平均化される。：

$$F_{N e u}[i(t-T)] = F_{A l t}[i(t-T)] + (1 -) F[i(t-T)]$$

この場合前記 $F_{N e u}$ は、そのつどの現下の補正係数平均値であり、前記 $F_{A l t}$ は、そのつどの先行のクロック周期のもとで求められた平均値であり、前記 は、値 0 から 1 の間に存在し得る忘却係数である。この係数 が大きければ大きいほど、先の値 $M e s s , i(t)$ は長く考慮される。

G：補正は、現下の値 $i(t)$ と $M e s s , i(t)$ を用いて実施される。この方向性で適応化された補正係数 $F[i]$ を用いて以下の式

$$K o r r , i = M e s s , i(t) / F[i]$$

に従って測定値が補正される。回転数信号の補正は、直前に通過したマグネットセグメント・センサ組合わせを用いて実施される。それに対して補正係数 $F[i]$ の適応化に対しては先行の値が用いられる。

H：後の時点でそのような先行値として新たにアクセスが可能となるようにインデックス i と未補正の回転数値 $m e s s , i$ はシフトレジスタに記憶される。

J：次のシーケンスの準備のために、先行のマグネットセグメント・センサ組合わせに基づいてインデックス i が引き上げられる。この場合インデックス i が $[1 \dots 2 \cdot p \cdot m]$ の間隔を上回ると、値 1 にセットされる。この時点においてこのインデックス i は現下のマグネットセグメント・センサ組合わせとなる。

【0065】

適応化における重要ポイントは、実際の回転数にどれだけ近似しているかを示す精度である。前述してきた実施例では、この近似が、測定された回転数のフィルタリングによって達成される。しかしながらそれ以外にも、既に補正された回転数をフィルタリングすることも可能である。また実際の回転数を推論できる、他の測定信号が得られるのであればその信号を用いてもよい。

【0066】

ECモータと制御機器からなる装置の遮断の際には、 $2 \cdot p \cdot m$ の学習された補正係数が制御機器の不揮発性データメモリに書き込まれる。適応化の開始時点では、インデックス i は、ちょうど偶然にアクティブであるマグネットセグメント・センサ組合わせのもとで任意に選択されたスタート値にセットされ、かつ当該マグネットセグメント・センサ組合わせも制御機器の再スイッチオン直後の最初の時期は未知であるので、マグネットセグメント・センサ組合わせに対する補正係数の対応付けが検査されなければならない、さらに誤った対応付けが確定された場合の適正化によって、補正係数は制御機器の再スイッチオンの後で引き続き使用可能となる。

【0067】

同じような問題は、適応化が例えば信号ノイズに基づいて実施されなかったか誤った形で実施され、インデックス i が誤って更新され、それに伴って補正係数が当該補正係数の求められたマグネットセグメント・センサ組合わせからずれたマグネットセグメント・センサ組合わせに対応付けられた場合にも既に生じる。そのようなケースにおいては、補正された回転数 $K o r r$ は、補正されていない回転数よりも、実際の回転数から大きくかけ離れる。

【0068】

10

20

30

40

50

制御機器のデータメモリには、 $2m (= 6)$ 個の順次連続する位置測定信号状態の適正な順序が記憶されている。これは位置測定信号状態の目下の順序と比較される。その場合にずれが検出されるならば、当該のエラーが次のシーケンスの呼出しの際に除去される。マグネットセグメント・センサ組合わせの変化は、詳細には $\pm m$ 個の変化内では一義的である。障害発生の際にロータの回転方向が維持され続けたことが確かならば、 $(2m - 1)$ の更新が補正可能である。

【0069】

適応化の品質は、次のことによって監視される。すなわち補正されていない回転数の変動幅と補正された回転数の変動幅が所定の時間窓に亘って相互に比較されることで監視される。補正された回転数が、補正されていない回転数よりも大きく変動するならば、誤った対応付けが推論される。この対応付けは、その後で再度構築されるか若しくは補正係数が値 1 にセットされる。

10

【0070】

対応付けの再構築の際には、次のことから出発する。すなわち $2 \cdot p \cdot m$ の補正係数の数列が 1 つの形態を特徴付ける特性を表すことから出発する。新たな補正係数のセットを適応化するならば、それらが非常に類似した数列を有するようにしなければならない。その場合新たな数列はいずれにせよこれまでの数列に対してシフトされ得る。それ故に対応付けの再構築のためには、いずれにせよ先行の数列を $2 \cdot p \cdot m$ 回周期的にシフトし、各シフト毎にこれまでの数列と比較する必要がある。このような先行の数列とこれまでの数列の間で最大の一致がみられる交換ないしシフト組合わせのもとでは、先行の数列の数値がマグネットセグメント・センサ組合わせに適正に対応付けられている。この対応付けをもって回転数信号の補正及び / 又はさらなる適応化が実施される。

20

【0071】

本発明の別の実施例は、以下に列挙するとおりである。：

まずそれぞれ少なくとも該当するマグネットセグメント・センサ組合わせに対する補正係数とそれに対応付けられた測定信号状態からなる、マグネットセグメント・センサ組合わせの数に相応する数の値組合わせを有する第 1 のデータセットを求めて記憶する。3 つの磁気センサと 3 つの磁極対を有する EC モータ 4 に対するそのようなデータセットの実施例は、図 7 の上半分にグラフィックに表されている。

【0072】

30

その後で、補正係数を求めたマグネットセグメント・センサ組合わせが新たに通過し、その場合に値組合わせを有する新たな第 2 のデータセットを求めて記憶する。この第 2 のデータセットは図 7 の下方にグラフィックに表されている。

【0073】

次に第 1 のデータセットと第 2 のデータセットを相互に比較する。その場合にずれが検出された場合には、データセットの測定信号状態が一致するようにデータセットの値組合わせが周期的に相互に相対的にシフトされる。図 7 による実施例の場合では、先行の適応化の値組合わせを 3 ポジションだけ右方向にシフトさせることによってこのことが達成されている。

【0074】

40

次にそれぞれ相互に対応付けられたデータセットの補正係数が相互に比較される。つまり図 7 では第 1 のデータセットのインデックス $i = 1$ の付された補正係数は、第 2 のデータセットのインデックス $i = 4$ の付された補正係数と比較され、第 1 のデータセットのインデックス $i = 2$ の付された補正係数は、第 2 のデータセットのインデックス $i = 5$ の付された補正係数と比較される。

【0075】

さらなる後続のステップにおいては、第 1 のデータセットの補正係数が磁気センサの二倍の数に相応する数のステップ (つまり $2 \cdot p = 6$ ステップ) だけ他のデータセットの補正係数に対して相対的に交換され、その後でそれぞれ相互に対応付けられたデータセットの補正係数が相互に比較される。このステップは全ての入れ替え組合わせが処理されるま

50

で繰返される。

【 0 0 7 6 】

続いて補正係数セット間で最大の一一致が見られた入れ替え組合わせが求められる。この入れ替え組合わせを用いることにより、そのつどの相互に対応付けられた補正係数セットの補正係数から平均値が形成され、新たな補正係数として記憶される。そのように求められた新たな補正係数を用いて回転数測定信号が修正される。

【 0 0 7 7 】

2・p・m回のシフトは必ずしも必要なものではない。そこからは、p個の時期的周期のどれが最良に通過されたかがピックアップされる。新たな補正係数が適応化される期間の間は、補正された回転数が係数1か若しくは新たに適応化される補正係数を用いて算出される。 10

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 7 8 】

【 図 1 】 クランク軸に対して相対的にカム軸回転角度位置を変更する調整装置を有している、往復動ピストン内燃機関のクランク軸／カム軸装置を概略的に表した図

【 図 2 】 調整装置における調整モータのローターの回転角度測定値と実際の回転角度経過とをグラフに表した図、この場合横軸に時間、縦軸に回転角度がプロットされている

【 図 3 】 調整モータの実際の回転角度経過をグラフに表した図、この場合ホールセンサパルスの発生する箇所が回転角度経過の中にマークされており、横軸に時間、縦軸に回転角度がプロットされている 20

【 図 4 】 E C モータの回転子の端面側の概略的平面図、この場合回転子の周面に複数のマグネットセグメントが設けられており、固定子に対して相対的に回転子の位置を検出する位置測定装置が設けられている

【 図 5 】 位置測定装置を用いて検出された位置測定信号をグラフに表した図

【 図 6 】 位置測定信号から生成された角速度信号の補正の際の個々のステップを表したフローチャート

【 図 7 】 補正係数をグラフに表した図、この場合補正係数の絶対値がバーダイアグラムで表されており、バーの下方にはそれぞれ該当する補正係数に割当てられた位置測定信号のそのつどの値と、その下方にマグネットセグメント／センサ組合わせの該当する補正係数に対応するそれぞれ1つのインデックスがマッピングされている 30

【 符号の説明 】

【 0 0 7 9 】

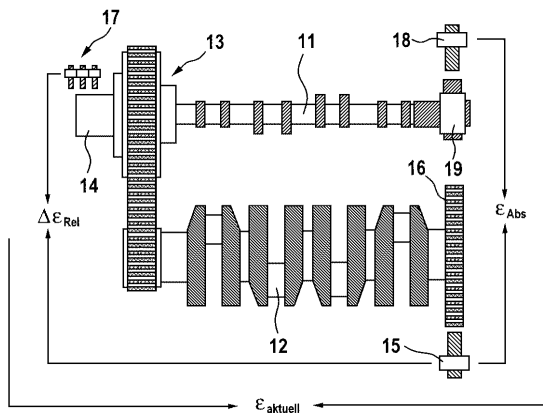
- | | |
|---------|----------------|
| 1 ... 8 | マグネットセグメント |
| 9 | 支持部 |
| 1 1 | カム軸 |
| 1 2 | クランク軸 |
| 1 3 | 調節伝動装置 |
| 1 4 | E C モータ |
| 1 5 | 誘導センサ |
| 1 6 | スプロケット |
| 1 7 | 測定装置 |
| 1 8 | ホールセンサ |
| 1 9 | トリガホイール |
| | 2つのマグネットセグメント下 |
| | 角度 |
| A | 磁気センサ |
| B | 磁気センサ |
| C | 磁気センサ |
| A | 磁気センサ A の出力信号 |
| B | 磁気センサ B の出力信号 |

40

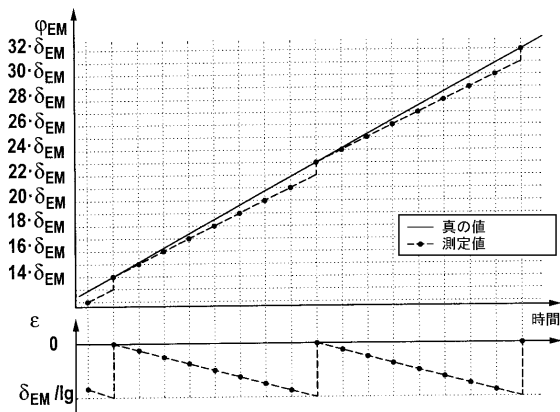
50

C 磁気センサ C の出力信号
P f 矢印方向

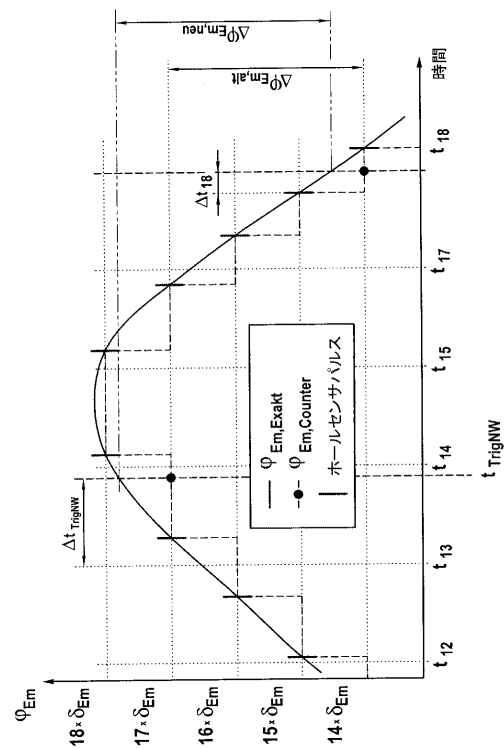
【図 1】



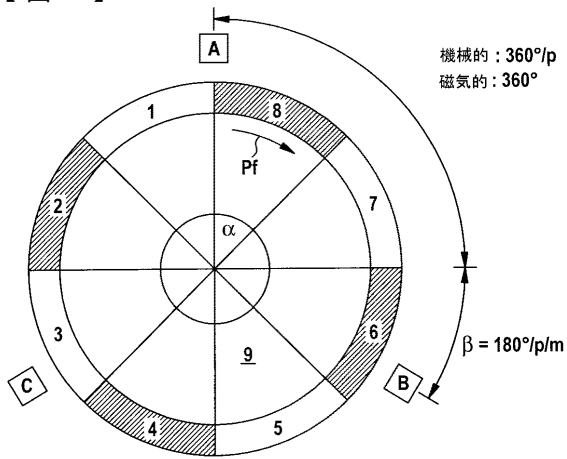
【図 2】



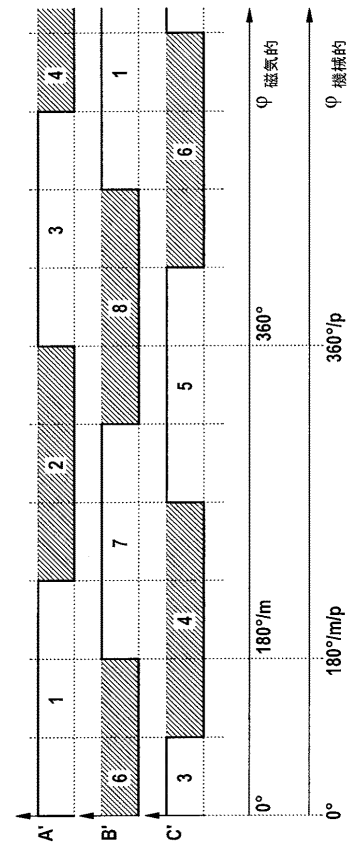
【図 3】



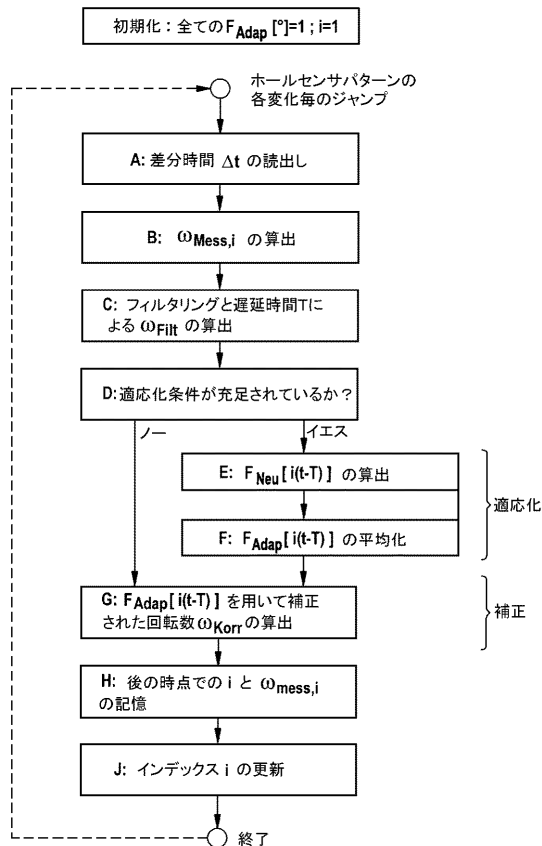
【図4】



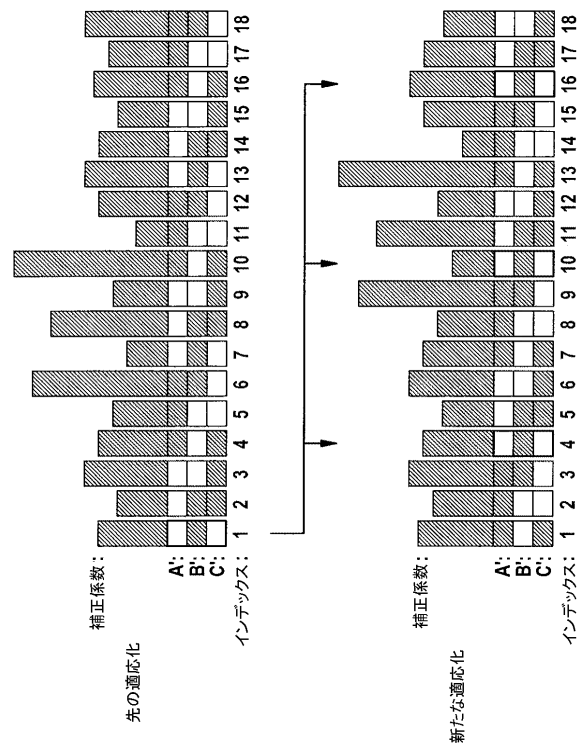
【図5】



【図6】



【図7】



フロントページの続き

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード(参考)
	F 0 2 D 45/00	3 6 2 B
	G 0 1 B 7/30	1 0 1 A

(74)代理人 100114890

弁理士 アインゼル・フェリックス＝ラインハルト

(74)代理人 230100044

弁護士 ラインハルト・アインゼル

(72)発明者 ホルガー シュトルク

ドイツ連邦共和国 ビュール ロベルト - シューマン - シュトラーセ 3

(72)発明者 ハイコ デル

ドイツ連邦共和国 ビューラータール ハウプトシュトラーセ 1 1 4

(72)発明者 ミン ナム ングエン

ドイツ連邦共和国 ビュール ルートヴィヒ - ヤーン - シュトラーセ 4

F ターム(参考) 2F069 AA84 EE23 GG04 GG06 GG64 HH15 NN02 NN18 NN26

2F077 AA11 AA38 PP05 PP12 QQ07 QQ10 QQ11 TT57 TT66 VV21
VV33

3G092 AA11 DA09 DG08 EB05 EB07 EB09 FA06 HA13Z HE03Z

3G384 BA26 DA12 EB17 EB18 EC01 EC02 EC05 ED01 ED07 ED12

EE04 EG03 FA49Z FA58Z