

(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2010-17842

(P2010-17842A)

(43) 公開日 平成22年1月28日 (2010.1.28)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
B23Q 11/00 (2006.01)	B23Q 11/00	B 2G021
H02P 7/06 (2006.01)	H02P 5/06	J 5H571
G01M 1/16 (2006.01)	H02P 5/06	X
	G01M 1/16	

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2009-161153 (P2009-161153)
(22) 出願日 平成21年7月7日 (2009.7.7)
(31) 優先権主張番号 200810135639.5
(32) 優先日 平成20年7月7日 (2008.7.7)
(33) 優先権主張国 中国 (CN)

(71) 出願人 390039413
シーメンス アクチエンゲゼルシャフト
Siemens Aktiengesellschaft
ドイツ連邦共和国 D-80333 ミュンヘン
ヴィッテルスバッハープラッツ 2
Wittelsbacherplatz 2, D-80333 Muenchen, Germany
(74) 代理人 100075166
弁理士 山口 巖

最終頁に続く

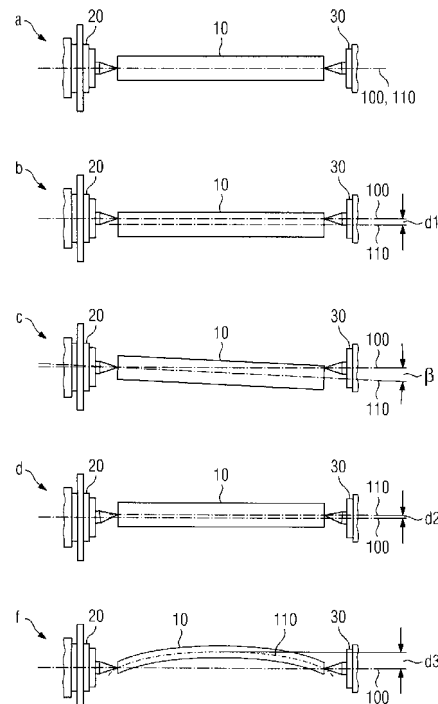
(54) 【発明の名称】 アンバランス状態を定量的に検出する方法および装置と工作物のクランプ状態を検出する方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 回転シャフトのアンバランス量の値およびアンバランス角の値を検出することにより、回転シャフトのアンバランス状態を定量的に検出する方法を提供する。

【解決手段】 回転シャフトの回転運動エネルギーおよび位置エネルギーにしたがって、回転シャフトのアンバランス量変数とアンバランス角変数とを含むラグランジュ運動学方程式を確定し、位置信号と速度信号と加速度信号とトルク信号とにしたがって、非線形多変数法により方程式を解くことにより、回転シャフトのアンバランス量の値とアンバランス角の値とを獲得する段階と、を包含し、回転シャフトのアンバランス量が、回転シャフトの重心から回転シャフトの軸までの垂直線分の長さ $\times$ 回転シャフトの質量との積であり、該回転シャフトのアンバランス角が、回転シャフトの重心から回転シャフトの軸までの垂直線分と回転シャフトの水平軸面との間の挟角である。

【選択図】 図 1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

回転シャフトのアンバランス状態を定量的に検出する方法において、
前記回転シャフトを駆動する段階と、
前記回転シャフトについて位置信号と速度信号と加速度信号とトルク信号とを獲得する段階と、

前記回転シャフトの回転運動エネルギーおよび位置エネルギーにしたがって、該回転シャフトのアンバランス量変数とアンバランス角変数とを含むラグランジュ運動学方程式を確定し、前記位置信号と速度信号と加速度信号とトルク信号とにしたがって、非線形多変数法により該方程式を解くことにより該回転シャフトの該アンバランス量の値と該アンバランス角の値とを獲得する段階と、
を包含し、

前記回転シャフトの前記アンバランス量が、該回転シャフトの重心から該回転シャフトの軸までの垂直線分の長さとの積であり、該回転シャフトの前記アンバランス角が、該回転シャフトの重心から該回転シャフトの軸までの垂直線分と該回転シャフトの水平軸面との間の挟角であることを特徴とする方法。

【請求項 2】

前記回転シャフトの位置信号と速度信号と加速度信号とトルク信号とを獲得した後で、該信号にフィルタリングが実施されることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記回転シャフトを駆動するためモータが励磁され、該モータの励磁信号として S 字形と正弦曲線との合成速度プロフィールが使用され、該合成速度プロフィールが、位置プロフィールと速度プロフィールと加速度プロフィールとを包含し、該プロフィールが、時間軸の方向に、加速段階と正弦曲線速度プロフィール段階と減速段階とに分割され、該速度プロフィールが、該加速および減速段階における該モータの速度が突然変化しないように選択されることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記回転シャフトのアンバランス量 U が、

$$U = m \cdot r$$

であって、 m は前記回転シャフトの質量であり、 r は該回転シャフトの重心から該回転シャフトの軸までの距離であることを特徴とする請求項 3 に記載の方法。

【請求項 5】

前記回転シャフトの回転運動エネルギー K が、

【数 1】

$$K = \frac{1}{2} I \dot{\theta}^2$$

であって、 I は前記回転シャフトの慣性モーメントであり、

$$\dot{\theta}$$

は該回転シャフトの速度信号であることを特徴とする請求項 4 に記載の方法。

【請求項 6】

前記回転シャフトの位置エネルギー P が、

$$P = m g r [1 + \sin (\theta_0 + \theta)]$$

であって、 g は重力加速度であり、 θ_0 は回転シャフトのアンバランス角であり、 θ は前記回転シャフトの位置信号であることを特徴とする請求項 5 に記載の方法。

【請求項 7】

前記回転シャフトのアンバランス量変数およびアンバランス角変数を含むラグランジュの運動方程式が、該回転シャフトの回転運動エネルギー K および位置エネルギー P を用いて、

10

20

30

40

50

【数 3】

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} - \frac{\partial L}{\partial \theta} = \tau$$

で表され、 τ は前記回転シャフトのトルク信号、 L は

$$L = K - P$$

すなわち、

【数 4】

$$L = \frac{1}{2} I \dot{\theta}^2 - mgr[1 + \sin(\theta_0 + \theta)]$$

10

であり、この式から

【数 5】

$$\frac{d}{dt} (mr^2 \dot{\theta}) - (-mgr \cos(\theta + \theta_0)) = \tau$$

すなわち、

【数 6】

$$I \ddot{\theta} + Ug \cos(\theta + \theta_0) = \tau$$

20

が導かれ、

$$\ddot{\theta}$$

は、回転シャフトの加速度信号であることを特徴とする請求項 6 に記載の方法。

【請求項 8】

方程式

$$I \ddot{\theta} + Ug \cos(\theta + \theta_0) = \tau$$

が、クーロン摩擦と粘性摩擦とを導入して、

【数 7】

30

$$I \ddot{\theta} + Ug \cos(\theta + \theta_0) + F_{cf} \operatorname{sgn}(\dot{\theta}_f) + F_{vf} \dot{\theta}_f + F_{cr} \operatorname{sgn}(\dot{\theta}_r) + F_{vr} \dot{\theta}_r + \varepsilon = \tau$$

に書き換えられ、

F_{cf} と F_{vf} は、それぞれ前記シャフトが正方向に回転している時のクーロン摩擦係数および粘性摩擦係数であり、

F_{cr} と F_{vr} は、それぞれ前記シャフトが逆方向に回転している時のクーロン摩擦係数および粘性摩擦係数であり、

$$\dot{\theta}_f$$

と

40

$$\dot{\theta}_r$$

は、前記シャフトがそれぞれ正方向と逆方向に回転している時の速度信号であり、

【数 8】

$$\text{sgn}(\dot{\theta}_f) = \begin{cases} 1 & \dot{\theta}_f > 0 \\ 0 & \dot{\theta}_f = 0 \\ -1 & \dot{\theta}_f < 0 \end{cases},$$

$$\text{sgn}(\dot{\theta}_r) = \begin{cases} 1 & \dot{\theta}_r > 0 \\ 0 & \dot{\theta}_r = 0 \\ -1 & \dot{\theta}_r < 0 \end{cases}$$

10

であり、

ε は、モデル測定誤差であることを特徴とする請求項 7 に記載の方法。

【請求項 9】

非線形最小二乗法を用いることを特徴とする請求項 8 に記載の方法。

【請求項 10】

回転シャフトのアンバランス状態を定量的に検出する装置において、

前記回転シャフトを駆動するための回転シャフト駆動ユニット (310) と、

位置信号と速度信号と加速度信号とトルク信号とを獲得するための信号獲得ユニット (320) と、

前記回転シャフトの回転運動エネルギーおよび位置エネルギーにしたがって該回転シャフトのアンバランス量変数およびアンバランス角変数を含むラグランジュ運動学方程式を確定するため、前記信号獲得ユニットにより獲得された前記位置信号と前記速度信号と前記加速度信号と前記トルク信号とにしたがって非線形多変数法により該方程式を解くことにより該回転シャフトのアンバランス量の値およびアンバランス角の値を獲得するためのアンバランス量値アンバランス角計算ユニット (330) と、
を包含し、

20

前記回転シャフトの前記アンバランス量が、該回転シャフトの重心から該回転シャフトの軸までの垂直線分の長さとの積であり、前記アンバランス角が、該回転シャフトの重心から該回転シャフトの軸までの垂直線分と該回転シャフトの水平軸面との間の挟角であることを特徴とする装置。

30

【請求項 11】

工作物のクランプ状態を検出する方法において、

前記工作物が、クランプされていない状態でのアンバランスオフセットベクトルを獲得するように、請求項 1 から 9 のいずれか一つに記載の回転シャフトアンバランス状態量の検出方法を用いて、該工作物がクランプされていない状態での前記回転シャフトのアンバランス量およびアンバランス角を検出する段階であって、

【数 9】

$$\vec{M} = A_1 \angle \theta_1$$

A_1 は、前記工作物がクランプされていない状態での前記回転シャフトのアンバランス量であり、 θ_1 は、工作物がクランプされていない状態での該回転シャフトのアンバランス角である段階と、

40

前記工作物が、クランプされた後でのアンバランスオフセットベクトルを獲得するように、請求項 1 から 9 のいずれか一つに記載の回転シャフトアンバランス状態量の検出方法を用いて、該工作物がクランプされた後での該回転シャフトのアンバランス量およびアンバランス角を検出する段階であって、

【数 10】

$$\vec{N} = A_2 \angle \theta_2$$

A_2 は、前記工作物がクランプされない状態での前記回転シャフトのアンバランス量であ

50

り、 θ_2 は、該工作物がクランプされていない状態での該回転シャフトのアンバランス角である段階と、

前記工作物がクランプされていない状態での前記アンバランスオフセットベクトルと、該工作物がクランプされた後での前記アンバランスオフセットベクトルとの差分ベクトルを計算する段階であって、

【数 1 1】

$$\vec{R} = \vec{M} - \vec{N} = A_R \angle \theta_R$$

A_R は、前記差分ベクトルのアンバランス量であり、 θ_R は該差分ベクトルのアンバランス角である段階と、

前記差分ベクトルにしたがって前記工作物のクランプ状態を判断する段階であって、前記差分ベクトル

$\vec{R}$

の A_R が大きくなるほど、該工作物のアンバランスのずれが大きくなり、該工作物のクランプ状態が悪化する段階と、

を包含することとを特徴とする方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、回転シャフトのアンバランス状態を検出する方法および装置と工作物のクランプ状態を検出する方法、特に、モータにより駆動される回転シャフトのアンバランス状態を定量的に検出する方法および装置と、工作物のクランプ状態を検出する方法に関連する。

【背景技術】

【0002】

技術の発達により、現代の製造および機械加工のプロセスでは製造の正確度および精密度に対する要求はますます高くなっている。

【0003】

しかし、製造設備（工作機械など）のモータにより駆動される回転シャフトは、様々な原因のためアンバランス状態にあるようであり、これは様々な機械部品の寿命ばかりでなく機械加工の正確度と精密度にも影響する。

回転シャフトのアンバランス状態により発生する遠心力は、スムーズな回転に影響する。

回転シャフトのアンバランス状態は、振動発生の結果を招く主な原因である。

回転シャフトのアンバランス状態による振動は、工作物を細動させて機械加工に影響する。

回転シャフトのアンバランス状態は、結果的にベアリングの過剰な磨耗およびベアリング構造の過労を生じる。

回転シャフトのアンバランス状態は、結果的にパワー損失を生じる。

【0004】

回転シャフトがバランス状態にあるかどうかは機械加工において重要な問題であり、そのため回転シャフトのアンバランス状態を検出する方法を提供する必要があることが分かる。

【0005】

特許文献1には、追加センサを用いることにより回転要素のアンバランス状態を検出する方法が開示され、この方法においてセンサは、ロータの実際位置と基準位置との間の距離変化を検出して、アンバランス状態の発生が判断された時に対応の信号を送る。

【0006】

特許文献2には、電気センサを用いることによりシステムの振動または物理的圧力を測

10

20

30

40

50

定するための方法が開示され、この方法では、回転駆動システムがゼロから所定速度まで加速される時間にわたって、振動加速度計が用いられてシステムの振動を測定し、測定された振動エネルギーのレベルを信号処理システムが監視し、この信号処理システムは、測定値のパワースペクトル密度を判断することにより、測定された振動の周波数スペクトルおよび総エネルギースペクトルを判断するとともに、振動のエネルギースペクトルによるロータのアンバランス状態を判断する。

【0007】

非特許文献1では、振動センサと試験用ウエイトとを用いることにより回転要素のアンバランス冗長性を測定するための方法が提案されている。

【0008】

しかし、上述の方法では、高価な追加センサまたは試験用ウエイトの使用が必要であり、さらに設備、特に精密設備の回転駆動システムにこれらのセンサまたは試験用ウエイトを設置するのは非常に困難であり、そのうえ、これらセンサを用いた測定は専門の熟練者により実施される必要があり、当該技術の平均的なスキルを持つ者が適切な測定を実施するのは難しい。

【0009】

特許文献3には、追加センサを用いずにモータドライバの信号により負荷のアンバランス状態を検出するための方法が開示され、その段階は、ステータ巻線電圧とステータ巻線電流との間の位相角を判断して位相角スペクトルを生成することと、モータドライバの機械的周期の持続時間を判断することと、この機械的周期の持続時間中の最大位相角と最小位相角との間の差分値を判断して安定信号を発生させることと、この安定信号を許容安定値と比較することと、この安定信号が許容安定値より高い場合に、負荷がアンバランス状態にあることを示す信号を発生させることを包含する。

【0010】

上述した方法は追加センサを使用する必要がなく単純で使用が容易であるが、この方法は、アンバランスの幅値およびアンバランスの角度値などの量的検出結果ではなく、負荷がアンバランス状態にあるかどうかについての質的検出を行うに過ぎず、そのためアンバランス状態を正確に判断することができず、続く手動または自動補正のための関連データを提供できない。

【0011】

同じように、機械加工の正確度および精密度は不適切なクランプ状態にも影響を受ける。工作機械を例にとると、旋盤、フライス盤、様々な研削盤で工作物10が機械加工される時には、図1(a)に見られるように工作物10は通常、工作ヘッド20と心押し台30との間にクランプされ、理想的には、工作物10の軸110がモータにより駆動される回転シャフトの軸100と一致するようにすべきで、このような条件での工作物の機械加工では最高の機械加工正確度および精密度が保証される。

【0012】

しかし、実際の機械加工プロセス中には、裸眼では判断が非常に困難である、工作物のクランプが不正確なケースが発生することが多い。図1(b)を参照すると、工作物10の不正確な配置のため、工作物10の軸110と回転シャフトの軸100との間には距離d1のオフセットが存在する。図1(c)を参照すると、工作物10の不正確な配置のため、工作物10の軸110と回転シャフトの軸100との間には傾斜角 β が存在する。図1(d)を参照すると、工作物10をクランプするための工作ヘッド20および心押し台30の傾斜のため、工作物10の軸110と回転シャフトの軸100との間には距離d2のオフセットが存在する。図1(f)を参照すると、工作物10の不正確な配置のため、工作物10の屈曲および変形につながり、工作物の屈曲軸110と回転シャフトの軸100との間には最大距離d3のオフセットが存在する。

【0013】

上述した工作物のクランプ状態が不適切である様々なケースはすべて、機械加工中の誤差につながって、機械加工の正確度および精密度に深刻な影響を与え、そのため工作物の

10

20

30

40

50

クランプ状態を検出する方法を提供する必要がある。

【0014】

工作物のクランプ状態を検出する現在利用可能な方法では、手作業測定を実施するための測微計を使用するのが一般的であり、このような方法の効率は低く、読み取り誤差が発生しやすい。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0015】

【特許文献1】米国特許第4,214,179号明細書（名称：「遠心機のロータアンバランス検出器」）

【特許文献2】米国特許第5,800,331号明細書（名称：「アンバランス検出ロータ識別システム」）

【特許文献3】米国特許第5,543,698号明細書（名称：「アンバランス検出のためACモータに使用される方法および装置」）

【非特許文献】

【0016】

【非特許文献1】<http://www.spintelligentlabs.com/SL-docs/4runtutorial.pdf>の技術文献「四輪走行バランス説明書：ST-101および位相測定能力を持たない他の振動計用のバランスソフトウェア」

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0017】

このような状況を考慮したうえで、本発明は、回転シャフトのアンバランス幅の値およびアンバランス角の値を検出することにより回転シャフトのアンバランス状態を正確に判断するように、回転シャフトのアンバランス状態を量的に検出するための方法を提供する。

【0018】

本発明は、回転シャフトのアンバランス量の値およびアンバランス角の値を検出することにより回転シャフトのアンバランス状態を正確に判断するように、回転シャフトのアンバランス状態を量的に検出するための装置を提供する。

【0019】

関連して、本発明は、工作物のクランプ状態を検出するための正確かつ効果的な方法も提供する。

【課題を解決するための手段】

【0020】

回転シャフトのアンバランス状態を定量的に検出する、この方法は、

回転シャフトを駆動する段階と、

回転シャフトの位置信号と速度信号と加速度信号とトルク信号とを獲得する段階と、

回転シャフトの回転運動エネルギーおよび位置エネルギーにしたがって、回転シャフトのアンバランス量変数およびアンバランス角変数を含むラグランジュ運動学方程式を確定して、この位置信号と速度信号と加速度信号とトルク信号とにしたがって、非線形多変数方法によりこの方程式を解くことにより回転シャフトのアンバランス量の値およびアンバランス角の値を獲得する段階と、
を包含し、

回転シャフトのアンバランス量が、回転シャフトの重心から回転シャフトの軸までの垂直線分の長さとの積であり、回転シャフトのアンバランス角が、回転シャフトの重心から回転シャフトの軸までの垂直線分と回転シャフトの水平軸面との間の挟角である。

【0021】

本発明の一面によれば、回転シャフトの位置信号と速度信号と加速度信号とトルク信号とを獲得した後で、これらの信号にフィルタリングが実施される。

【 0 0 2 2 】

本発明の別の面によれば、モータが励磁されて回転シャフトを駆動し、このモータの励磁信号としてS字形と正弦曲線との合成速度プロフィールが使用され、この合成速度プロフィールが位置プロフィールと速度プロフィールと加速度プロフィールとを包含し、これらのプロフィールが時間軸の方向に、加速段階と正弦曲線速度プロフィール段階と減速段階とに分割され、速度プロフィールが、上記加速および減速段階でのモータの速度が突然変化しないように選択される。

【 0 0 2 3 】

本発明の一面によれば、この非線形多変数法は最小二乗法である。

【 0 0 2 4 】

回転シャフトのアンバランス状態を定量的に検出する装置は、

回転シャフトを駆動するための回転シャフト駆動ユニットと、

位置信号と速度信号と加速度信号とトルク信号とを獲得するための信号獲得ユニットと

、
回転シャフトの回転運動エネルギーおよび位置エネルギーにしたがって、回転シャフトのアンバランス量変数およびアンバランス角変数を含むラグランジュ運動学方程式を確定するためと、上記信号獲得ユニットにより獲得された位置信号と速度信号と加速度信号とトルク信号とにしたがって非線形多変数法で方程式を解くことにより回転シャフトのアン
バランス量の値およびアンバランス角の値を獲得するためのアンバランス量値アンバ
ランス角計算ユニットと、
を包含し、

回転シャフトのアンバランス量が、回転シャフトの重心から回転シャフトの軸までの垂直線分と回転シャフトの質量との積であり、アンバランス角が、回転シャフトの重心から回転シャフトの軸までの垂直線分と回転シャフトの水平軸面との間の挟角である。

【 0 0 2 5 】

工作物のクランプ状態を検出する方法は、

工作物がクランプされていない状態でのアンバランスオフセットベクトルを獲得する
ように、回転シャフトのアンバランス状態を量的に検出するための方法を用いて、工作物が
クランプされていない状態での回転シャフトのアンバランス幅およびアンバランス角を検
出する段階と、

工作物がクランプされた後でのアンバランスオフセットベクトルを獲得するように、回
転シャフトのアンバランス状態を量的に検出するための方法を用いて、工作物がクランプ
された後での回転シャフトのアンバランス幅およびアンバランス角を検出する段階と、

工作物がクランプされていない状態でのアンバランスオフセットベクトルと工作物がク
ランプされた後でのアンバランスオフセットベクトルとの間の差分ベクトルを計算する段
階と、

この差分ベクトルにしたがって工作物のクランプ状態を判断する段階であって、差分ベ
クトルが大きくなるほど、工作物のアンバランスオフセットが大きくなり、工作物のクラ
ンプ状態が悪化する段階と、
を包含する。

【 発明の効果 】

【 0 0 2 6 】

本発明の回転シャフトのアンバランス状態を定量的に検出する方法および装置は、モータ自体から獲得された駆動信号を使用することにより回転シャフトのアンバランス量の値およびアンバランス角の値を容易に検出して、回転シャフトのアンバランス状態を正確に判断し、こうして、高額で設置が困難かつ使用が容易でない追加センサの使用を必要とする、またはモータドライバの信号を検出することにより負荷がアンバランス状態にあるかどうかを質的に検出するに過ぎない、という当該技術の問題を解決する。

【 0 0 2 7 】

本発明の工作物のクランプ状態を検出する方法は、回転シャフトのアンバランス状態を量的に検出するための上記の方法を用いることにより工作物がクランプされる前と後のアンバランスオフセットベクトルを獲得し、オフセットベクトルの大きさにしたがって、工作物が適切にクランプされているかどうか効果が確認され、こうして人による読み取りによって生じるずれを回避する。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 8 】

【 図 1 】 工作物のクランプ状態によく見られるケースを示す概略図である。

【 図 2 】 本発明において回転シャフトのアンバランス状態を量的に検出するための方法を示す流れ図である。

10

【 図 3 】 本発明の回転シャフトのアンバランス状態を定量的に検出する方法が、モータを励磁するのに使用された時の合成速度プロフィールである。

【 図 4 】 本発明の回転シャフトのアンバランス状態を定量的に検出する方法において、回転シャフトの垂直軸面での回転シャフトのアンバランス量およびアンバランス角を示す概略図である。

【 図 5 】 本発明の回転シャフトのアンバランス状態を定量的に検出する方法において、回転シャフトの垂直軸面上の異なる位置での回転シャフトの位置エネルギーを計算するための概略図を示す。

【 図 6 】 本発明の回転シャフトのアンバランス状態を定量的に検出する方法を用いた試験の実施を示す概略図である。(a) は、回転シャフトへの追加負荷のない状態での試験の実施を示す概略図であり、(b) ~ (e) は、回転シャフトの異なる位置に追加負荷がある状態での試験の実施を示す概略図である。

20

【 図 7 】 図 6 の (a) ~ (e) の試験に対応する試験結果を示す極座標図である。

【 図 8 】 アンバランス量の試験値および実際値を図 7 に対応する回転シャフトのアンバランス角と比較する概略図である。

【 図 9 】 回転シャフトのアンバランス量およびアンバランス角の試験値から獲得された、回転シャフトのトルクが速度とともに変化することを表す試験値と、モータ電流の測定とその計算とにより獲得された、回転シャフトのトルクが速度とともに変化することを表す実際値とを比較した概略図である。

30

【 図 1 0 】 本発明による回転シャフトのアンバランス状態を定量的に検出する装置の構造を示す概略図である。

【 図 1 1 】 本発明による工作物のクランプ状態を検出する方法の流れ図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 2 9 】

添付図面とともに本発明を詳細に説明する。

【 0 0 3 0 】

図 2 を参照すると、本発明による回転シャフトのアンバランス状態を量的に検出する方法は、以下の段階を包含する。

【 0 0 3 1 】

40

段階 S 1 0 0 : 回転シャフトの駆動。

【 0 0 3 2 】

本発明による回転シャフトのアンバランス状態を量的に検出するための方法では、センサが使用されて回転シャフトがアンバランス状態にあるかどうかを質的に検出することはなく、代わりに、駆動シャフトのアンバランス状態の量的な検出が駆動信号によって行われる。高品質の駆動信号を獲得するため、モータが励磁されて回転シャフトを駆動する時には励磁信号が最適化されるべきであり、モータ運転時の開始段階および終了段階では回転シャフトのアンバランス状態は信号ノイズに非常に敏感であることが試験から判明しており、ゆえに、モータ運転の初期段階および終了段階での信号ノイズを低減するため、本発明による回転シャフトアンバランス状態量的検出方法では、S 字形と正弦曲線との合成

50

速度プロフィールがモータの励磁信号として使用される。

【 0 0 3 3 】

図 3 を参照すると、合成速度プロフィールは、位置（度）プロフィールと速度（度 / 分）プロフィールと加速度（度 / 分²）プロフィールとを包含する。これらのプロフィールは時間軸の方向に三つのゾーンに分割される。それぞれ、ゾーン 1：加速段階、ゾーン 2：正弦曲線速度プロフィール段階、ゾーン 3：減速段階である。速度プロフィールは、上記の加速および減速段階でのモータ速度が突然変化しないように選択される。上記の合成速度プロフィールを用いることにより、モータ運転の初期段階および終了段階での信号ノイズが効果的に低減される。

【 0 0 3 4 】

段階 S 1 1 0：回転シャフトの位置信号、速度信号、加速度信号、トルク信号の獲得。

【 0 0 3 5 】

これらの信号はモータ自体から容易に獲得することができ、例えば、位置信号が最初に獲得されてから、導関数を計算することにより速度信号と加速度信号とが連続して取得され、トルク信号は、モータの電流を測定してから計算を行うことにより取得される。

【 0 0 3 6 】

段階 S 1 2 0：位置信号、速度信号、加速度信号、トルク信号に対するフィルタリングの実施。

【 0 0 3 7 】

この段階は任意の段階であり、上記の信号をさらに最適化するため、これらに対してフィルタリングが実施される。

【 0 0 3 8 】

段階 S 1 3 0：回転シャフトの回転運動エネルギーおよび位置エネルギーにしたがって、回転シャフトのアンバランス幅変数およびアンバランス角変数を含むラグランジュ運動学方程式が確定され、この位置信号、速度信号、加速度信号、トルク信号にしたがって、非線形多変数最小二乗法でこの方程式を解くことにより、回転シャフトのアンバランス幅の値およびアンバランス角の値が得られる。

【 0 0 3 9 】

本発明のアンバランス量およびアンバランス角は、以下のように規定される。回転シャフトのアンバランス量は、回転シャフトの重心から回転シャフトの軸までの垂直線分の長さ³⁰と回転シャフトの質量との積であり、回転シャフトのアンバランス角は、回転シャフトの重心から回転シャフトの軸までの垂直線分と回転シャフトの水平軸面との間の挟角である。そのため、回転シャフトのアンバランスの程度が、このアンバランス量およびアンバランス角に反映されるのは明白である。

【 0 0 4 0 】

図 4 は、本発明の回転シャフトアンバランス状態量の検出方法において、回転シャフトの垂直軸面における回転シャフトのアンバランス量およびアンバランス角についての概略図を示している。回転シャフトの質量を m と仮定して、図の丸い点の位置が回転シャフトの重心であり、回転シャフトの重心から回転シャフトの軸までの垂直線分の長さが r であり、回転シャフトの重心から回転シャフトの軸までの垂直線分と回転シャフトの水平軸面⁴⁰との間の挟角が θ_0 であると、回転シャフトのアンバランス量は、

$$U = m \cdot r \quad (1)$$

であり、回転シャフトのアンバランス角は θ_0 である。回転シャフトの回転運動エネルギーは以下のように計算できる。

【 数 1 】

$$K = \frac{1}{2} I \dot{\theta}^2 \quad (2)$$

K は回転シャフトの回転運動エネルギーであり、 I は回転シャフトの慣性であり、

$\ddot{\theta}$

は回転シャフトの速度信号である。

【 0 0 4 1 】

図 5 は、本発明の回転シャフトのアンバランス状態を定量的に検出する方法において、回転シャフトの垂直軸面上の様々な位置での回転シャフトの位置エネルギーを計算するための概略図が示している。回転シャフトの水平軸面と垂直軸面に沿って、第 1 四分円から第 4 四分円までの四つの四分円に分割され、図 5 (e) に示されているように、回転シャフトの重心が水平軸面より下の垂直軸面上にある時には、位置エネルギーはゼロであり、上記の四つの四分円において、図 5 (a) から 5 (d) に示された位置での各位置エネルギーは、

10

【 数 2 】

$$\text{第1四半円: } P = mgr[1 + \sin(\theta_0 + \theta)]$$

$$\text{第2四半円: } P = mgr[1 + \sin(\pi - \theta_0 - \theta)]$$

$$\text{第3四半円: } P = mgr[1 - \cos(\frac{3\pi}{2} - \theta_0 - \theta)]$$

$$\text{第4四半円: } P = mgr[1 - \cos(\theta_0 + \theta - \frac{3\pi}{2})]$$

20

であり、P は位置エネルギー、g は重力加速度、 θ は回転シャフトの位置信号である。

【 0 0 4 2 】

そのため、これらを組み合わせると以下が得られる。

$$P = mgr[1 + \sin(\theta_0 + \theta)] \quad (3)$$

ラグランジュ運動力学方程式は次のように確定される。

【 数 3 】

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} - \frac{\partial L}{\partial \theta} = \tau \quad (4)$$

30

$$L = K - P \quad (5)$$

τ は回転シャフトのトルク信号であり、方程式 (2) および (3) を方程式 (5) に代入すると、以下が得られる。

【 数 4 】

$$L = \frac{1}{2} I \dot{\theta}^2 - mgr[1 + \sin(\theta_0 + \theta)] \quad (6)$$

方程式 (6) を方程式 (4) に代入すると、以下が得られる。

【 数 5 】

$$\frac{d}{dt} (mr^2 \dot{\theta}) - (-mgr \cos(\theta + \theta_0)) = \tau \quad (7)$$

40

つまり

【 数 6 】

$$I \ddot{\theta} + U g \cos(\theta + \theta_0) = \tau \quad (8)$$

 $\ddot{\theta}$

は回転シャフトの加速度信号である。

【 0 0 4 3 】

50

こうして、回転シャフトのアンバランス量変数およびアンバランス角変数を含む方程式 (8) で示されるラグランジュの運動方程式の計算モデルが確定される。

【0044】

このモデルをより正確にするため、クーロン摩擦および粘性摩擦が導入され、方程式 (8) が書き直されると、以下の式が得られる。

【数7】

$$I\ddot{\theta} + Ug \cos(\theta + \theta_0) + F_{cf} \operatorname{sgn}(\dot{\theta}_f) + F_{vf} \dot{\theta}_f + F_{cr} \operatorname{sgn}(\dot{\theta}_r) + F_{vr} \dot{\theta}_r + \varepsilon = \tau \quad (9)$$

F_{cf} と F_{vf} はそれぞれ、回転シャフトの時計方向回転におけるクーロン摩擦係数および粘性摩擦係数である。

F_{cr} および F_{vr} はそれぞれ、回転シャフトの反時計方向回転におけるクーロン摩擦係数および粘性摩擦係数である。

$\dot{\theta}_f$

および

$\dot{\theta}_r$

は、それぞれ回転シャフトの時計方向回転および反時計方向回転における速度信号である。

【数8】

$$\operatorname{sgn}(\dot{\theta}_f) = \begin{cases} 1 & \dot{\theta}_f > 0 \\ 0 & \dot{\theta}_f = 0 \\ -1 & \dot{\theta}_f < 0 \end{cases}$$

$$\operatorname{sgn}(\dot{\theta}_r) = \begin{cases} 1 & \dot{\theta}_r > 0 \\ 0 & \dot{\theta}_r = 0 \\ -1 & \dot{\theta}_r < 0 \end{cases}$$

ε はモデルの測定誤差である。

【0045】

方程式 (9) により示される計算モデルは、回転シャフトが水平方向に配置されたケースに特に適しているが、回転シャフトが斜方向に配置されたケースに適した同様の計算モデルも、方程式 (9) にしたがって容易に導出されることが当該技術の熟練者には理解されるだろう。同じように、クーロン摩擦および粘性摩擦により生じる影響のみが方程式 (9) のモデルで検討されたが、モデルをより正確にするには、他のタイプの摩擦により生じる影響も考慮に入れられることが当該技術の熟練者には理解されるだろう。

【0046】

方程式 (9) では、 θ ,

$\dot{\theta}_f$, $\dot{\theta}_r$, $\ddot{\theta}$,

τ はそれぞれ、上で獲得された位置信号、速度信号、加速度信号、トルク信号についての既知変数であって、 U , F_{cf} , F_{vf} , F_{cr} , F_{vr} , θ_0 , I は未知変数であり、非線形多変数最小二乗法を用いると、異なる時点での θ ,

$\dot{\theta}_f$, $\dot{\theta}_r$, $\ddot{\theta}$,

τ の値を方程式 (9) に代入して一組の方程式を得ることにより、アンバランス量 U およびアンバランス角 θ_0 の値が得られる。

【0047】

図6(a)から6(e)を参照すると、出願人らは、本発明による回転シャフトアンバランス状態量的検出方法に関して関連の試験を実施して、図7(a)から7(e)に示さ

10

20

30

40

50

れた結果を得た。

【0048】

図6(a)：回転シャフトには追加負荷が加えられなかった。

図6(b)：質量0.165 kgの追加負荷が、回転シャフトの $r = 0.0775\text{ m}$ 、 $\theta_0 = 60^\circ$ に加えられた。

図6(c)：質量0.165 kgの追加負荷が、回転シャフトの $r = 0.0175\text{ m}$ 、 $\theta_0 = 60^\circ$ に加えられた。

図6(d)：質量0.165 kgの追加負荷が、回転シャフトの $r = 0.0175\text{ m}$ 、 $\theta_0 = 240^\circ$ に加えられた。

図6(e)：質量0.165 kgの追加負荷が、回転シャフトの $r = 0.0775\text{ m}$ 、 $\theta_0 = 240^\circ$ に加えられた。

10

【0049】

図7(a)から7(e)にはそれぞれ、図6(a)から6(e)の試験に対応する様々な結果が示されており、これらの試験結果は図の極座標図で表され、これら極座標図の半径座標(これらの図の0.01, 0.02, 0.03など)はアンバランス量の値を指し、極角座標(これらの図の0, 30, 60, ... 330など)はアンバランス角の値を指す。

【0050】

この試験の様々な結果は、以下を含む。四角形記号として表され、本発明の回転シャフトのアンバランス状態を定量的に検出する方法を用いて獲得された、追加負荷のない状態でのアンバランス量およびアンバランス角の試験値。三角形記号で表された、正味追加負荷がある状態でのアンバランス量およびアンバランス角の理論値であって、図6(a)から6(e)により得られる試験パラメータにしたがって直接決定される理論値。例えば、図6(b)の試験では、アンバランス量は $U = m \cdot r = 0.165\text{ kg} \cdot 0.0775\text{ m} = 0.0127875\text{ kg} \cdot \text{m}$ 、アンバランス角は $\theta_0 = 60^\circ$ 。上記の結果は図7(b)の極座標系の対応の位置に三角形記号として表される。プラス記号として表された、追加負荷がある状態でのアンバランス量およびアンバランス角の実際値。この実際値は、四角形記号として表されて回転シャフトのアンバランス状態を定量的に検出する方法を用いてそれぞれ得られた、追加負荷のない状態でのアンバランス量およびアンバランス角の試験値と、三角形記号として表された、正味追加負荷のある状態でのアンバランス量およびアンバランス角の理論値と、ダイヤモンド記号として表されて回転シャフトのアンバランス状態を定量的に検出する方法を用いることで得られた、追加負荷のある状態でのアンバランス量およびアンバランス角の試験値とのベクトル和である。

20

30

【0051】

上記の、追加負荷のある状態でのアンバランス量およびアンバランス角の試験値(ダイヤモンド記号として表され、回転シャフトのアンバランス状態を定量的に検出する方法を用いて得られたもの)と、追加負荷のある状態でのアンバランス量およびアンバランス角の実際値(プラス記号として表される)との一致度が高いほど、本発明の回転シャフトのアンバランス状態を定量的に検出する方法の正確度は高くなる。ダイヤモンド記号として表された試験値とプラス記号として表された実際値とがわずかのずれで実質的に一致することが図7(b)から7(e)で分かり、これは本発明による回転シャフトのアンバランス状態を定量的に検出する方法の正確度が非常に高いことを示している。

40

【0052】

図8には、アンバランス量およびアンバランス角の試験値および実際値についての比較図がさらに挙げられており、試験回数1から5はそれぞれ図6(a)から6(e)のすべての試験に対応し、図において実線はアンバランス量およびアンバランス角の実際値をそれぞれ示して、点線はアンバランス量およびアンバランス角の試験値をそれぞれ示し、試験値と実際値との一致度がやはりかなり高いことが分かり、本発明による回転シャフトのアンバランス状態を定量的に検出する方法を用いて得られた結果は、回転シャフトのアンバランス状態を比較量的かつ正確に反映しており、ゆえに後の手動または自動補正のた

50

めの関連データを提供するように、このアンバランス状態を正確に判断できる。

【 0 0 5 3 】

本発明の回転シャフトのアンバランス状態を定量的に検出する方法の正確度をさらに実証するため、出願人は、上記の試験とは異なる条件においていくつかの追加試験を実施したが、これらの追加試験の試験パラメータは以下の通りである。

試験 1：回転シャフトに追加負荷が加えられなかった。

試験 2：質量 0.038 kg の追加負荷が回転シャフトの $r = 0.055 \text{ m}$ 、 $\theta_0 = 270^\circ$ に加えられた。

試験 3：質量 0.038 kg の追加負荷が回転シャフトの $r = 0.055 \text{ m}$ 、 $\theta_0 = 30^\circ$ に加えられた。

10

【 0 0 5 4 】

上記の試験 1, 2, 3 は同じ試験条件でそれぞれ 3 回繰り返され、本発明の回転シャフトのアンバランス状態を定量的に検出する方法を用いて得られたアンバランス量およびアンバランス角の試験値を、以下の表に示す。

【表 1】

試験	回数	試験値	
		アンバランス量 (kg·m)	アンバランス角 (度)
試験 1	1	0.006188	97.952568
	2	0.006414	97.143258
	3	0.006907	102.156855
試験 2	1	0.004186	113.982468
	2	0.004282	112.38793
	3	0.004419	111.098232
試験 3	1	0.007939	78.940742
	2	0.007432	87.980809
	3	0.007416	88.936889

20

30

【 0 0 5 5 】

アンバランス量およびアンバランス角の平均値が、上の別々の試験 1, 2, 3 の 3 回の試験から計算されて実際値と比較されたが、この実際値は、本発明の回転シャフトのアンバランス状態を定量的に検出する方法を用いることでそれぞれ得られた、追加負荷のない状態でのアンバランス量およびアンバランス角の試験値と、正味追加負荷のある状態でのアンバランス量およびアンバランス角の理論値とのベクトル和であり、この比較結果を以下の表に示す。

【表 2】

試験	実際値		試験値 (平均値)	
	アンバランス量 (Kg.m)	アンバランス角 (度)	アンバランス量 (Kg.m)	アンバランス角 (度)
試験 1	0.006503	99.084227	0.006503	99.084227
試験 2	0.00454	104.3789	0.004295667	112.4895433
試験 3	0.00742762	85.056989	0.007595667	85.28614667

40

【 0 0 5 6 】

アンバランス量値およびアンバランス角値の平均値を計算することにより得られる試験値は実際値とさらに一致しており、ゆえに回転シャフトのアンバランス状態をより正確かつ量的に反映していることが分かる。

50

【 0 0 5 7 】

本発明による回転シャフトのアンバランス状態を定量的に検出する方法は、回転シャフトのアンバランス状態を量的かつ正確に反映しており、これは、図 9 に示された他の面でも確認でき、同図において、実線は、モータの電流を測定してから計算を行うことにより得られる、速度とともに変化する回転シャフトのトルクの実値を指し、点線は、本発明の回転シャフトのアンバランス状態を定量的に検出する方法によりアンバランス量の値およびアンバランス角の値を取得した後でこれらを方程式 (9) に逆代入することにより計算される、速度とともに変化する回転シャフトのトルクの試験値を指し、点線で表される試験値は実線で表される実値と正確に適合し、そのため、本発明による回転シャフトのアンバランス状態を定量的に検出する方法は、回転シャフトのアンバランス状態をかなり正確に反映することがさらに確認されるため、アンバランス状態が正確に判断されて、後の人為または自動補正のための関連データを提供できることが分かる。

10

【 0 0 5 8 】

これに応じて、本発明は、図 1 0 に示された、回転シャフトのアンバランス状態を量的に検出するための装置 3 0 0 も提案する。この回転シャフトのアンバランス状態を量的に検出するための装置 3 0 0 は、回転シャフトを駆動するための回転シャフト駆動ユニット 3 1 0 と、回転シャフトの位置信号と速度信号と加速度信号とトルク信号とを獲得するため回転シャフト駆動ユニット 3 1 0 に接続された信号獲得ユニット 3 2 0 と、回転シャフトの回転運動エネルギーおよび位置エネルギーにしたがって回転シャフトのアンバランス量変数およびアンバランス角変数を含むラグランジュ運動学方程式を確定して、上記信号獲得ユニットにより獲得された位置信号と速度信号と加速度信号とトルク信号とにしたがって非線形多変数法でこの方程式を解くことにより、回転シャフトのアンバランス量の値およびアンバランス角の値を獲得するための、信号獲得ユニット 3 2 0 に接続されたアンバランス量値アンバランス角計算ユニット 3 3 0 とを含む。この回転シャフトのアンバランス量は、回転シャフトの重心から回転シャフトの軸までの垂直線分の長さとの積であり、アンバランス角は、回転シャフトの重心から回転シャフトの軸までの垂直線分と回転シャフトの水平軸面との間の挟角である。

20

【 0 0 5 9 】

これに応じて、本発明は、図 1 1 に見られるような工作物のクランプ状態を検出する方法をさらに提供し、この検出方法は以下の段階を包含する。

30

【 0 0 6 0 】

段階 S 2 0 0 : 工作物がクランプされていない状態でのアンバランスオフセットベクトルを獲得するように、回転シャフトのアンバランス状態を量的に検出して、工作物がクランプされていない状態での回転シャフトのアンバランス量およびアンバランス角を検出する。

【 数 9 】

$$\vec{M} = A_1 \angle \theta_1 \quad (10)$$

A_1 は、工作物がクランプされていない状態での回転シャフトのアンバランス量であり、 θ_1 は、工作物がクランプされていない状態での回転シャフトのアンバランス角である。

40

【 0 0 6 1 】

段階 S 2 1 0 : 工作物がクランプされた後でのアンバランスオフセットベクトルを獲得するように、回転シャフトアンバランス状態量の検出方法を用いて、工作物がクランプされた後での回転シャフトのアンバランス量およびアンバランス角を検出する。

【 数 1 0 】

$$\vec{N} = A_2 \angle \theta_2 \quad (11)$$

A_2 は、工作物がクランプされていない状態での回転シャフトのアンバランス量であり、 θ_2 は、工作物がクランプされていない状態での回転シャフトのアンバランス角である。

【 0 0 6 2 】

50

段階 S 2 2 0 : 工作物がクランプされていない状態で計算されたアンバランスオフセットベクトルと、工作物がクランプされた後でのアンバランスオフセットベクトルとの差分ベクトル。

【数 1 1】

$$\vec{R} = \vec{M} - \vec{N} = A_R \angle \theta_R \quad (12)$$

A_R は差分ベクトルのアンバランス量であり、 θ_R は差分ベクトルのアンバランス角である。

【 0 0 6 3】

段階 S 2 3 0 : 上記の差分ベクトルにしたがって、工作物のクランプ状態が判断される。 10

【 0 0 6 4】

方程式 (1 2) では、差分ベクトル

$\vec{R}$

と比較して A_R が大きくなるほど、工作物のアンバランスオフセットが大きくなる、つまり工作物のクランプ状態が悪化する。

【 0 0 6 5】

上述したのは、本発明の好適な実施例に過ぎず、本発明を限定する意図はなく、本発明の趣旨および原理に含まれる変形、同等の置換、改良は、本発明の保護範囲に含まれるべきである。 20

【符号の説明】

【 0 0 6 6】

1 0 工作物

2 0 工作ヘッド

3 0 心押し台

1 0 0 回転シャフトの軸

1 1 0 工作物の軸

d 1 , d 2 , d 3 軸 1 0 0 と軸 1 1 0 との間の距離

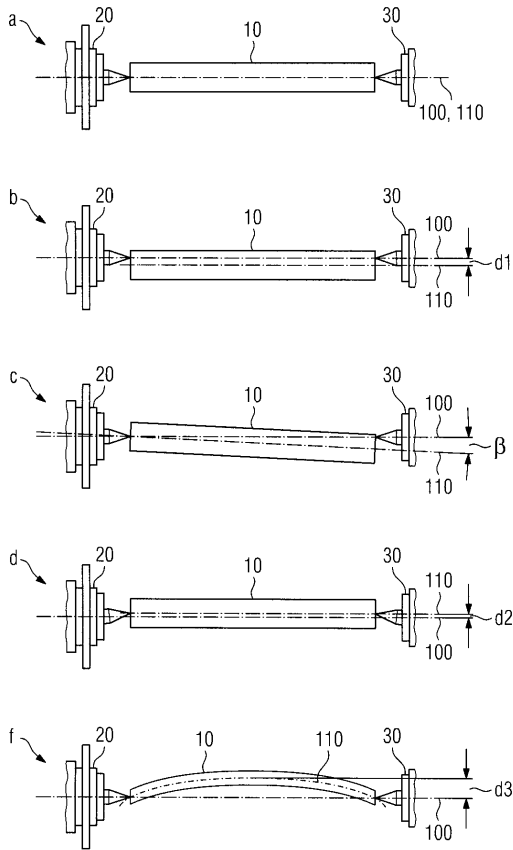
β 傾斜角

r 垂直線分

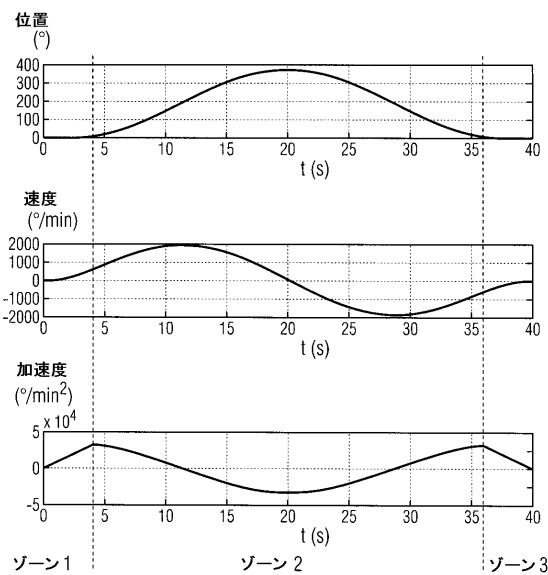
P 位置エネルギー

θ_0 挟角

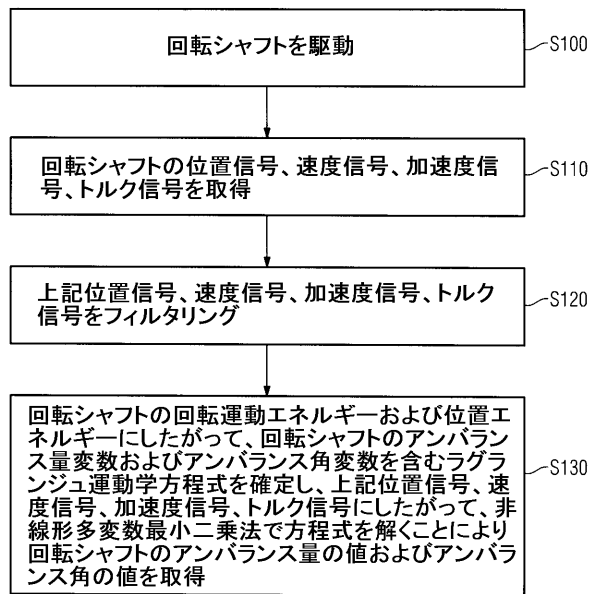
【 図 1 】



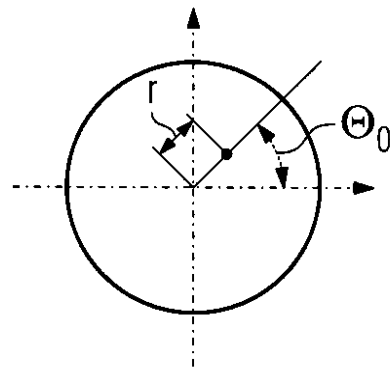
【 図 3 】



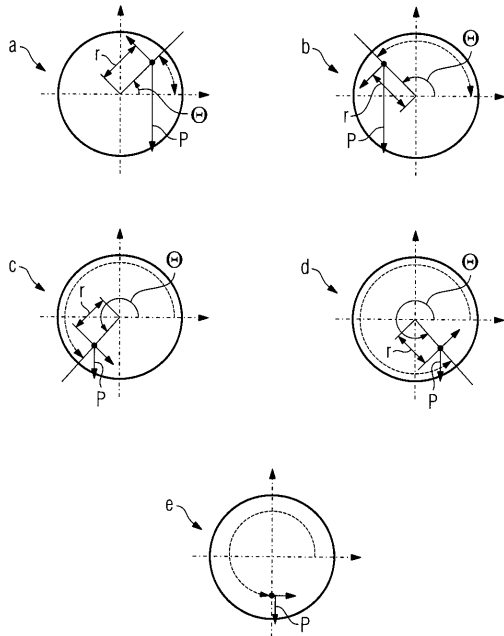
【 図 2 】



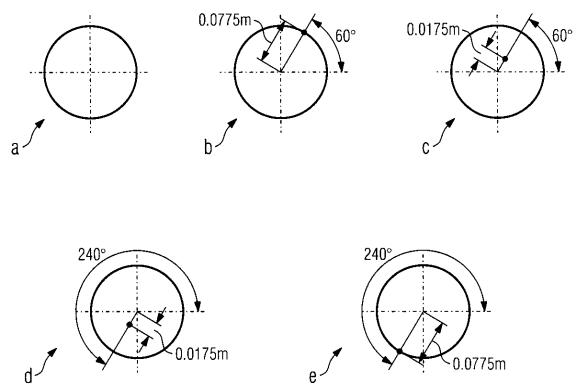
【 図 4 】



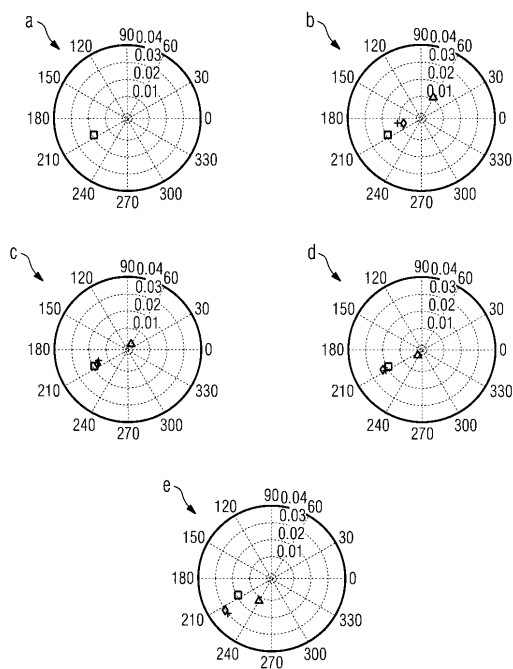
【図 5】



【図 6】



【図 7】



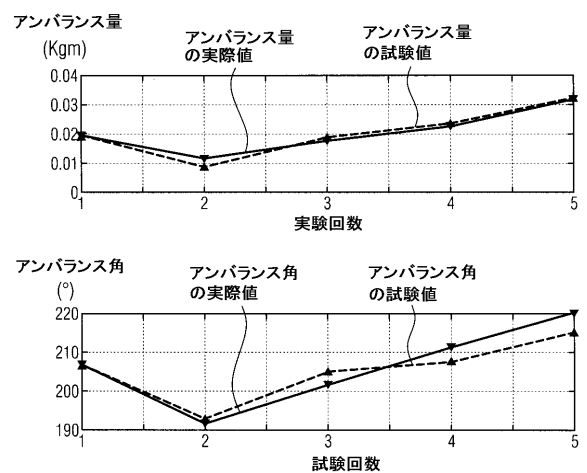
□ : 回転シャフトのアンバランス状態を定量的に検出する方法を用いることにより取得された、追加負荷のない状態のアンバランス量およびアンバランス角の試験値

△ : 正味追加負荷がある状態でのアンバランス量およびアンバランス角の理論値

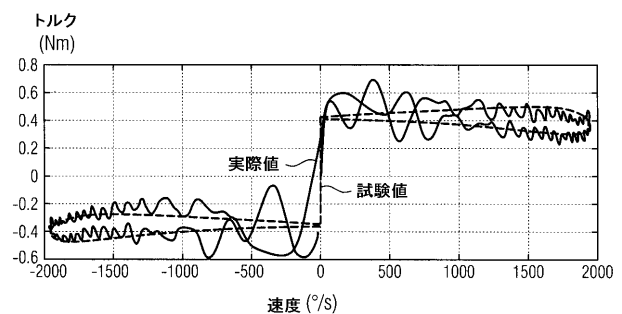
＋ : 追加負荷がある状態でのアンバランス量およびアンバランス角の実験値

◇ : 回転シャフトのアンバランス状態を定量的に検出する方法を用いることにより取得された、追加負荷がある状態でのアンバランス量およびアンバランス角の試験値

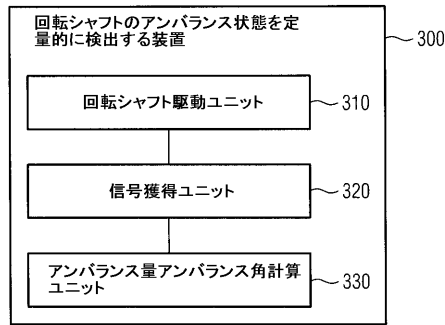
【図 8】



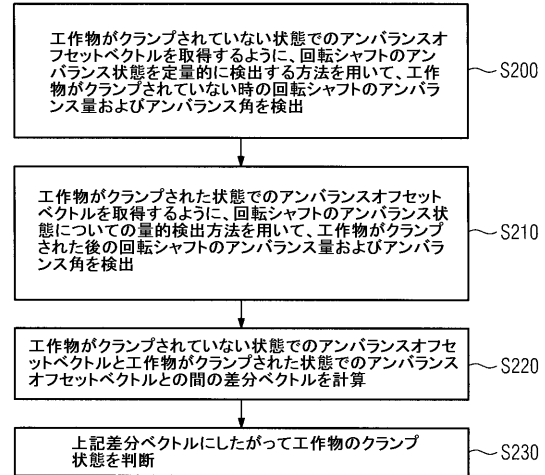
【図 9】



【図 10】



【図 11】



フロントページの続き

- (72)発明者 シ フ
中華人民共和国 100025 ベイジン チャオヤン ディストリクト シ フォ イン ドン
リ ナンバー 133
- (72)発明者 ウェイ ミン マ
中華人民共和国 100083 ベイジン ハイディアン ディストリクト 205-1-203
シューユアン ロード 37
- (72)発明者 シャオ イン シャオ
中華人民共和国 100076 ベイジン フェンタイ ディストリクト シーインメン ノース
ロード ドンガオディ 2
- (72)発明者 ウェン ガン シ
中華人民共和国 100044 ベイジン ハイディアン ディストリクト ジャオダ ドンル
52
- (72)発明者 クイン ガン
中華人民共和国 100027 ベイジン ドンチェン ディストリクト シンゾンシリ 2-1
-504
- (72)発明者 ジャン ク シン
中華人民共和国 100077 ベイジン フェン タイ ディストリクト ヤン キアオ ベイ
リ
- (72)発明者 ユー ツォー
中華人民共和国 100084 ベイジン チンファ ユニヴァーシティー
- F ターム(参考) 2G021 AB06 AC03 AJ01
5H571 FF01 FF02 JJ03 JJ04 JJ26 LL01 LL29 MM17