

明 細 書

非定常信号解析装置及び非定常信号解析プログラムを記録した媒体

技 術 分 野

本発明は、監視対象である各種のメカニカルシステム、プロセス等から発生する非定常信号を解析するための非定常信号解析装置に係わり、特に、エレベータから発生する非定常信号を解析するための非定常信号解析装置に関する。

また、本発明は、監視対象から発生する非定常信号をコンピュータによって解析するためのプログラムを記録した媒体に関する。

背 景 技 術

従来、監視対象であるメカニカルシステム、プロセス等から発生した信号を測定器によって測定し、測定によって得られた信号データを解析することによって監視対象の異常を検知して操作員（オペレータ又はユーザー）に異常状態を警告表示する診断システムとして様々なものが提案されている。

これらの診断システムは、一般に監視対象から得られた信号データをフーリエ変換してスペクトルを監視したり、監視対象の入出力データからシステム同定手法によって特性モデルを推定したりする方法が主流である。

しかし、監視対象の運転状態が急激に変化する非定常状態において測定された非定常信号に対しては、フーリエ変換によって時々刻々と変化するスペクトルを求めたり、システム同定によって変動する特性モデルを求めたりすることはできなかった。

そこで、非定常信号を解析して監視対象の異常を検知する手法として、ウェーブレット変換を用いたウェーブレット解析手法が注目されている。以下、このウェーブレット解析手法について説明する。

監視対象から測定された信号データを $x(t)$ とすると、従来のフーリエ変換は下式 (1)

$$F(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j\omega t} dt \quad (1)$$

によって表現される。これに対してウェーブレット変換は、下式 (2)

$$wt(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{|a|}} \phi\left(\frac{t-b}{a}\right) x(t) dt \quad (2)$$

によって表現される。ここで、 $\phi(\cdot)$ はマザーウェーブレットと呼ばれる変換のための基底関数である。

フーリエ変換は、ウェーブレット変換における基底関数を $\phi(t) = e^{-jt}$ 、 $b=0$ 、 $a=\omega^{-1}$ とした場合に相当し、その基底関数は図 2 a に示したように無限遠の過去から未来に伸びた関数である。したがって、フーリエ変換によって得られたスペクトルは、例えば図 2 b に示したように周波数軸のみの 1 次元関数となり、観測データのどの部分の特徴かという時間依存性が判別できない。

これに対してウェーブレット変換では、例えば下式 (3)

$$\phi(t) = e^{-(t/T)^2} e^{-jt} \quad (3)$$

で示されるガボール関数と呼ばれる関数を基底関数として用いることによって、この基底関数は図3 aに示したような時間的に局在した関数となる。

このため、ウェーブレット変換によって得られたスペクトルは、例えば図3 bに示したように周波数軸及び時間軸に対する2次元関数となり、この2次元関数に基づいて信号内の各周波数成分の時間依存性を判別することができる。

上述したようにウェーブレット変換は観測されたデータの各時刻でのスペクトル分布を抽出することができることから、非定常信号に対する解析手段として有効であり、したがって監視対象の運転状態が時々刻々と変換する場合にも有効であるとされている。

ところが、上述した従来の診断システムは、監視対象から得られた非定常信号に対してただ単にウェーブレット変換を行うようにしたものであるため、その解析結果は周波数スペクトルの時間依存性を示すにとどまるものであり、解析対象の異常診断のための解析手法としては不十分であった。

例えば図3 bに示したような従来の診断システムによる解析結果を見ても、この解析結果が監視対象の状態変化とどのように関わっているかについては読みとることができない。

そこで、本発明は、上述した問題点を解消し、監視対象から得られた非定常信号を解析することによって監視対象の異常状態を的確に診断することができる非定常信号解析装置を提供することを目的とする。

発 明 の 開 示

本発明の一形態による非定常信号解析装置は、監視対象から発生する非定常信号を解析するための非定常信号解析装置において、前記非定常信号をウェーブレット変換してウェーブレットスペクトルデータを作成するウェーブレット変換計算手段と、前記監視対象における特定の状態量の時間変化を表した状態量変化関数を設定する状態量変化関数設定手段と、前記状態量変化関数の逆関数によって

前記ウェーブレットスペクトルデータの時間座標を前記特定の状態量の座標に非線形変換する時間座標非線形変換手段と、を備えたことを特徴とする。

本発明の他の形態による非定常信号解析装置は、監視対象がエレベータであって、このエレベータの乗りかごにおいて測定された非定常信号である加速度信号を解析するための非定常信号解析装置において、前記加速度信号をウェーブレット変換してウェーブレットスペクトルデータを作成するウェーブレット変換計算手段と、前記乗りかごの特定の状態量である昇降位置又は昇降速度の時間変化を表した状態量変化関数を設定する状態量変化関数設定手段と、前記状態量変化関数の逆関数によって前記ウェーブレットスペクトルデータの時間座標を前記昇降位置又は前記昇降速度の座標に非線形変換する時間座標非線形変換手段と、を備えたことを特徴とする。

本発明による非定常信号解析装置は、好ましくは、前記時間座標非線形変換手段は、拡張ウェーブレット変換式

$$wt(a, b) = \int_{z(-\infty)}^{z(\infty)} \frac{1}{\sqrt{|a|}} \phi\left(\frac{t(z-b)}{a}\right) x(t(z)) \frac{dt(z)}{dz} dz$$

によって前記ウェーブレットスペクトルデータの時間座標を前記特定の状態量の座標に非線形変換したスペクトルデータを計算することを特徴とする。

本発明による非定常信号解析装置は、好ましくは、前記時間座標非線形変換手段は、前記ウェーブレットスペクトルデータを各時間毎に分割し、時間と前記特定の状態量との関係を記憶したデータテーブル或いは前記状態量変化関数に基づいて、分割されたデータを状態量順に並べ替え、各データ間を補間或いは平滑化処理することによって、前記ウェーブレットスペクトルデータの時間座標を前記特定の状態量の座標に非線形変換したスペクトルデータを計算することを特徴と

する。

本発明による非定常信号解析装置は、好ましくは、前記非定常信号を測定するための応答データ測定手段をさらに有することを特徴とする。

本発明による非定常信号解析装置は、好ましくは、前記状態量変化関数設定手段は、前記特定の状態量以外の状態量に関する測定データに基づいて前記状態量変化関数を推定するようにしたことを特徴とする。

本発明による非定常信号解析装置は、好ましくは、前記特定の状態量以外の状態量に関する測定データは前記非定常信号に関する測定データであることを特徴とする。

本発明による非定常信号解析装置は、好ましくは、前記状態量変化関数設定手段は、前記監視対象の動特性モデルに基づく状態観測器又はカルマンフィルタを用いて、前記特定の状態量の時間変化を前記特定の状態量以外の状態量の測定データに基づいて推定することによって前記状態量変化関数を推定するようにしたことを特徴とする。

本発明による非定常信号解析装置は、好ましくは、前記状態量変化関数設定手段は、前記特定の状態量の測定データに基づいて前記状態量変化関数を求めるようにしたことを特徴とする。

本発明による非定常信号解析装置は、好ましくは、前記状態量変化関数設定手段は、予め求めておいた前記状態量変化関数を使用するようにしたことを特徴とする。

本発明による非定常信号解析装置は、好ましくは、少なくとも前記特定の状態量の座標及び周波数の座標を有する座標系によって前記時間座標非線形変換手段の解析結果を表示する表示手段をさらに有することを特徴とする。

本発明による非定常信号解析装置は、好ましくは、前記時間座標非線形変換手段の解析結果に基づいて前記監視対象における異常の発生の有無を判定する異常

判定手段をさらに有することを特徴とする。

本発明による非定常信号解析装置は、好ましくは、前記時間座標非線形変換手段の解析結果であるスペクトルデータについての前記表示手段による表示に対して、表示全体の中の特定の領域を指定するための領域指定手段と、前記領域指定手段によって指定された領域に対応するスペクトルデータを取り出して前記異常判定手段に送るためのデータ抽出手段と、をさらに有することを特徴とする。

本発明による非定常信号解析装置は、好ましくは、前記異常判定手段による判定結果を前記表示手段に表示するようにしたことを特徴とする。

本発明による非定常信号解析装置は、好ましくは、前記異常判定手段による判定結果を表示する異常表示手段をさらに有することを特徴とする。

本発明の他の形態による非定常信号解析プログラムを記録した媒体は、監視対象から発生する非定常信号をコンピュータによって解析するためのプログラムを記録した媒体であって、この非定常信号解析プログラムはコンピュータに、前記非定常信号をウェーブレット変換してウェーブレットスペクトルデータを作成するウェーブレット変換計算機能と、前記監視対象における特定の状態量の時間変化を表した状態量変化関数を設定する状態量変化関数設定機能と、前記状態量変化関数の逆関数によって前記ウェーブレットスペクトルデータの時間座標を前記特定の状態量の座標に非線形変換する時間座標非線形変換機能と、を実現させることを特徴とする。

本発明による非定常信号解析プログラムを記録した媒体は、好ましくは、前記監視対象はエレベータであり、前記非定常信号は前記エレベータの乗りかごにおいて測定された加速度信号であり、前記特定の状態量は前記乗りかごの昇降位置又は昇降速度であることを特徴とする。

本発明による非定常信号解析プログラムを記録した媒体は、好ましくは、前記時間座標非線形変換手段は、拡張ウェーブレット変換式

$$wt(a,b) = \int_{z(-\infty)}^{z(\infty)} \frac{1}{\sqrt{|a|}} \phi\left(\frac{t(z-b)}{a}\right) x(t(z)) \frac{dt(z)}{dz} dz$$

によって前記ウェーブレットスペクトルデータの時間座標を非線形変換したスペクトルデータを計算することを特徴とする。

本発明による非定常信号解析プログラムを記録した媒体は、好ましくは、前記時間座標非線形変換手段は、前記ウェーブレットスペクトルデータを各時間毎に分割し、時間と前記特定の状態量との関係を記憶したデータテーブル或いは前記状態量変化関数に基づいて、分割されたデータを状態量順に並べ替え、各データ間を補間或いは平滑化处理することによって、時間座標を前記特定の状態量の座標に非線形変換したスペクトルデータを計算することを特徴とする。

そして、本発明によれば、監視対象の特定の状態量に対する周波数の変化の依存性、相関関係を求めることができるので、監視対象の異常状態を的確に診断することができる。

図面の簡単な説明

図1は、本発明の第1実施形態による非定常信号解析装置の概略を示した構成図である。

図2 aはフーリエ変換の基底関数を示したグラフであり、図2 bはフーリエ変換によるパワースペクトルを示したグラフである。

図3 aはウェーブレット変換の基底関数を示したグラフであり、図3 bはウェーブレット変換によるウェーブレットパワースペクトルを示したグラフである。

図4は、本発明の第1実施形態の変形例における状態量推定手段の概略を示した構成図である。

図5は、本発明の第1実施形態の第1実施例の解析対象であるエレベータの概

略を示した構成図である。

図6は、本発明の第1実施形態の第1実施例のハードウェア構成を示した構成図である。

図7は、本発明の第1実施形態の第1実施例における拡張ウェーブレット変換に基づくエレベータ異常診断アルゴリズムを示したフローチャートである。

図8a、図8b、図8cは、それぞれ、モータ軸偏心異常時のエレベータのモータトルク、かご速度、かご位置を示したグラフである。

図9a、図9b、図9cは、それぞれ、モータ軸偏心異常時のエレベータのかご内加速度、回転トルク変動、かご内加速度のフーリエ変換結果を示したグラフである。

図10は、モータ軸偏心異常時のエレベータのかご内加速度データを従来のウェーブレット変換手法によって解析した結果を示したグラフである。

図11a、図11bは、それぞれ、モータ軸偏心異常時のエレベータのかご内加速度データをかご速度に対して拡張ウェーブレット変換した結果を示したグラフである。

図12は、モータ軸偏心異常時のエレベータのかご内加速度データをかご位置に対して拡張ウェーブレット変換した結果を示したグラフである。

図13a、図13b、図13cは、それぞれ、ガイドレール異常時のエレベータのモータトルク、かご速度、かご位置を示したグラフである。

図14a、図14bは、それぞれ、ガイドレール異常時のエレベータのかご内加速度、かご内加速度のフーリエ変換結果を示したグラフである。

図15は、ガイドレール異常時のエレベータのかご内加速度のかご位置に対する拡張ウェーブレット変換結果を示したグラフである。

図16は、本発明の第1実施形態の第2実施例による非定常信号解析装置の概略を示した構成図である。

図17は、本発明の第1実施形態の第2実施例による非定常信号解析装置を列車に取り付けた状態を説明するための説明図である。

図18は、本発明の第1実施形態の第3実施例による非定常信号解析装置の外観を示した斜視図である。

図19は、本発明の第1実施形態の第3実施例による非定常信号解析装置の内部のシステム構成を示した構成図である。

図20は、本発明の第1実施形態の第3実施例による非定常信号解析装置の表示部の表示状態の一例を示した図である。

図21は、本発明の第1実施形態の第3実施例による非定常信号解析装置の概略を示した構成図である。

図22は、本発明の第2実施形態による非定常信号解析プログラムを記録した媒体からプログラムを読み出すためのコンピュータシステムを示した斜視図である。

図23は、本発明の第2実施形態による非定常信号解析プログラムを記録した媒体からプログラムを読み出すためのコンピュータシステムを示したブロック図である。

発明を実施するための最良の形態

第1実施形態

以下、本発明による非定常信号解析装置の第1実施形態について図1及び図3a、図3bを参照して説明する。

図1は、本実施形態による非定常信号解析装置全体の概略構成を示しており、この非定常信号解析装置は、解析対象から発生する非定常信号を測定するための応答データ測定手段1を備えている。この応答データ測定手段1は、センサー及びA/D変換器、各種ノイズ除去フィルタ等によって構成されている。

応答データ測定手段1によって得られた非定常信号データ（応答データ時系列）

$x(t)$ はウェーブレット変換計算手段2に送られる。

このウェーブレット変換計算手段2は、例えば上述したウェーブレット変換式(2)

$$wt(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{|a|}} \phi\left(\frac{t-b}{a}\right) x(t) dt \quad (2)$$

を保持している。ここで、 a は周波数 ω の逆数であり、 b は時間 t である。

そして、ウェーブレット変換計算手段2において、上式(2)を用いて非定常信号データ $x(t)$ をウェーブレット変換し、図3bに示したようなウェーブレットスペクトルデータ(ウェーブレット変換データ) $wt(a, b)$ を算出する。

ウェーブレット変換計算手段2によって得られたウェーブレットスペクトルデータ $wt(a, b)$ は時間座標非線形変換手段3に送られる。この時間座標非線形変換手段3は、ウェーブレット変換計算手段2によって得られたウェーブレットスペクトルデータ $wt(a, b)$ の時間座標を、監視対象の特定の状態量(物理量)に関して非線形座標変換するための手段である。

ここで、特定の状態量とは、例えば、応答データ測定手段1によって測定される非定常信号が加速度に関する信号であるとすれば、特定の状態量は、例えば速度であり、或いは位置である。この点については、後述する第1実施例及び第2実施例において、エレベータ及び鉄道列車を例に挙げて詳しく説明する。

また、本実施形態による非定常信号解析装置は、時間と特定の状態量との関係を表す状態量変化関数データ $\{z(t_1), z(t_2) \dots z(t_N)\}$ を書き込むための時間～状態量変換テーブル4を備えている。この時間～状態量変換テーブル4は、後述する状態量推定手段6と共に、監視対象における特定の状態量の

時間変化を表した状態量変化関数を設定する状態量変化関数設定手段を構成する。

そして、この時間～状態量変換テーブル4に書き込まれる状態量変化関数データ $\{z(t_1), z(t_2) \dots z(t_N)\}$ を得るための方法としてはいくつかの方法が考えられるが、本実施形態においては、予め求めておいた状態量変化関数データ $\{z(t_1), z(t_2) \dots z(t_N)\}$ を、入力手段5によって時間～状態量変換テーブル4に書き込むようにする。

なお、状態量変化関数データ $\{z(t_1), z(t_2) \dots z(t_N)\}$ を得るためのその他の方法としては、例えば、特定の状態量 z (例えば速度) を直接測定して状態量測定値を得ることによって、特定の状態量 z の時間変化を直接的に取得する方法、或いは特定の状態量 z (例えば速度) 以外の状態量 (例えば加速度) に関する測定データに基づいて特定の状態量 z の時間変化を推定する方法等が考えられる。

後者の特定の状態量以外の状態量から特定の状態量 z の時間変化を推定する方法は、図1に示した状態量推定手段6を使用する方法であり、これについては本実施形態の変形例として後述する。

時間座標非線形変換手段3は、時間～状態量変換テーブル4に書き込まれた状態量変化関数データ $\{z(t_1), z(t_2) \dots z(t_N)\}$ を読み出し、読み出した状態量変化関数データに基づいてウェーブレットスペクトルデータ $w_t(a, b)$ の時間座標 b を状態量 z の座標に変換する。具体的には、時間座標非線形変換手段3は、特定の状態量 z の時間 t に対する関数 (状態量変化関数) $z(t)$ の逆関数 $t(z)$ を求め、この逆関数 $t(z)$ に基づいて上述したウェーブレット変換式 (2) を時間 t から特定の状態量 z に変数変換する。

このようにして特定の状態量 z に変数変換されたウェーブレット変換式 (2) は下式 (4) のようになる。

$$wt(a, b) = \int_{t(-\infty)}^{t(\infty)} \frac{1}{\sqrt{|a|}} \phi\left(\frac{t(z-b)}{a}\right) x(t(z)) \frac{dt(z)}{dz} dz \quad (4)$$

以下では、上式(4)によって示された変換を便宜上、拡張ウェーブレット変換と称することにする。この拡張ウェーブレット変換式(4)によってウェーブレットスペクトルデータ $w_t(a, b)$ の時間座標 b を状態量 z の座標に変換することによって、特定の状態量に対する周波数の変化を示した拡張ウェーブレットスペクトル $w_t(a, z)$ が得られる。

なお、上述のウェーブレットスペクトル $w_t(a, b)$ は、周波数 ω の関数という意味を強調するために、以下では $\omega = a^{-1}$ を用いて $w_t(\omega, b)$ 、 $w_t(a^{-1}, b)$ との表記も用いることにする。また、以下では従来のウェーブレットスペクトルを $w_t(\omega, t)$ 、拡張ウェーブレットスペクトルを $w_t(\omega, z)$ と記して区別することにする。

また、拡張ウェーブレットスペクトル $w_t(\omega, z)$ の別の計算の仕方として、従来のウェーブレット変換により得られたウェーブレットスペクトルデータ $w_t(\omega, t)$ を各時間 $\{t_1, t_2 \dots t_n\}$ のデータ $\{w_t(\omega, t_1), w_t(\omega, t_2) \dots w_t(\omega, t_n)\}$ に分割し、時間と特定の状態量の関係を示した状態量変化関数 $z(t)$ 或いはその関係を記憶したデータテーブル $\{z(t_1), z(t_2) \dots z(t_n)\}$ に基づき、前記の分割データを状態量 z の順に並べ替え、データ間を補間又は平滑化処理することにより、時間座標を状態量座標に非線形変換した拡張ウェーブレットスペクトル $w_t(\omega, z)$ を得る方法もある。

次に、時間座標非線形変換手段3によって求めた拡張ウェーブレットスペクトル $w_t(a, z)$ は表示手段7に送られる。この表示手段7は、拡張ウェーブレ

ットスペクトル $w_t(a, z)$ に基づいて、時間座標軸を変数変換された拡張ウェーブレットスペクトルデータ（ウェーブレット解析データ）として周波数座標 $\omega = a^{-1}$ （又はその逆数 a ）及び状態量座標 z に対する2次元関数 $w_t(\omega, z)$ を表示する。

具体的には、例えば、 $\{\omega, z, |w_t(\omega, z)|\}$ 或いは $\{\omega, z, \angle w_t(\omega, z)\}$ による3次元グラフをディスプレイ装置上に表示する。ここで、 $|a|$ は a の絶対値を意味し、 $\angle a$ は a の位相角を意味する。

さらに、本実施形態による非定常信号解析装置は、時間座標非線形変換手段3によって算出された拡張ウェーブレットスペクトルデータに基づいて監視対象における異常の発生の有無を自動的に判定する異常判定手段8を備えている。この異常判定手段8は、所定の異常診断方式を用いて監視対象の正常・異常を自動判定し、判定結果であるアラーム情報・異常モード情報等を表示手段7に送ってオペレータに警告表示するものである。

ここで、所定の異常診断方式としては、例えば解析結果の拡張ウェーブレットスペクトルデータ $w_t(\omega, z)$ の特定の部分のパワスペクトル値

$$\{|w_t(\omega_1, z_1)|, \dots, |w_t(\omega_m, z_m)|\}$$

に基づいて、次式(5)

$$\text{if } (|w_t(\omega_i, z_i)| > \varepsilon_i) \text{ then 異常 } i \quad (5)$$

などのしきい値判定や、各種の複合的手段による判定を行うようにする。

また、異常判定手段8による判定結果は、表示手段7に表示するだけでなく、表示手段7とは別に設けた異常表示手段9にアラーム表示することもできる。

また、時間座標非線形変換手段3の解析結果である拡張ウェーブレットスペクトルデータについての表示手段7の表示に対して、ポインティングデバイス等により使用者が表示全体の中から特定領域を指定し、その特定領域に対応する拡張ウェーブレットスペクトルデータのみを取り出して異常判定手段8に送り、その

データのみを用いて異常判定手段8によって前記の監視対象における異常の発生の有無を判定することもできる。

これにより、表示手段7に一度表示された拡張ウェーブレットスペクトルの中から通常と異なった特徴を有する部分を使用者が判断して取り出し、その部分についてのみ解析をすることで、他の部分に含まれるノイズや外乱その他の因子の影響を受けることなく直接的な解析作業が可能になり、その結果、異常判定の精度が向上する。

以上述べたように本実施形態の非定常信号解析装置によれば、監視対象から測定された非定常信号データをウェーブレット変換してウェーブレットスペクトルデータを求め、これらのウェーブレットスペクトルデータに対して時間座標軸を特定の状態量（物理量）の座標軸に座標変換するようにしたので、周波数スペクトルの時間変化のみならず、特定の状態量（例えばメカニカルシステムにおける位置、速度、加速度など）と周波数スペクトルとの相関関係・因果関係を容易に把握することができる。

このため、監視対象において異常現象が発生した場合にその異常現象を物理法則の観点から理解しやすい解析結果・表示が得られ、例えば異常現象の発生箇所を容易に特定することができる。

また、本実施形態の非定常信号解析装置によれば、監視対象の運転状態、内部状態などが頻繁に変化する非定常状態において、変化する状態ごとにスペクトル分布を解析することができるので、非定常信号の解析に極めて有効であり、結果として、短い断片的なデータに対しても有効な解析を行うことが可能となる。

変形例

次に、上述した第1実施形態の変形例について図4を参照して説明する。

本変形例による非定常信号解析装置は、時間～状態量変換テーブル4に書き込むための状態量変換関数データ $\{z(t_1), z(t_2) \cdots z(t_N)\}$ を、特

定の状態量 z 以外の状態量に関する測定データに基づいて、状態量推定手段 6 によって推定して作成するようしたものである。したがって、特定の状態量 z を直接測定できない場合において極めて有効である。

本変形例における状態量推定手段 6 は、監視対象の動特性モデルに基づいた状態推定手段を用いて特定の状態量 z の時間変化を測定データから実時間で推定することにより、状態量変化関数データ $\{z(t_1), z(t_2) \dots z(t_n)\}$ を得るものである。

図 4 は、本変形例における状態量推定手段 6 の概略構成を示している。この状態量推定手段 6 においては、監視対象 10 の入力信号 $u(t)$ を出力信号予測モデル 11 に入力したときの出力予測値 $\hat{y}(t)$ と実際の出力信号 $y(t)$ との差である推定誤差信号 $e(t)$ に基づき、推定状態量修正手段 12 により出力信号予測モデル 11 内の状態量推定値を逐次修正することにより、直接には測定できない特定の状態量 $z(t)$ を実時間で推定することができる。

状態推定手段の一例としてカルマンフィルタ或いは状態観測器による構成では、出力信号予測モデルが下式 (6)、(7)、推定状態量修正手段が下式 (8) となる。

$$z(k|k-1) = Az(k-1|k-1) + Bu(k-1) \quad (6)$$

$$\hat{y}(k|k-1) = Cz(k|k-1) \quad (7)$$

$$z(k|k) = z(k|k-1) + K(y(k) - \hat{y}(k|k-1)) \quad (8)$$

ここで、A、B、Cは監視対象の動特性モデルに関する係数行列、Kはカルマンゲイン（或いは状態観測器ゲイン）である。

この逐次計算により、監視対象の入力信号 $u(k)$ 、出力信号 $y(k)$ の観測データ系列から監視対象の内部状態量ベクトル $z(k|k)$ を推定することができる。このようにして推定された状態量ベクトル中のいくつかの要素を特定の状態量 z として取り出し、その時系列 $\{z(t_1), z(t_2) \dots z(t_N)\}$ から時間～状態量変換テーブル4を作成する。

なお、上述の状態量の推定は、予めオフラインで処理しておく方法と、データを観測しながら実時間で処理する方法とがある。

以上述べたように本変形例によれば、特定の状態量 z を直接測定することができない場合であっても、状態量推定手段6によって特定の状態量 z と観測データスペクトルとの関係を把握することができる。また、ウェーブレット解析手法に他の解析手法を組み合わせることが容易になる。

第1実施例

次に、上記第1実施形態による非定常信号解析装置の第1実施例として、監視対象がメカニカルシステムであるエレベータの場合について図5乃至図15を参照して説明する。本実施例においては、測定信号（非定常信号）がエレベータの乗りかご内で測定される加速度信号であり、非線形変換に用いる特定の状態量は乗りかごの昇降位置或いは昇降速度である。

監視対象であるエレベータは、図5に示したように、モータ51、シーブ（滑車）52a、52b、52c、52d、かご枠53、乗りかご54、ガイドローラ55、ガイドレール56、カウンターウェイト57によって構成されている。

また、本実施例による非定常信号解析装置は、図6に示したように乗りかご54内に配置された加速度センサー20を備えている。この加速度センサー20によって測定された加速度信号は、A/D変換器21に送られて変換された後、

解析・表示装置（例えばパソコン）22に取り込まれる。加速度センサー20及びA/D変換器21は図1に示した応答データ測定手段1を構成する。

解析・表示装置22の内部では図1に示した処理によって拡張ウェーブレットスペクトルデータが算出され、算出された拡張ウェーブレットスペクトルデータが解析・表示装置22の画面に表示される。また、解析結果又は異常診断結果はモデム23、23及び公衆回線を通じて遠隔地の監視センターに送られ、この監視センターの集中監視端末24に表示され、さらに異常状態に応じてアラームが発生される。

図7は、解析・表示装置22における具体的なフローチャートを示したものである。

まず、診断開始と共に、加速度センサー20によって乗りかご54内の加速度信号 $x(t)$ を測定する（ステップ1）。次に、上述した式（2）及び式（3）を用いて、測定された加速度信号 $x(t)$ に基づいてウェーブレットスペクトルデータ $w_t(a, b)$ を計算する（ステップ2）。

そして、その解析結果であるウェーブレットスペクトルデータ $w_t(a, b)$ 又は $w_t(\omega, b)$ を時間軸及び周波数軸に対してディスプレイ端末に表示する（ステップ3）。ここで、 $\omega = a^{-1}$ はウェーブレットスペクトルの周波数である。次に、解析対象の特定の状態量として、かご速度又はかご位置のいずれかを使用者が選択する（ステップ4）。なお、このステップ4については、かご速度及びかご位置の両方の手順を自動的に処理するようにすることも可能である。

次に、ステップ4の特定の状態量の選択においてかご位置を選択した場合には、加速度信号 $x(t)$ を2階積分することにより、かご位置信号 $p(t)$ を生成する（ステップ5）。そして、ステップ5で生成されたかご位置信号データ $\{p(t_1), p(t_2) \dots p(t_N)\}$ に基づいて、時間 t 及び位置 p の関数テーブルを作成する（ステップ6）。

次に、ステップ2で算出されたウェーブレットスペクトルデータの時間座標をステップ6で作成された関数テーブルに基づいてかご位置 p の座標に変換し、拡張ウェーブレットスペクトルデータ $w_t(\omega, p)$ を求める(ステップ7)。そして、解析結果である拡張ウェーブレットスペクトルデータ $w_t(\omega, p)$ をディスプレイに表示する(ステップ8)。

さらに、下式(9)に示したように $w_t(\omega, p)$ で位置 p に対する変化率を計算し、変化率が所定のしきい値を超えるか否かを判定式によって判定し、パワースペクトルの位置に対する急変の有無を判定する(ステップ9)。

$$|w_t(\omega, p(t_i)) - w_t(\omega, p(t_{i+1}))| / |p(t_i) - p(t_{i+1})| > \varepsilon_p \quad (9)$$

そして、ステップ9において急変があると判定された場合には、急変箇所 $p(t_i)$ を検出し、エレベータ系のレール或いはロープの異常としてディスプレイに表示する(ステップ10)。一方、急変がないと判定された場合には、ディスプレイに「異常なし」を表示し(ステップ11)、診断を終了或いは次の動作周期まで待機する。

また、ステップ4において特定の状態量としてかご速度を選択した場合には、加速度信号 $x(t)$ を1階積分することによってかご速度信号 $v(t)$ を生成する(ステップ12)。そして、ステップ12で生成されたかご速度信号データ $\{v(t_1), v(t_2) \dots v(t_N)\}$ に基づいて、時間 t 及び速度 v の関数テーブルを作成する(ステップ13)。

次に、ステップ2で算出されたウェーブレットスペクトルデータ $w_t(a, b)$ の時間座標をステップ13で作成された関数テーブルに基づいてかご速度 v の座

標に変換し、拡張ウェーブレットスペクトルデータ $w_t(\omega, v)$ を求める (ステップ14)。そして、解析結果である拡張ウェーブレットスペクトルデータ $w_t(\omega, v)$ をディスプレイに表示する (ステップ15)。

さらに、下式(10)に示したように $|w_t(\omega, v)|$ のしきい値判定

$$|w_t(\omega_i, v_i)| > \varepsilon v \quad (10)$$

により、しきい値を超えるパワースペクトルを持つ部分のデータ (ピークスペクトル) $\{w_t(\omega_1, v_1), w_t(\omega_2, v_2) \dots w_t(\omega_m, v_m)\}$ を検出する。

さらに、周波数 ω とかご速度 v との間の比例関係式(11)

$$v_i = r \omega_i + e_i \quad (11)$$

を仮定し、誤差 e_i の二乗和 $\sum e_i^2$ が最小となる係数 r の最小二乗解

$$r = \frac{\sum_{i=1}^m \omega_i v_i}{\sum_{i=1}^m \omega_i^2} \quad (12)$$

を求める。

このとき、各データ点 $\{(\omega_1, v_1), (\omega_2, v_2) \dots (\omega_m, v_m)\}$ の比例関係式(11)の直線からの距離 d の分散に対する判定式

$$\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{|v_i - r \omega_i|^2}{1 + r^2} < \varepsilon_r \quad (13)$$

が成り立てば速度 v と周波数 ω に強い相関（比例）関係があると判断する（ステップ16）。

そして、この場合は、エレベータの回転系（モータ、シーブ、各軸のベアリング、ガイドローラなど）のいずれかに異常があると判断される。なぜならば、回転系の偏心等によるトルクむらの周波数は回転数に比例し、また、かご速度も回転数に比例するためである。

さらに、比例係数 r からどの回転系かを判定し、判定結果をディスプレイに表示する（ステップ17）。例えば、 $(r/2\pi)$ がシーブ（滑車）の半径に一致すれば、

$$\text{かご速度} = 2\pi (\text{シーブ半径}) \times (\text{シーブ回転周波数}) \quad (14)$$

なる関係からシーブの偏心によるトルクむらが原因と判断される。一方、ステップ16において相関関係はないと判定された場合には、ディスプレイに「異常なし」を表示し（ステップ11）、診断を終了或いは次の動作周期まで待機する。

次に、図1に示した時間座標非線形変換手段3における処理に対応するステップ6又はステップ13における座標変換の具体的手順について説明する。

まず、かご位置信号 $p(t)$ 或いはかご速度信号 $v(t)$ をここでは状態量信号 $z(t)$ と記すことにし、データ列 $\{z(t_1), z(t_2) \dots z(t_N)\}$ からなる関数テーブル（時間～状態量変換テーブル4）が得られているとする。そして、通常のウェーブレット変換により得られたデータ

$$wt(a, b) = \{wt(a_i, b_j) \mid i=1, \dots, n1, j=1, \dots, n2\} \quad (15)$$

に対し、まず周波数 $\omega = a^{-1}$ の関係を代入し、

$$wt(\omega, b) = \{wt(\omega_i, b_j) \mid \omega_i = a_i^{-1}, i=1, \dots, n1, j=1, \dots, n2\} \quad (16)$$

なるデータに変換する。

次に、各データ要素の時間座標 b_j に対し、

$$t_k \leq b_j \leq t_{k+1} \quad (17)$$

なる t_k を $\{t_1, t_2 \dots t_N\}$ から探し出し、線形補間式

$$\begin{aligned} z(b_j) &= z(t_k) + \frac{b_j - t_k}{t_{k+1} - t_k} (z(t_{k+1}) - z(t_k)) \\ &= \frac{(b_j - t_k)z(t_{k+1}) + (t_{k+1} - b_j)z(t_k)}{t_{k+1} - t_k} \end{aligned} \quad (18)$$

により、対応する状態量 $z(b_j)$ を求めることにより、拡張ウェーブレットスペクトルデータ

$$wt(\omega, z) = \{wt(\omega_i, z(b_j)) \mid \omega_i = a_i^{-1}, i=1, \dots, n1, j=1, \dots, n2\} \quad (19)$$

を得ることができる。

また、別の手段としては、時間～状態量変換テーブル4から関数 $z(t)$ を推定する。例えば、

$$z(t) = z_0 + z_1 t + \dots + z_p t^p \quad (20)$$

なる多項式を仮定し、係数 $z_0, z_1 \dots z_p$ をデータ $\{z(t_1), z(t_2) \dots z(t_N)\}$ から最小二乗推定する。次に、その逆関数 $t(z)$ を求める。

最後に、観測データ $x(t)$ に対し、

$$wt(a,b) = \int_{z(-\infty)}^{z(\infty)} \frac{1}{\sqrt{|a|}} \phi\left(\frac{t(z-b)}{a}\right) x(t(z)) \frac{dt(z)}{dz} dz \quad (21)$$

を直接、数値積分することにより、拡張ウェーブレットスペクトルデータを得ることもできる。

図8 a乃至図1 5は、本実施例による非定常信号解析装置を用いてエレベータの乗りかご5 4の加速度データを解析した結果を示している。

図8 a乃至図1 2は、エレベータのモータ5 1の軸が偏心したことによる回転トルクむらが原因で乗りかご5 4において異常振動が生じたケースを示している。図8 aはモータ5 1のトルク司令値、図8 bはその時のかご加速度信号 $x(t)$ の積分計算から推定したかご速度信号 $v(t)$ 、図8 cは同様にかご加速度信号 $x(t)$ の2階積分計算から推定したかご位置信号 $p(t)$ である。

このとき、乗りかご5 4の内部で観測された加速度データ $x(t)$ は、図9 aに示したように速度と共に周波数特性が変化する非定常信号である。その理由は、モータ軸の偏心によるトルクむらの周波数が図9 bに示したようにかご速度に比例して変化するためである。したがって、加速度データ $x(t)$ を単純にフーリエ変換しても、図9 cに示したように全体のスペクトル分布が解るだけで、速度信号への依存性は判別できない。

図1 0、図1 1 a、図1 1 b、図1 2はそれぞれ、加速度信号 $x(t)$ を従来型ウェーブレット変換した結果、速度信号 $v(t)$ に基づく拡張ウェーブレット変換した結果、位置信号 $p(t)$ に基づく拡張ウェーブレット変換した結果を示している。

例えば、図1 1 a、図1 1 bの速度信号に基づくウェーブレットスペクトルデ

ータを見ると、スペクトルの山（ピークスペクトル）が速度信号 $v(t)$ と周波数 $\omega = a^{-1}$ との比例関係を表す一直線上に並んでいることが判別できる。この結果から、エレベータの回転系が異常であることが判別され、さらに、速度と周波数との比例関係からモータ 51 の軸が異常であることが判別される。

また、図 13 a 乃至図 15 はエレベータのガイドレール 56 に異常がある場合の解析結果を示している。図 13 a、図 13 b、図 13 c はそれぞれ、モータトルク信号、かご速度信号 $v(t)$ 、かご位置信号 $p(t)$ を示している。図 14 a、図 14 b はそれぞれ、かご内加速度信号 $x(t)$ 、そのフーリエ変換結果を示している。

そして、乗りがご 54 が上昇中に、高さ約 10.7 m の部分にガイドレール 56 の継ぎ目による段差があり、この段差によって乗りがご 54 がインパルス状の外力を受け、振動を始めている。しかし、図 14 b に示したフーリエ変換の結果からは、どの部分で外力を受けたのか判別できない。

次に、加速度信号 $x(t)$ の位置信号 $p(t)$ に対する拡張ウェーブレット変換の結果を図 15 に示す。図 15 から解るように、かご位置 p 軸方向に対し、 $p = 10.7$ m の部分でスペクトルの急変が見られる。したがって、この $p = 10.7$ m の部分でガイドレール 56 の異常が発生していることが判別される。

以上述べたように本実施例によれば、エレベータの乗りがご 54 の加速度信号をかご速度に対して拡張ウェーブレット変換し、得られた拡張ウェーブレットスペクトルデータにおけるピークスペクトルの周波数とかご速度との比例関係から回転系のトルク変動が発生していることが判別でき、さらに比例係数から原因となる回転系の半径を特定できる。

同様に、加速度信号のかご位置に対する拡張ウェーブレットスペクトルデータのスペクトルの位置変化から、レール、ロープなどの傷の有無を判別でき、その

位置を特定することができる。

したがって、エレベータの異常診断、メンテナンス業務等の効率を大幅に向上させることができる。また、エレベータの移動距離が短く、観測データ長が短い場合でも精度の高い解析・異常診断を行うことが可能である。

なお、本実施例の異常判定手段は、エレベータのかご内加速度信号を一度記憶し、それに対して、オフライン処理で異常解析を行う場合と、実時間でデータの測定、特定状態量であるかご速度・加速度の推定、拡張ウェーブレット計算、異常の判定を全て実時間で行う場合とがある。

特に、エレベータシステムの異常診断への適用に関しては、加速度信号に含まれる振動スペクトルのかご位置、かご速度との相関関係が明確に把握でき、診断、異常箇所の特定が容易に行える。

第2実施例

次に、上記第1実施形態による非定常信号解析装置の第2実施例として、監視対象が列車である場合について図16及び図17を参照して説明する。

鉄道などの列車、電車は車輪の摩耗或いはレールの歪み、変形などにより、異常振動や異常音を発することがあり、乗り心地の低下、乗客の不快感、さらには列車事故の原因となる。

そこで、以下では、非定常信号解析装置を列車の異常診断システムとして使用する場合について説明する。

図16は本実施例による非定常信号解析装置の概略を示した構成図であり、図17は本実施例による非定常信号解析装置を列車に取り付けた状態を説明するための説明図である。

図16に示したように本実施形態による非定常信号解析装置は、応答データ測定手段1を構成する加速度センサー30及び音響センサー31を備えており、これらのセンサー30、31は図17に示したように列車32に取り付けられてい

る。加速度センサ30及び音響センサー31からなる応答データ測定手段1の検出信号は、ウェーブレット変換計算手段2に送られてここでウェーブレットスペクトルに変換される。

また、図17に示したように列車32には従来から位置センサ33及びエンコーダ34が取り付けられており、位置センサ33は地上に設置された地上識別子（目印）35を認識するものであり、一方、エンコーダ34は列車32の車輪軸に取り付けられてこの車輪軸の回転を検出するものである。

さらに、本実施例による非定常信号解析装置は、図16に示したように速度・位置検出手段36を備えており、この速度・位置検出手段36は、上述した位置センサ33及びエンコーダ34からの信号に基づいて、特定の状態量である列車の速度及び位置を検出し、時間～位置データ或いは時間～速度データを作成する。これらの時間～位置データ或いは時間～速度データは時間～状態量変換テーブル4に送られてここに格納される。

ウェーブレット変換計算手段2によって算出されたウェーブレットスペクトルは時間座標非線形変換手段3に送られ、この時間座標非線形変換手段3は、時間～状態量変換テーブル4からの時間～位置データ或いは時間～速度データに基づいて、ウェーブレットスペクトルの時間座標を列車位置座標或いは列車速度座標に変換して拡張ウェーブレットスペクトルを生成する。

時間座標非線形変換手段3の変換結果は異常判定手段8に送られ、この異常判定手段8において正常か異常かの判定がなされる。ここで、異常判定の方法としては、まず位置～周波数に対する拡張ウェーブレットスペクトルを過去の正常時のスペクトルデータと比較し、その差異がしきい値以上になった場合に線路のレール異常と判定し、さらに、異常が発生したレールの場所を特定する。

また、他の異常判定方法としては、速度～周波数に対する拡張ウェーブレットスペクトルを過去の正常時のスペクトルデータと比較し、その差異がしきい値以

上になった場合に列車の車輪異常と判定し、異常が発生した車輪を特定する。

なお、異常判定の際に使用される正常時のデータは、通常運転時のデータ或いは列車試験時のデータの基づいて別途作成し、予め準備しておくようにする。

異常判定手段 8 による判定結果は列車 3 2 内に設けられた表示警報装置（異常表示手段） 9 に送られ、異常の場合には運転員に対して警報が発せられる。また、異常判定手段 8 の判定結果は、有線又は無線の通信手段 3 7 によって列車管制センター内の受信手段 3 8 に送られ、さらに列車管制センター内の表示手段 7 に送られてここに表示される。

なお、上記の実施例においては実時間にて処理を実行することを前提としているが、実時間ではなくオフラインによって処理を実行することも可能である。

また、上記の実施例においては異常診断システムである非定常信号解析装置を列車の内部に設置するようにしているが、非定常信号解析装置を列車外部に設置し、加速度センサー 3 0 及び音響センサー 3 1 を線路側に取り付けることによって上記と同様の機能を実現することができる。

第 3 実施例

次に、上記第 1 実施形態による非定常信号解析装置の第 3 実施例として、不特定の監視対象の異常を解析するための汎用異常診断ツールである非定常信号解析装置について図 1 8 乃至図 2 1 を参照して説明する。本実施例による非定常信号解析装置は、センサー、演算機能、及び表示機能等が一体化した携帯型の解析装置或いは異常診断装置である。

図 1 8 は本実施例による非定常信号解析装置（汎用異常診断装置） 4 0 の外観を示した斜視図であり、図 1 9 はこの非定常信号解析装置の内部のシステム構成を示した構成図である。

図 1 8 及び図 1 9 に示したようにこの非定常信号解析装置 4 0 は、解析結果である拡張ウェーブレットスペクトルデータを表示するための表示部 4 1 を備えて

おり、この表示部41は電子ペンよりなるポインティングデバイス42によって使用者が画面上の特定の領域を指定できるようになっている。なお、ポインティングデバイスとしては、電子ペンに代えてマウスを設けることもできる。

また、本実施例による非定常信号解析装置40は、応答データ測定手段である加速度センサー43を内蔵しており、さらに、監視対象の状態量信号を取り込むための外部信号入力端子44を備えている。加速度センサー43からの検出信号及び外部信号入力端子44からの入力信号は、非定常信号解析装置40の内部に設けられた中央処理装置(CPU)45に送られるようになっている。CPU45にはメモリ46が接続されており、センサー情報はこのメモリ46に記憶され、CPU45によって拡張ウェーブレット変換計算が実行される。

図20は、CPU45によって得られた拡張ウェーブレットスペクトルデータを表示部41に表示した状態の一例を示しており、画面上の横軸が特定の状態量(監視対象の位置、速度など)を示し、縦軸が周波数を示し、さらに、スペクトルのパワーの強さを等高線で表示したものである。なお、等高線に代えて色分けでスペクトルのパワーを表示することも可能である。

そして、使用者は、電子ペン又はマウスなどよりなるポインティングデバイス42を操作して、表示部41の画面上で領域指定線によって異常診断の実施を希望する特定の領域を指定する。なお、指定する領域の形は長方形には限られず、任意の形状が可能である。

このようにして表示部41の画面上で特定の領域を指定すると、指定された領域に相当する拡張ウェーブレットデータだけが切り出され、切り出されたデータのみに対して引き続いて異常診断処理が実施される。また、指定領域以外の部分のデータを0と見なした上で以後の異常診断処理を実施するようにしても良い。

次に、図21を参照して、領域指定後の異常診断処理について説明する。図21において符号47はポインティングデバイス42を含む領域指定手段であり、

この領域指定手段47によって異常診断すべき領域が指定されると、データ抽出手段48によって指定した領域に対応する拡張ウェーブレットスペクトルデータが取り出されるか、或いは、指定領域以外の部分のデータが0にセットされる。

このようにして加工されたデータは異常判定手段8に送られ、これらのデータに基づいて、例えば前述した式(12)及び式(13)に示した手順などによって異常の有無が判定される。異常判定手段8による判定結果は表示手段7に送られてここで表示される。なお、表示部41を表示手段7として兼用することもできる。

以上述べたように本実施例においては、領域指定手段47及びデータ抽出手段48によって、表示部41に表示された全スペクトルデータのうちの一部を指定できるようにしたので、表示部41に表示された全スペクトルデータの中から通常と異なった特徴を示している部分を使用者が判断して取り出し、取り出した部分のみに対して異常判定手段8によって解析することができる。このため、異常診断解析の際に、指定領域以外の部分に含まれるノイズや外乱その他の因子の影響を受けることがなく、異常判定の精度を向上させることができる。

第2実施形態

次に、本発明の第2実施形態による非定常信号解析プログラムを記録した媒体について図22及び図23を参照して説明する。

本実施形態による非定常信号解析プログラムを記録した媒体は、上述した第1実施形態におけるウェーブレット変換計算手段2、時間座標非線形変換手段3、及び状態量変化関数設定手段(時間～状態量変換テーブル4、状態量推定手段6)のそれぞれの機能をコンピュータに実現させるための非定常信号解析プログラムを記録した、機械読み取り可能な又はコンピュータ読み取り可能な記録媒体(記憶媒体)である。

また、非定常信号解析プログラムに、さらに、上述した第1実施形態における

異常判定手段8の機能についてのプログラムを追加することもできる。

本実施形態における非定常信号解析プログラムによる解析手順は、上記第1実施形態及びその変形例、或いは第1実施形態の第1乃至第3実施例において説明した解析手順と同様である。

図22は、本実施形態による非定常信号解析プログラムを記録した媒体からプログラムを読み出すためのコンピュータシステムを示した斜視図であり、記録媒体に記録されているプログラムは、コンピュータシステム50に搭載された記録媒体駆動装置により読み出されて非定常信号の解析に用いられる。

コンピュータシステム50は、図22に示したように、ミニタワー等の筐体に収納されたコンピュータ本体51と、CRT（陰極線管）、プラズマディスプレイ、液晶表示装置（LCD）等の表示装置52と、記録出力装置としてのプリンタ53と、入力装置としてのキーボード54a及びマウス54bと、フレキシブルディスクドライブ装置56と、CD-ROMドライブ装置57と、を備えている。

図23は、本実施形態による非定常信号解析プログラムを記録した媒体からプログラムを読み出すためのコンピュータシステムを示したブロック図である。図23に示したように、コンピュータ本体51が収納された筐体内には、RAM等よりなる内部メモリー55と、ハードディスクドライブユニット58等の外部メモリがさらに設けられている。

非定常信号解析プログラムが記録されたフレキシブルディスク61は、図22に示したように、フレキシブルディスクドライブ装置56のスロットに挿入されて所定のアプリケーションプログラムに基づいて読み出し可能である。なお、プログラムを記録した媒体としては、フレキシブルディスク61のみに限られず、CD-ROM62であっても良い。また、記録媒体は、図示しないMO(Magneto Optical)ディスク、光ディスク、DVD(Digital Versatile Disk)、カードメ

モリ、磁気テープ等であっても良い。

産業上の利用可能性

本発明による非定常信号解析装置及び非定常信号解析プログラムを記録した媒体は、監視対象の特定の状態量に対する周波数の変化の依存性、相関関係を求めることができるので、エレベータや列車等の監視対象の異常状態を診断するために広く用いることができる。



請 求 の 範 囲

1. 監視対象から発生する非定常信号を解析するための非定常信号解析装置において、

前記非定常信号をウェーブレット変換してウェーブレットスペクトルデータを作成するウェーブレット変換計算手段と、

前記監視対象における特定の状態量の時間変化を表した状態量変化関数を設定する状態量変化関数設定手段と、

前記状態量変化関数の逆関数によって前記ウェーブレットスペクトルデータの時間座標を前記特定の状態量の座標に非線形変換する時間座標非線形変換手段と、を備えたことを特徴とする非定常信号解析装置。

2. 監視対象がエレベータであって、このエレベータの乗りかごにおいて測定された非定常信号である加速度信号を解析するための非定常信号解析装置において、

前記加速度信号をウェーブレット変換してウェーブレットスペクトルデータを作成するウェーブレット変換計算手段と、

前記乗りかごの特定の状態量である昇降位置又は昇降速度の時間変化を表した状態量変化関数を設定する状態量変化関数設定手段と、

前記状態量変化関数の逆関数によって前記ウェーブレットスペクトルデータの時間座標を前記昇降位置又は前記昇降速度の座標に非線形変換する時間座標非線形変換手段と、を備えたことを特徴とする非定常信号解析装置。

3. 前記時間座標非線形変換手段は、拡張ウェーブレット変換式

$$wI(a, b) = \int_{z(-\infty)}^{z(\infty)} \frac{1}{\sqrt{|a|}} \phi\left(\frac{t(z-b)}{a}\right) x(t(z)) \frac{dt(z)}{dz} dz$$



によって前記ウェーブレットスペクトルデータの時間座標を前記特定の状態量の座標に非線形変換したスペクトルデータを計算することを特徴とする請求項1又は請求項2に記載の非定常信号解析装置。

4. 前記時間座標非線形変換手段は、前記ウェーブレットスペクトルデータを各時間毎に分割し、時間と前記特定の状態量との関係を記憶したデータテーブル或いは前記状態量変化関数に基づいて、分割されたデータを状態量順に並べ替え、各データ間を補間或いは平滑化処理することによって、前記ウェーブレットスペクトルデータの時間座標を前記特定の状態量の座標に非線形変換したスペクトルデータを計算することを特徴とする請求項1又は請求項2に記載の非定常信号解析装置。

5. 前記非定常信号を測定するための応答データ測定手段をさらに有することを特徴とする請求項1乃至請求項4のいずれか一項に記載の非定常信号解析装置。

6. 前記状態量変化関数設定手段は、前記特定の状態量以外の状態量に関する測定データに基づいて前記状態量変化関数を推定するようにしたことを特徴とする請求項1乃至請求項5のいずれか一項に記載の非定常信号解析装置。

7. 前記特定の状態量以外の状態量に関する測定データは前記非定常信号に関する測定データであることを特徴とする請求項6記載の非定常信号解析装置。

8. 前記状態量変化関数設定手段は、前記監視対象の動特性モデルに基づく状態観測器又はカルマンフィルタを用いて、前記特定の状態量の時間変化を前記特定の状態量以外の状態量の測定データに基づいて推定することによって前記状態量変化関数を推定するようにしたことを特徴とする請求項6又は請求項7に記載の非定常信号解析装置。

9. 前記状態量変化関数設定手段は、前記特定の状態量の測定データに基づいて前記状態量変化関数を求めるようにしたことを特徴とする請求項1乃至請求



項5のいずれか一項に記載の非定常信号解析装置。

10. 前記状態量変化関数設定手段は、予め求めておいた前記状態量変化関数を使用するようにしたことを特徴とする請求項1乃至請求項5のいずれか一項に記載の非定常信号解析装置。

11. 少なくとも前記特定の状態量の座標及び周波数の座標を有する座標系によって前記時間座標非線形変換手段の解析結果を表示する表示手段をさらに有することを特徴とする請求項1乃至請求項10のいずれか一項に記載の非定常信号解析装置。

12. 前記時間座標非線形変換手段の解析結果に基づいて前記監視対象における異常の発生の有無を判定する異常判定手段をさらに有することを特徴とする請求項11記載の非定常信号解析装置。

13. 前記時間座標非線形変換手段の解析結果であるスペクトルデータについての前記表示手段による表示に対して、表示全体の中の特定の領域を指定するための領域指定手段と、

前記領域指定手段によって指定された領域に対応するスペクトルデータを取り出して前記異常判定手段に送るためのデータ抽出手段と、をさらに有することを特徴とする請求項12記載の非定常信号解析装置。

14. 前記異常判定手段による判定結果を前記表示手段に表示するようにしたことを特徴とする請求項12又は請求項13に記載の非定常信号解析装置。

15. 前記異常判定手段による判定結果を表示する異常表示手段をさらに有することを特徴とする請求項12乃至請求項14のいずれか一項に記載の非定常信号解析装置。

16. 監視対象から発生する非定常信号をコンピュータによって解析するためのプログラムを記録した媒体であって、この非定常信号解析プログラムはコンピュータに、



前記非定常信号をウェーブレット変換してウェーブレットスペクトルデータを作成するウェーブレット変換計算機能と、

前記監視対象における特定の状態量の時間変化を表した状態量変化関数を設定する状態量変化関数設定機能と、

前記状態量変化関数の逆関数によって前記ウェーブレットスペクトルデータの時間座標を前記特定の状態量の座標に非線形変換する時間座標非線形変換機能と、を実現させることを特徴とする非定常信号解析プログラムを記録した媒体。

17. 前記監視対象はエレベータであり、前記非定常信号は前記エレベータの乗りかごにおいて測定された加速度信号であり、前記特定の状態量は前記乗りかごの昇降位置又は昇降速度であることを特徴とする請求項16記載の非定常信号解析プログラムを記録した媒体。

18. 前記時間座標非線形変換手段は、拡張ウェーブレット変換式

$$wt(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{|a|}} \phi\left(\frac{t(z-b)}{a}\right) x(t(z)) \frac{dt(z)}{dz} dz$$

によって前記ウェーブレットスペクトルデータの時間座標を非線形変換したスペクトルデータを計算することを特徴とする請求項16又は請求項17に記載の非定常信号解析プログラムを記録した媒体。

19. 前記時間座標非線形変換手段は、前記ウェーブレットスペクトルデータを各時間毎に分割し、時間と前記特定の状態量との関係を記憶したデータテーブル或いは前記状態量変化関数に基づいて、分割されたデータを状態量順に並べ替え、各データ間を補間或いは平滑化処理することによって、時間座標を前記特定の状態量の座標に非線形変換したスペクトルデータを計算することを特徴とする請求項16又は請求項17に記載の非定常信号解析プログラムを記録した媒体。

1 / 21

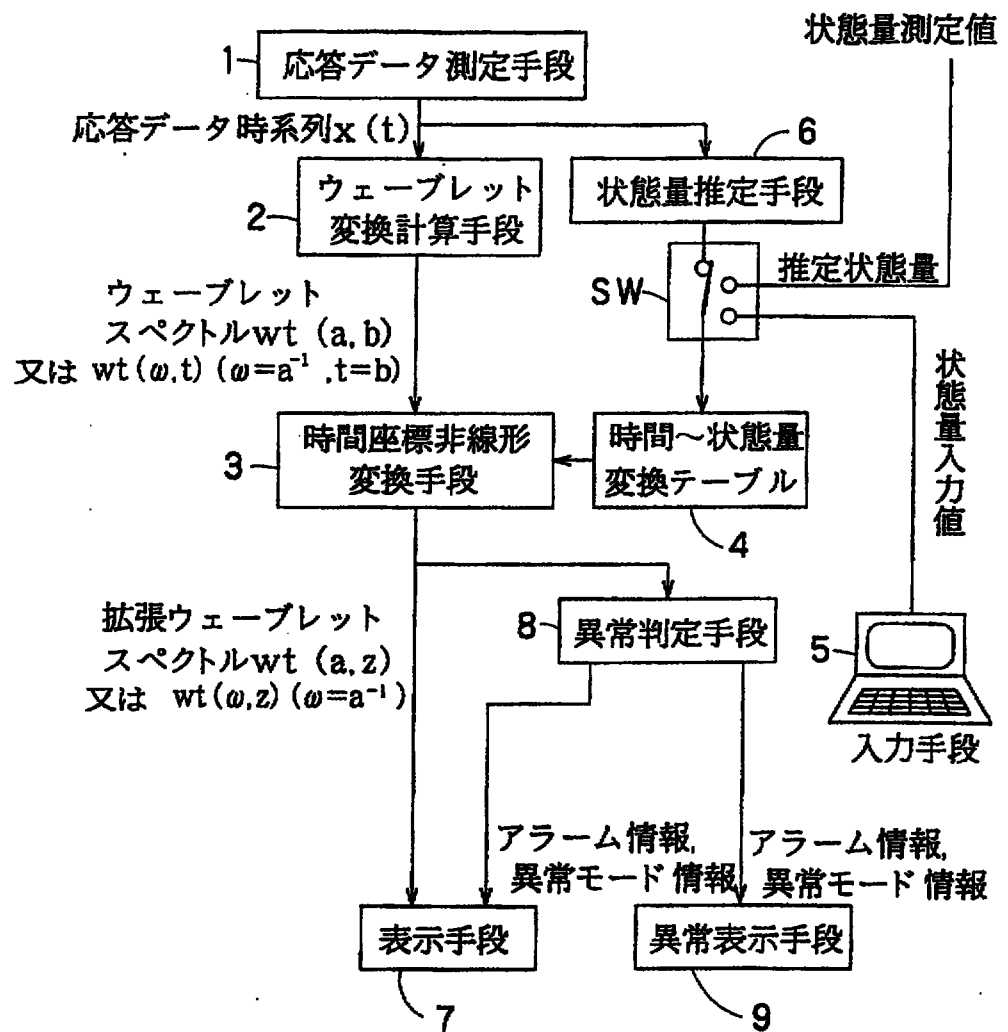


FIG. 1

2 / 21

フーリエ変換の基底関数

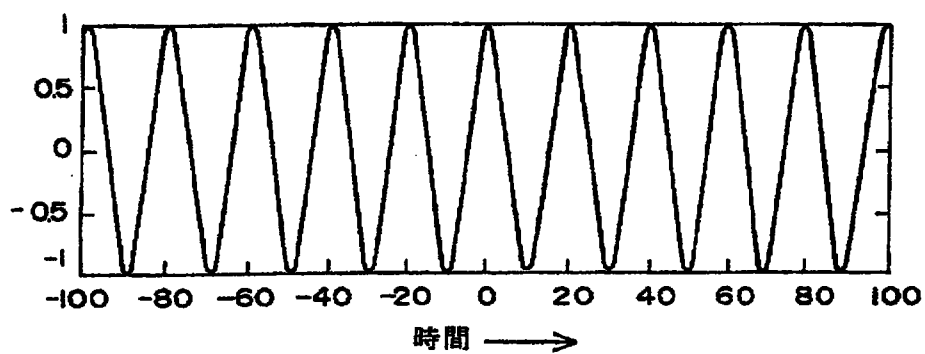


FIG. 2a

フーリエ変換によるパワースペクトル

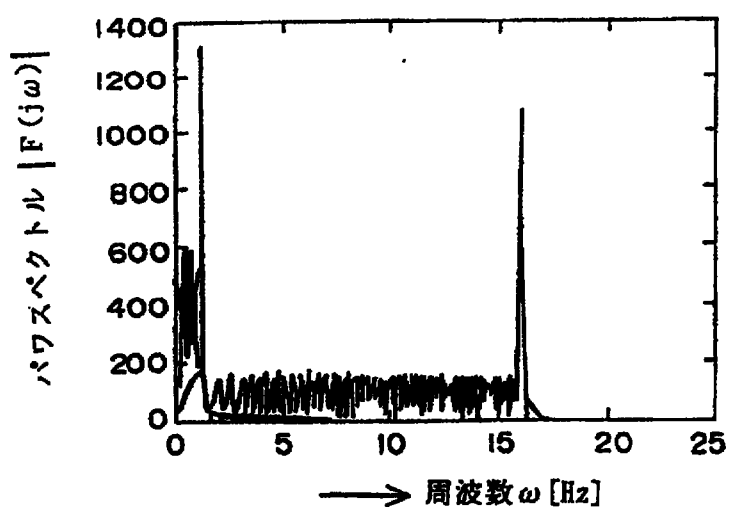


FIG. 2b

3 / 21

ウェーブレット変換の基底関数（ガボール関数の場合）

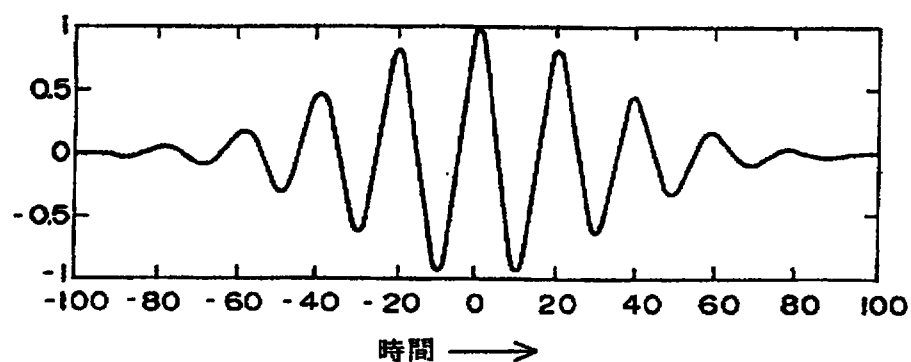


FIG. 3a

ウェーブレット変換によるウェーブレットスペクトル

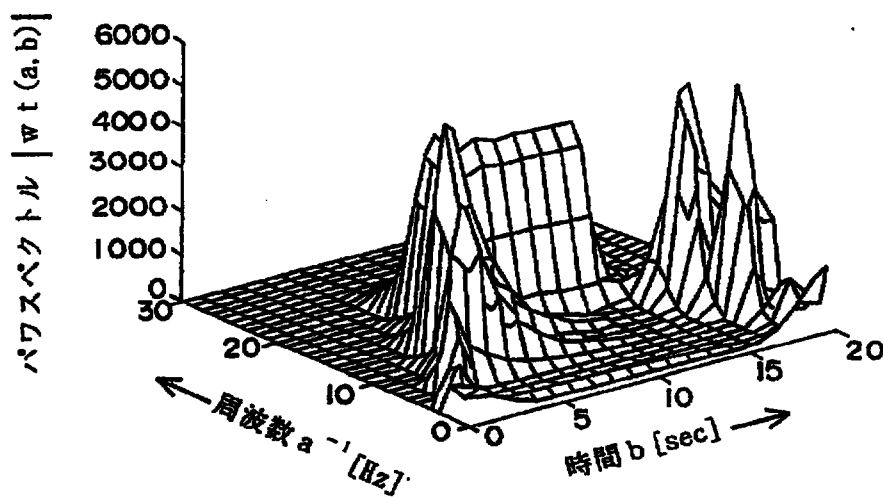
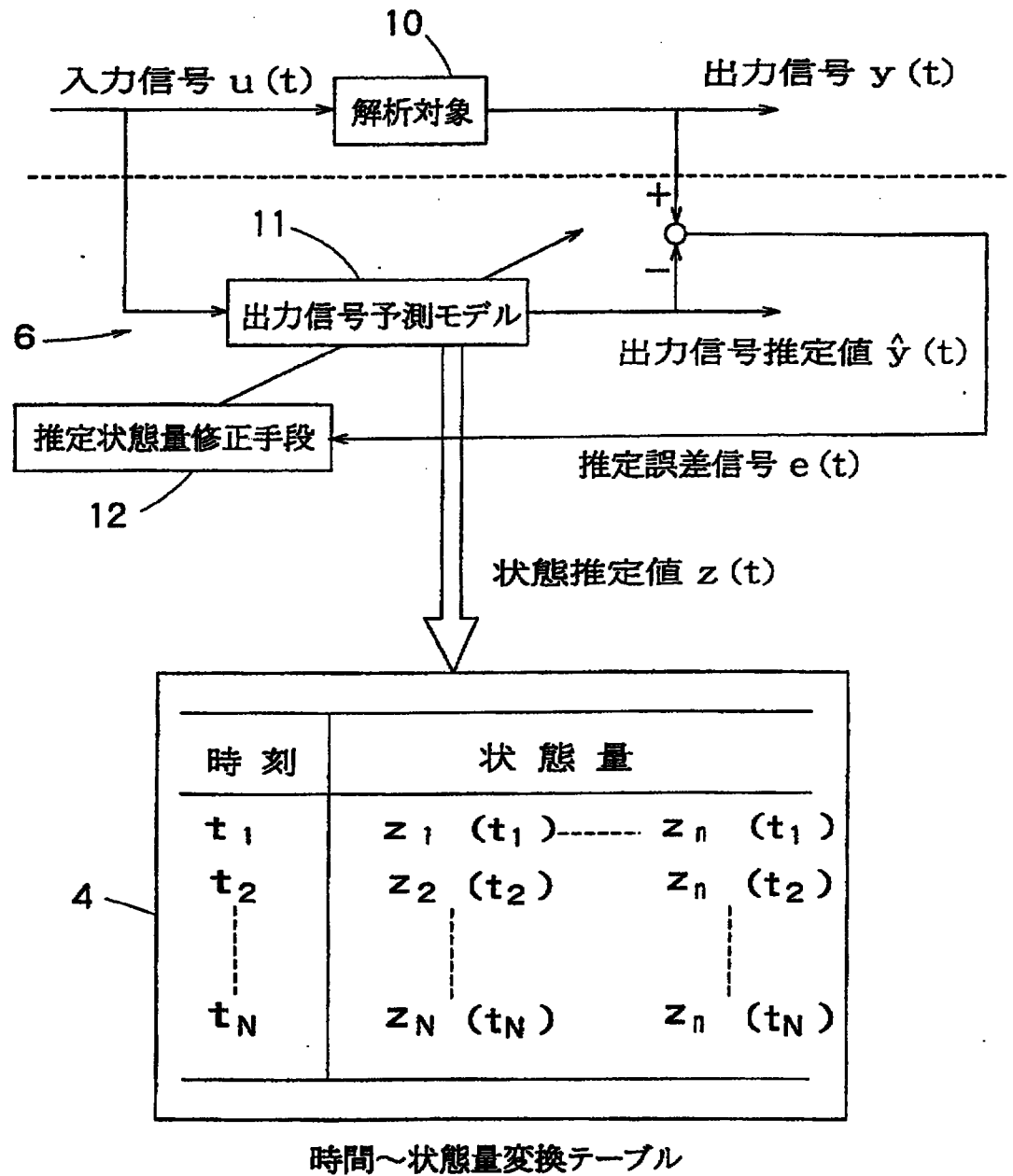


FIG. 3b

4/21



F I G. 4

5 / 21

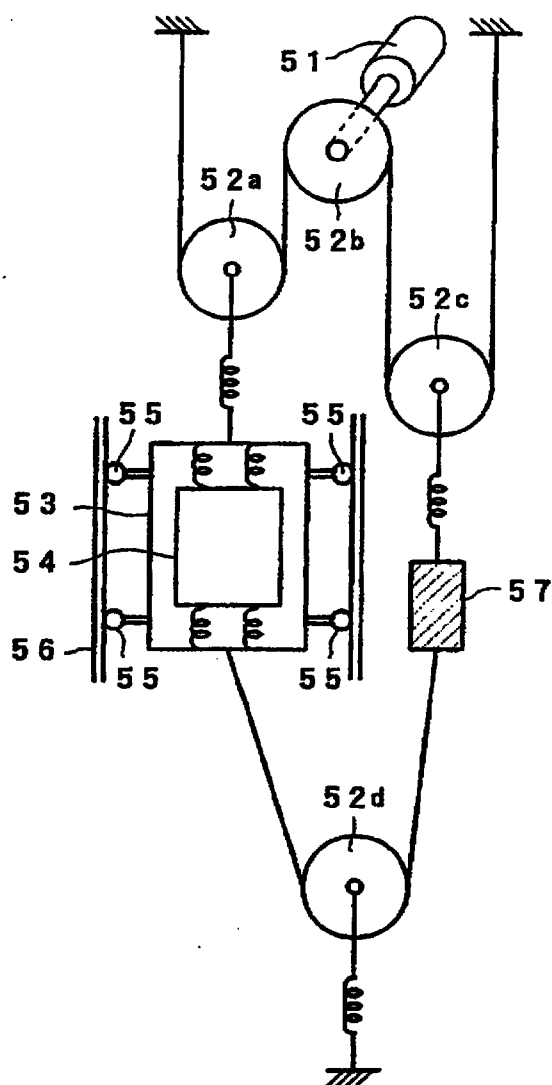


FIG. 5

6 / 21

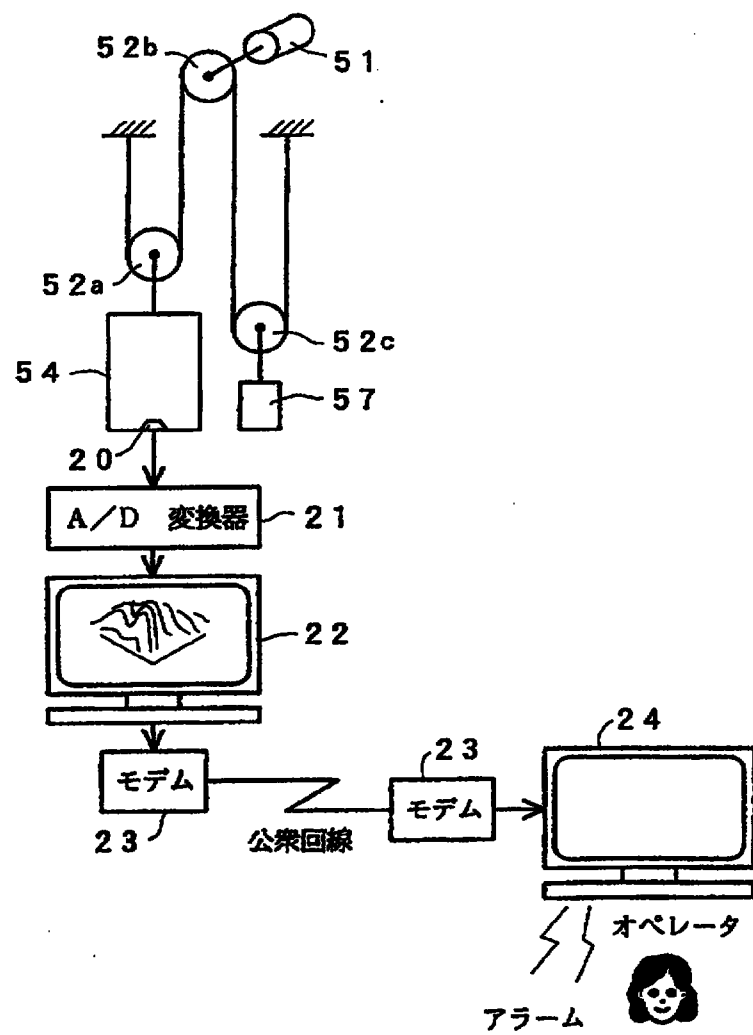


FIG. 6

7/21

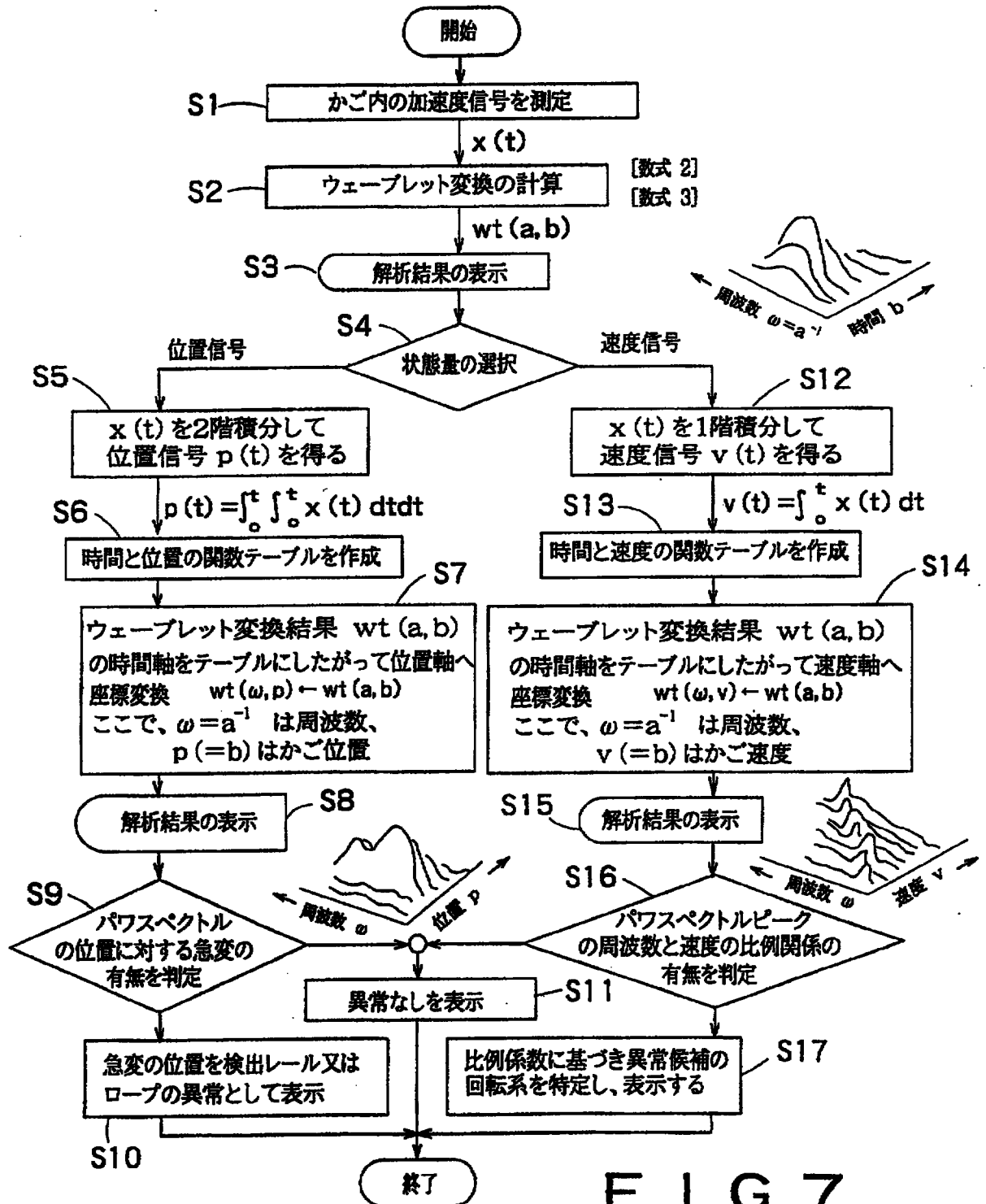


FIG. 7

8 / 21

トルク

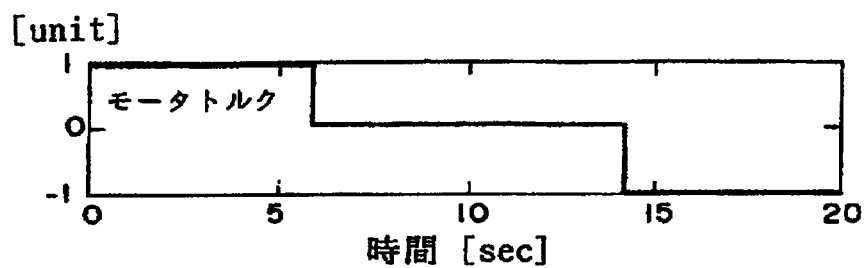


FIG. 8 a

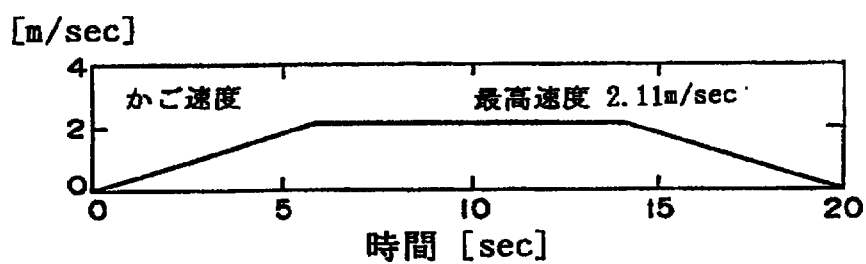
速度 $v(t)$ 

FIG. 8 b

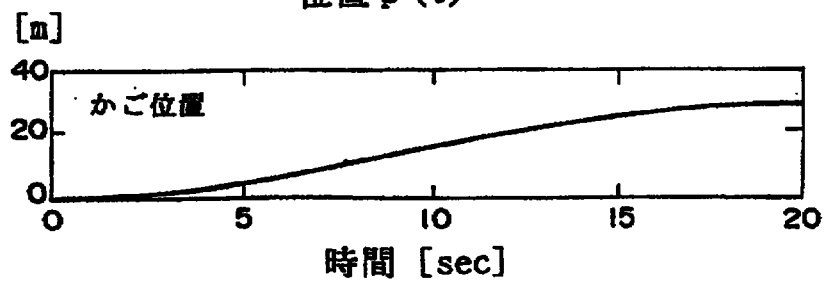
位置 $p(t)$ 

FIG. 8 c

9 / 21

かご内部で測定された加速度信号

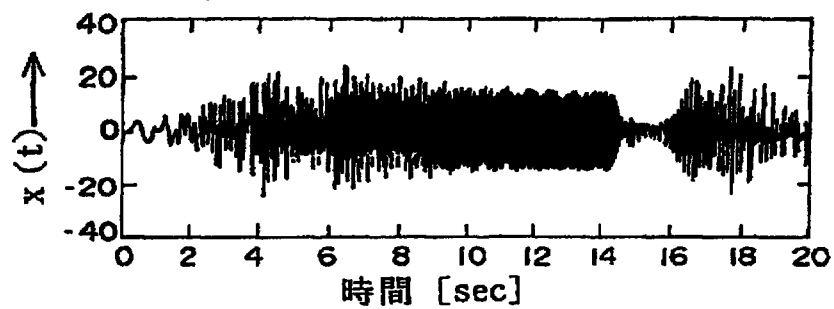


FIG. 9a

モータ軸偏心による回転トルク変動

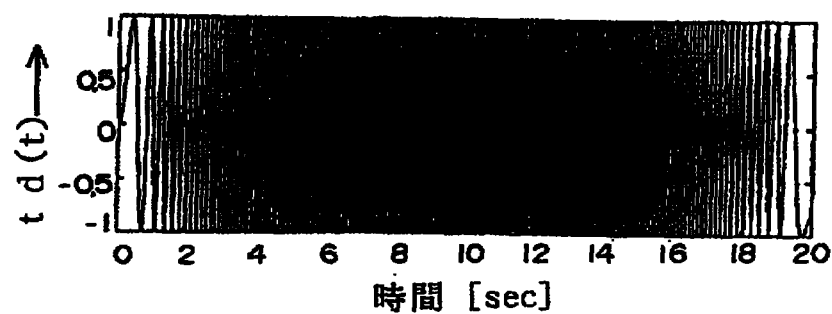


FIG. 9b

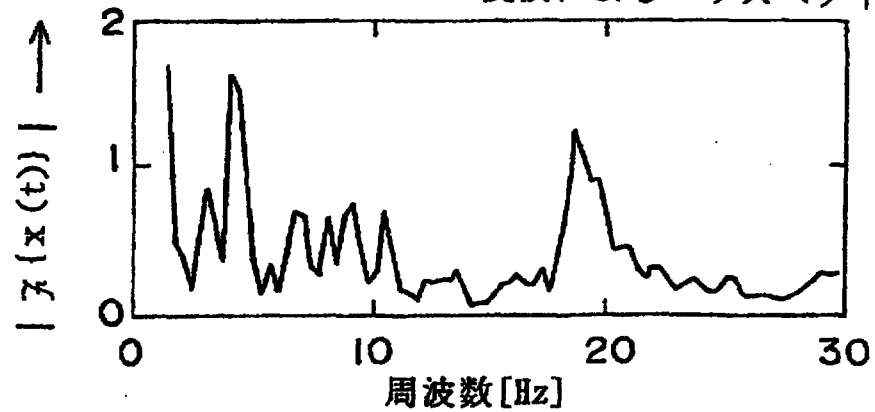
加速度信号 $x(t)$ のフーリエ変換によるパワースペクトル

FIG. 9c

10 / 21

時間依存性

(従来型ウェーブレット解析、相関変数=時間)

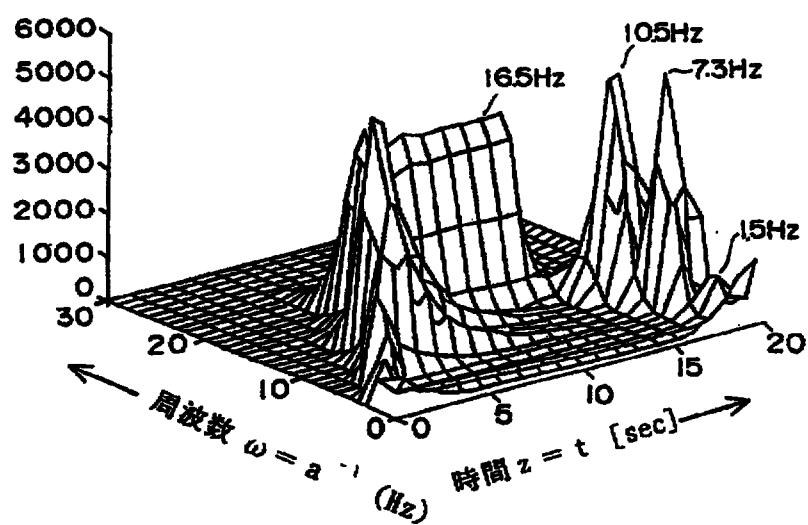


FIG. 10

11 / 21

速度依存性

(拡張ウェーブレット解析、相関変数＝垂直方向速度)

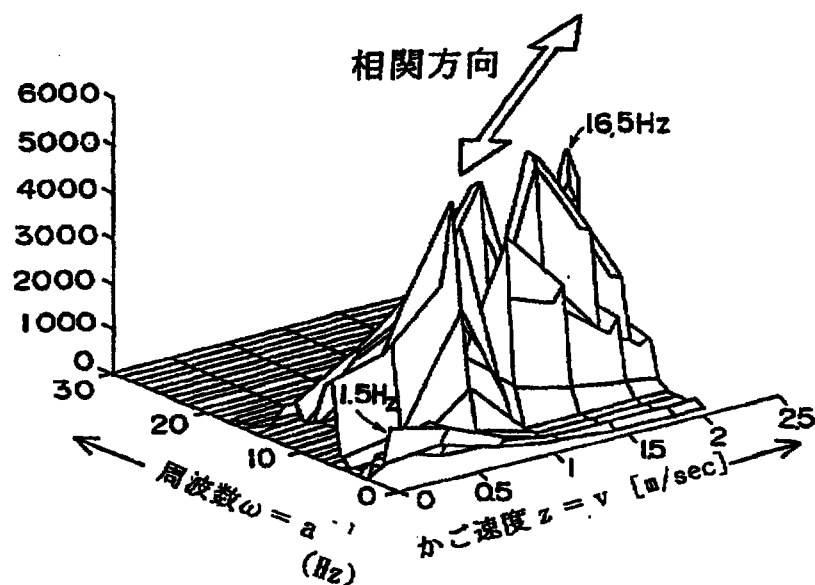


FIG. 11a

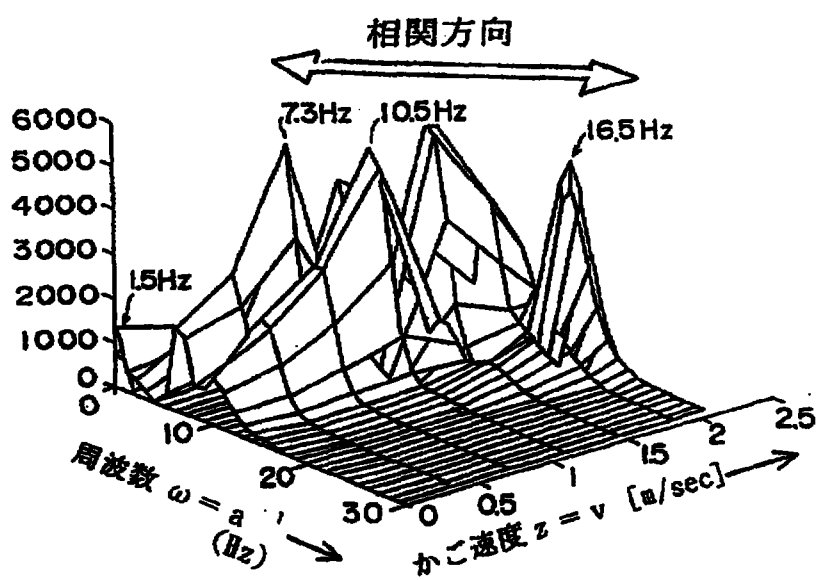


FIG. 11b

12 / 21

位置依存性

(拡張ウェーブレット解析、相関変数 = 垂直方向位置)

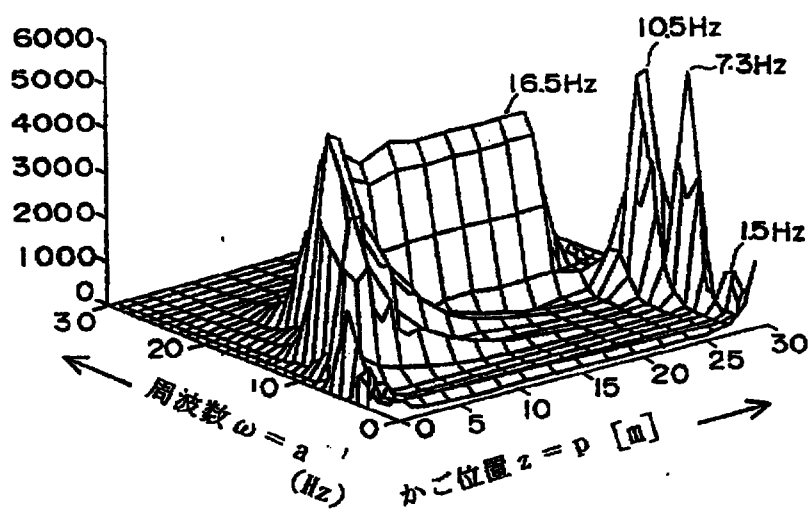


FIG. 12

13 / 21

トルク

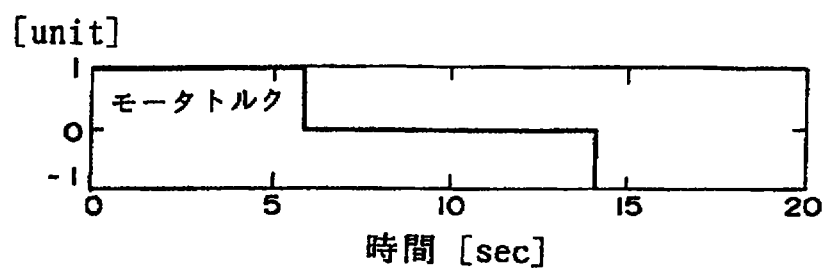


FIG. 13 a

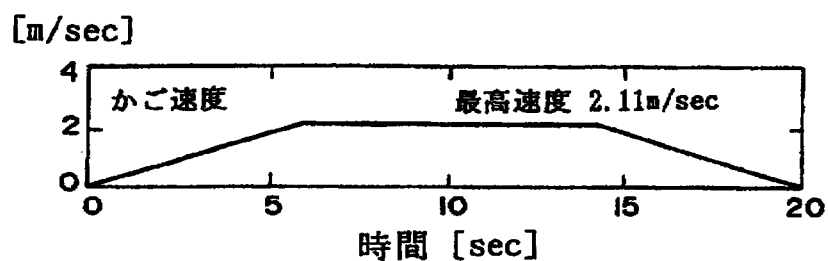
速度 $v(t)$ 

FIG. 13 b

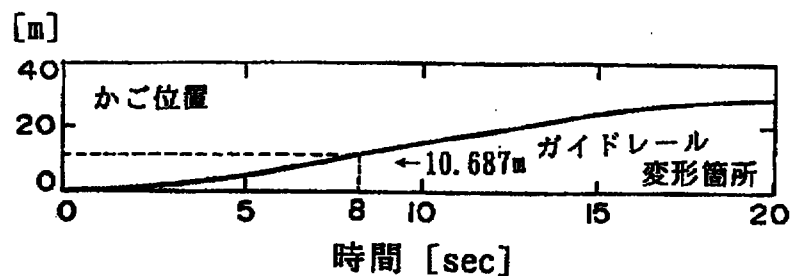
位置 $p(t)$ 

FIG. 13 c

14 / 21

かご内部で測定された加速度信号

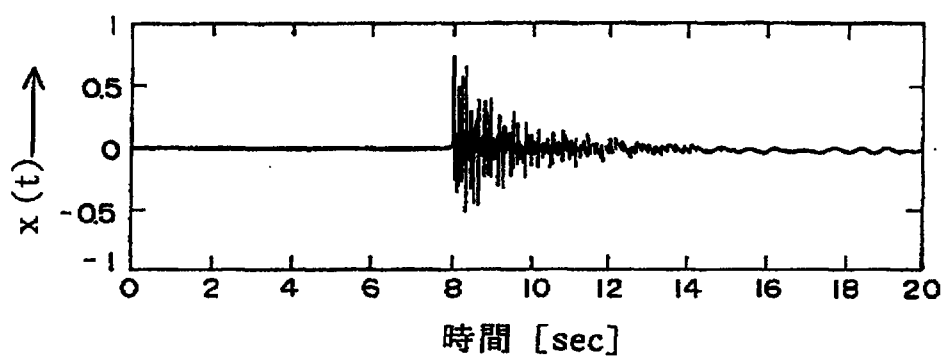


FIG. 14 a

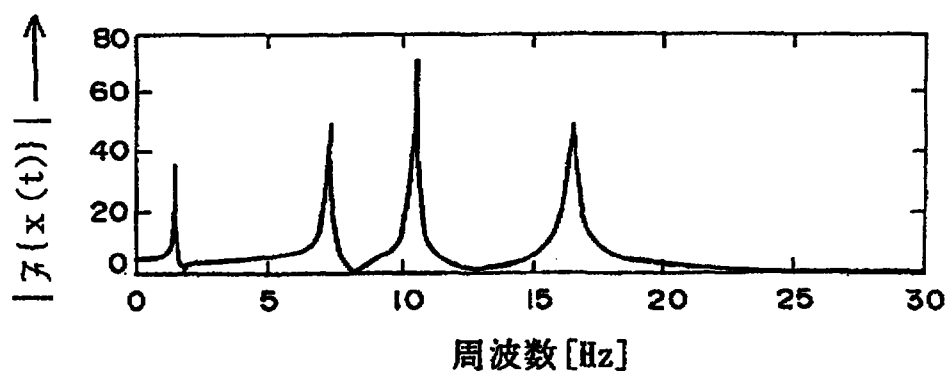
加速度信号 $x(t)$ のフーリエ変換によるパワースペクトル

FIG. 14 b

15 / 21

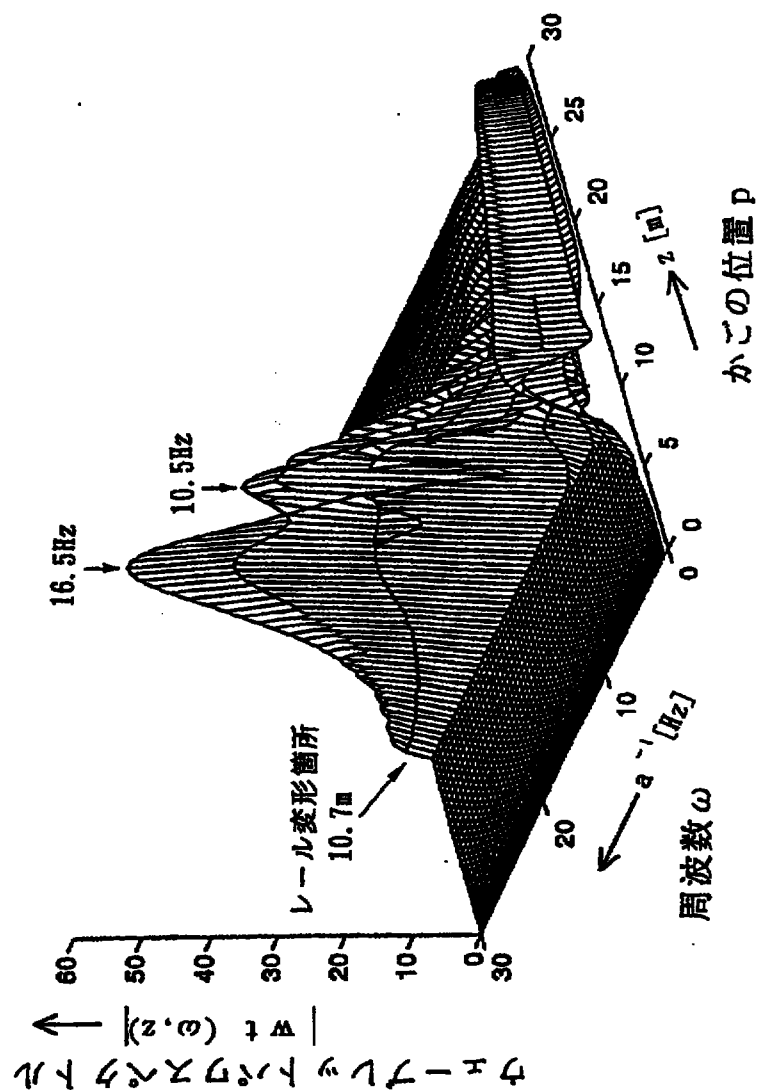


FIG. 15

16 / 21

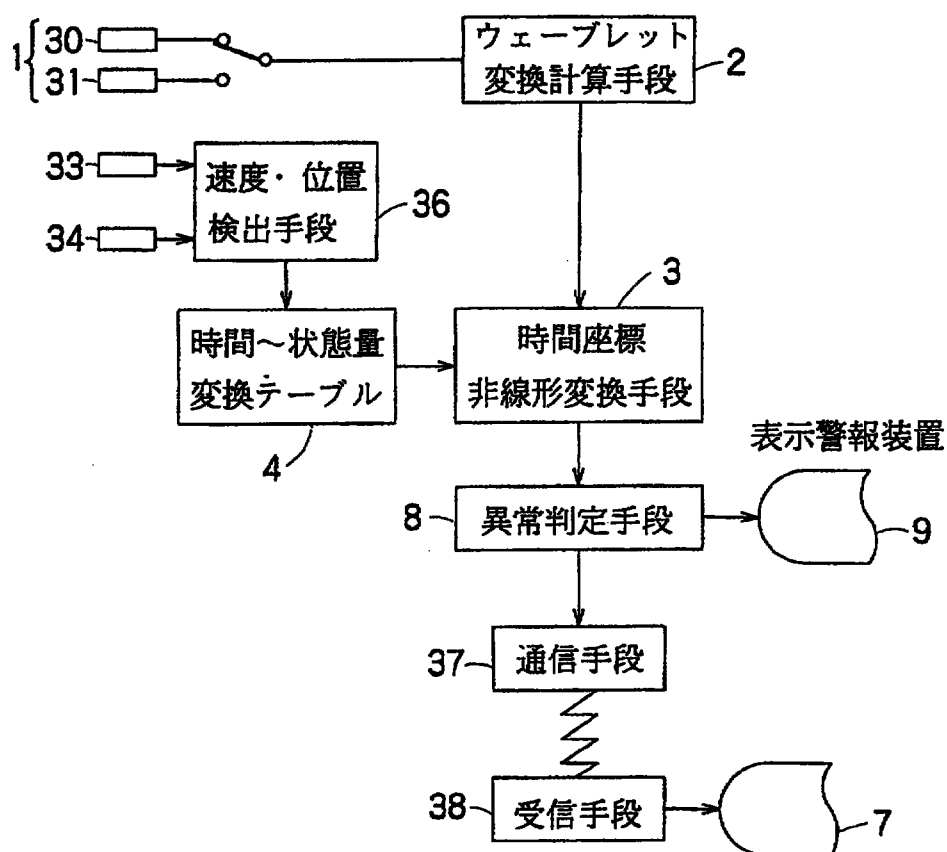


FIG. 16

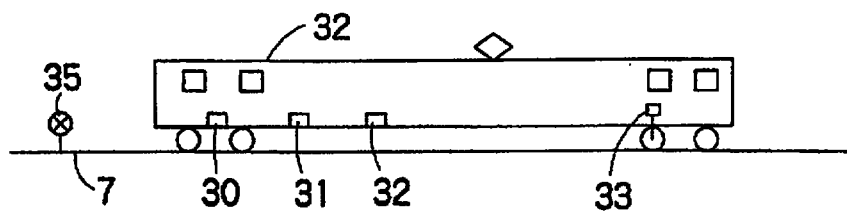


FIG. 17

17/21

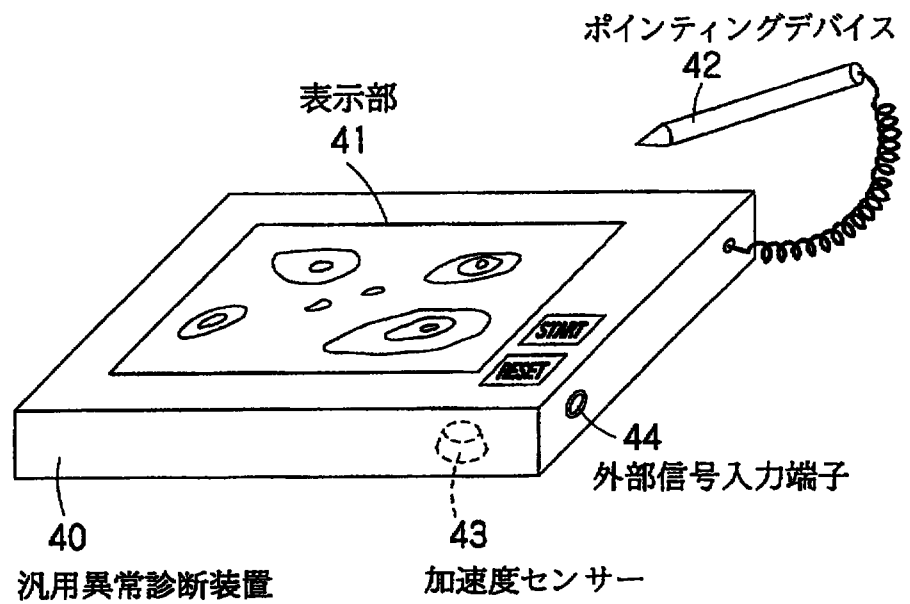


FIG. 18

18 / 21

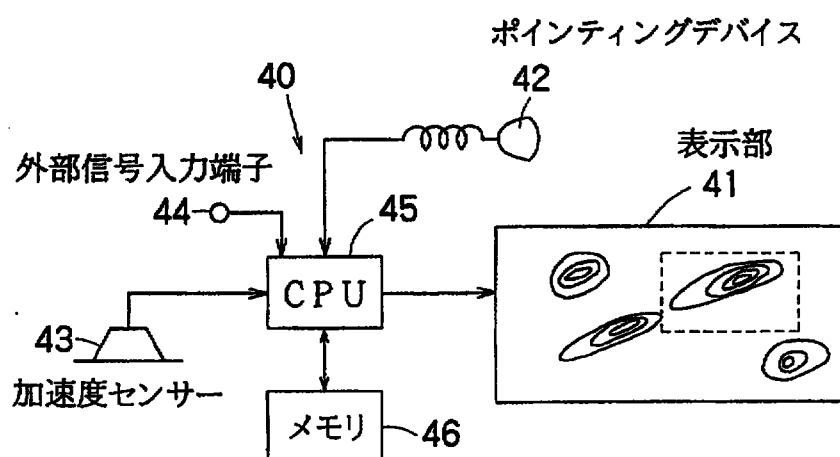


FIG. 19

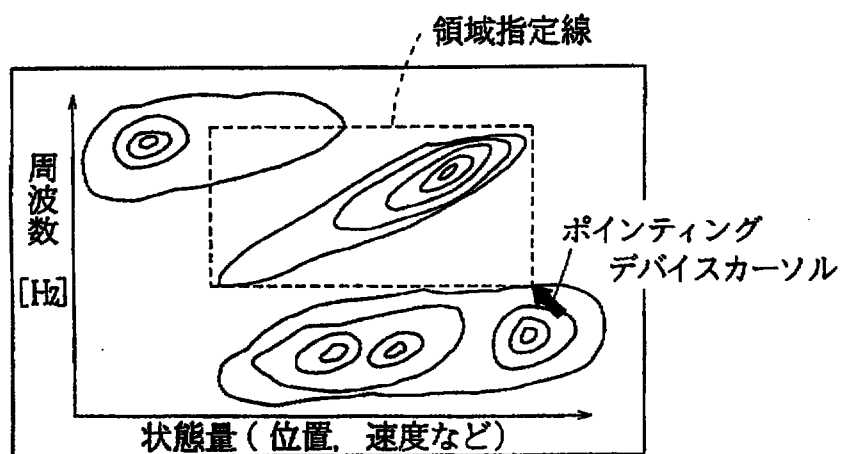


FIG. 20

19/21

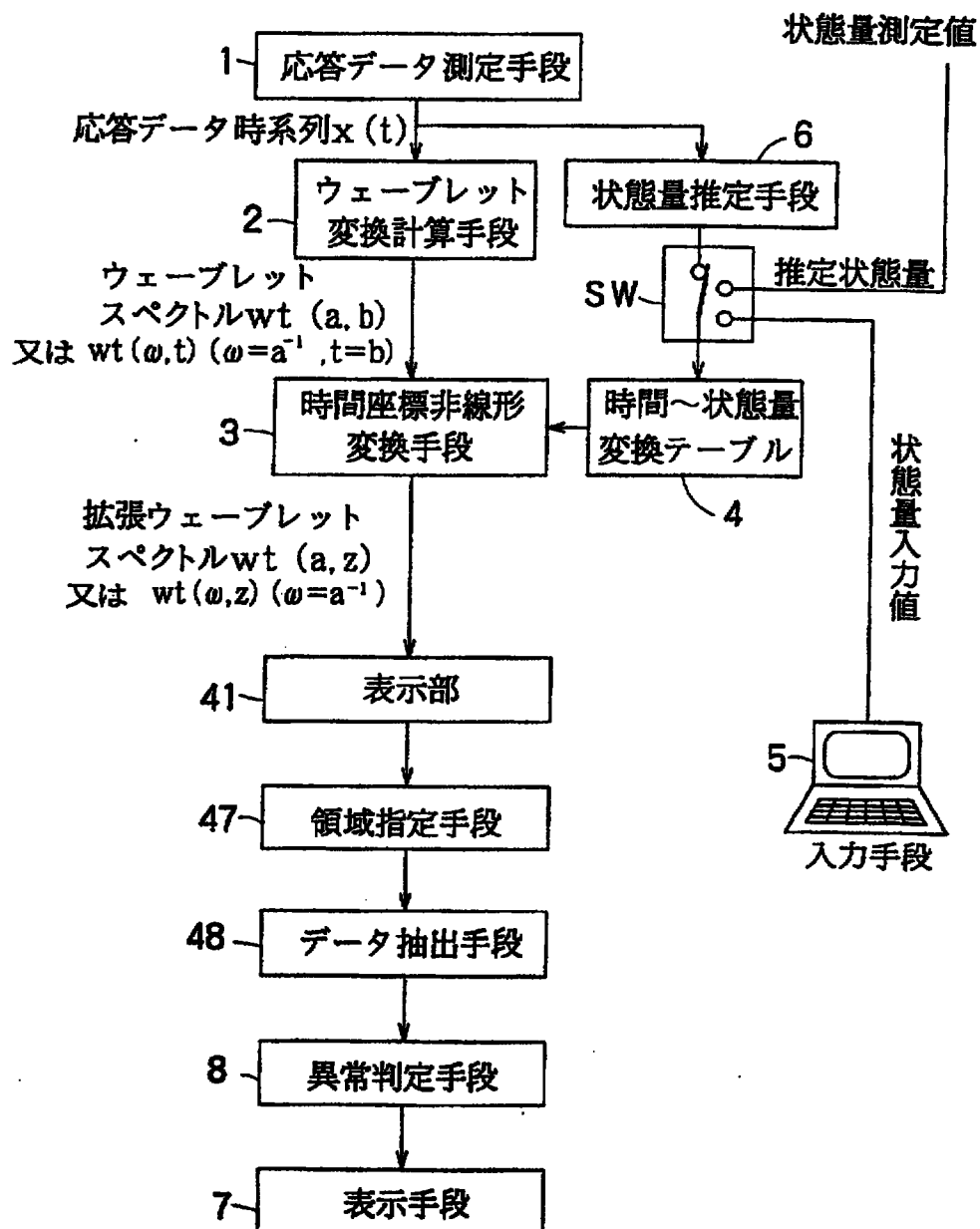


FIG. 21

20 / 21

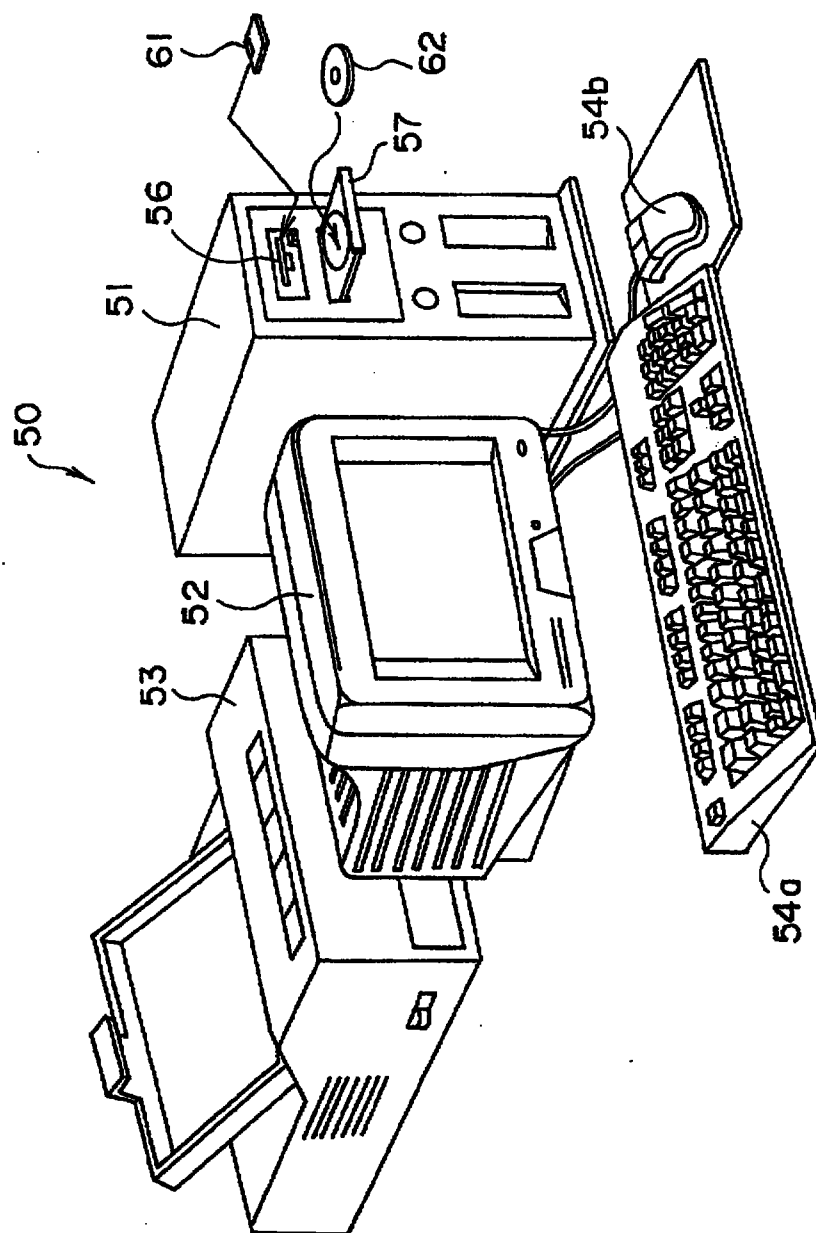


FIG. 22

21 / 21

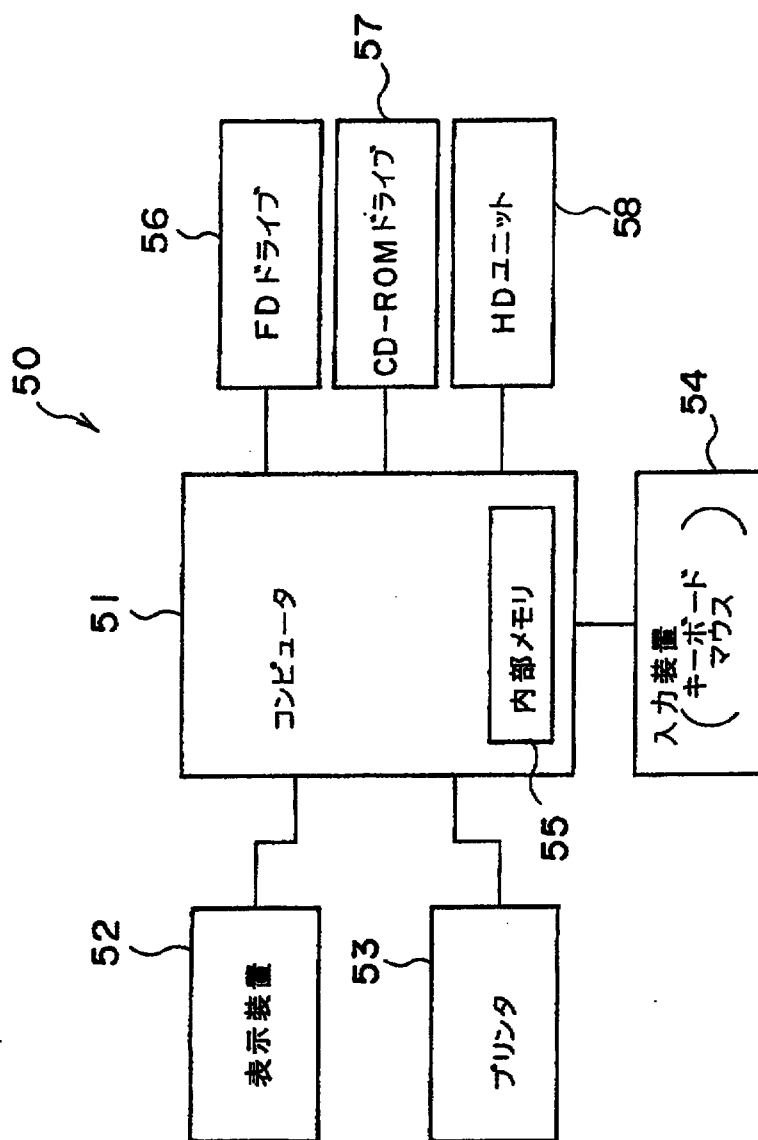


FIG. 23

DESCRIPTION

UNSTEADY SIGNAL ANALYZER AND RECORDING MEDIUM STORING
UNSTEADY SIGNAL ANALYZING PROGRAMTechnical Field

5 The present invention relates to a unsteady signal analyzer for analyzing an unsteady signal generated by a monitored object, such as a mechanical system, a process or the like and, more specifically, to an unsteady signal analyzer for analyzing an unsteady signal generated by an
10 elevator, and a recording medium storing an analysis program for analyzing an unsteady signal generated by a monitored object using of a computer.

Background Art

15 There have been proposed various diagnostic systems which measure a signal generated by a monitored object, such as a mechanical system, a process or the like, by a measuring instrument, analyze data represented by a measured signal to detect a defect in the monitored object, and, if any defect is detected, warn the operator or the
20 user of the defect.

 Generally, most of these known diagnostic systems convert the data represented by the signal generated by the monitored object into a spectrum by Fourier transform and monitor the spectrum or estimate a characteristic model by
25 a system identification method on the basis of data given to and provided by the monitored object. However, it has been impossible to obtain a spectrum through the Fourier transform of an unsteady signal representing data measured while the monitored object is in an unsteady state in which
30 the operating state of the monitored object varies sharply or to determine a characteristic model through system identification.

 A wavelet analytical method which uses wavelet trans-

form has attracted attention as a method of detecting a defect in a monitored object through the analysis of an unsteady signal. The wavelet analytical method will be explained hereinafter.

5 Fourier transform of a signal $x(t)$ provided by a monitored object is expressed by:

$$F(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j\omega t} dt \quad (1)$$

10 Wavelet transform of the same signal $x(t)$ is expressed by:

$$wt(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{|a|}} \phi\left(\frac{t-b}{a}\right) x(t) dt \quad (2)$$

where $\phi(\cdot)$ is a basis function called mother wavelet for transform. Fourier transform is equivalent to wavelet transform in which the basis function $\phi(t) = e^{-jt}$, $b = 0$ and
 15 $a = \omega^{-1}$, and the basis function is a function of time continuous from a past point of infinity to a future point of infinity as shown in Fig. 2a. Therefore, a spectrum obtained through Fourier transform is a function of one variable, i.e., frequency, as shown in Fig. 2b by way of
 20 example and it is impossible to determine time dependence of the spectrum, i.e., the feature of which part of observed data is represented by the spectrum. In this article, wavelet transform uses a Gabor function expressed by:

25
$$\phi(t) = e^{-(t/T)^2} e^{-jt} \quad (3)$$

as a basis function, which is localized with respect to time as shown in Fig. 3a. Thus, the spectrum obtained by wavelet transform is a function of two variables, i.e.,

frequency and time. The time-dependence of the frequency components of the signal can be determined on the basis of a function of two variables as shown in Fig. 3b by way of example.

5 As mentioned above, wavelet transform is able to extract the spectral distribution of observed data at every moment. Therefore, wavelet transform is considered to be as an effective means for analyzing an unsteady signal representing the operating condition of a monitored object
10 varying with time.

The foregoing conventional diagnostic system, however, simply subjects the unsteady signal generated by the monitored object to wavelet transform, and hence the result of analysis indicates only the time-dependence of the
15 frequency spectrum. Therefore, the conventional diagnostic system is an imperfect analytical technique for diagnosing the state of the monitored object.

For example, it is impossible to understand how the result of analysis made by the conventional diagnostic system, as shown in Fig. 3b, is related with the variation
20 of the state of the monitored object.

With these problems in mind, therefore, it is the object of the present invention to provide an unsteady signal analyzer which can diagnose an unsteady state of a monitored object accurately by analyzing an unsteady signal
25 generated by the monitored object.

Disclosure of the Invention

An unsteady signal analyzer according to a first aspect of the present invention for analyzing an unsteady signal
30 generated by a monitored object comprises: wavelet transform calculating means for producing a wavelet spectrum data through a wavelet transform of the unsteady signal; state variation function setting means for setting a state variation function representing a variation of a specific
35 state variable of the monitored object with time; and time coordinate nonlinear transformation means for transforming

a time coordinate of the wavelet spectrum data nonlinearly into a coordinate of the specific state variable by using an inverse function of the state variation function set by the state variation function setting means.

5 An unsteady signal analyzer according to a second aspect of the present invention for analyzing an unsteady signal representing an acceleration of a cab of an elevator as a monitored object comprises: wavelet transform calculating means for producing a wavelet spectrum data through
10 a wavelet transform of the unsteady signal representing a measured acceleration of the cab; state variation function setting means for setting a state variation function representing a variation of vertical position or vertical speed as a state variable of the cab with time; and time
15 coordinate nonlinear transformation means for transforming a time coordinate of the wavelet spectrum data nonlinearly into a coordinate of the vertical position or the vertical speed by using an inverse function of the state variation function set by the state variation function setting means.

20 In the unsteady signal analyzer according to the first or the second aspect of the present invention, the time coordinate nonlinear transformation means transforms the time coordinate of the wavelet spectrum data nonlinearly into the coordinate of the specific state variable by using
25 the following expression:

$$wt(a, b) = \int_{z(-\infty)}^{z(\infty)} \frac{1}{\sqrt{|a|}} \phi\left(\frac{t(z-b)}{a}\right) x(t(z)) \frac{dt(z)}{dz} dz$$

which is expressing an extended wavelet transform.

In any one of the foregoing unsteady signal analyzers according to the present invention, the time coordinate
30 nonlinear transformation means divides the wavelet spectrum data with respect to time into data segments, rearranges the data segments in order of magnitude of the state variable on the basis of a data table showing the relation

between time and the state variable, or the state variation function, and estimates intermediate values of the data segments by interpolation

and smoothing techniques, so as to transform the time
5 coordinate of the wavelet spectrum data nonlinearly into the coordinate of the specific state variable.

Any one of the foregoing unsteady signal analyzers according to present invention further comprises a response data measuring means for measuring the unsteady signal.

10 In any one of the foregoing unsteady signal analyzers according to the present invention, the state variation function setting means may estimate the state variation function on the basis of measured data on a state variable of the monitored object other than the specific state
15 variable.

The measured data on the state variable of the monitored object other than the specific state variable may be measured data on the unsteady signal.

In any one of the foregoing unsteady signal analyzers
20 according to the present invention, the state variation function setting means may estimate the state variation function through an estimation of a variation of the specific state variable with time on the basis of the measured data on the state variable of the monitored
25 object other than the specific state variable by using a state observer system based on a dynamic characteristic model of the monitored object or a Kalman filter.

In any one of the foregoing unsteady signal analyzers according to the present invention, the state variation
30 function setting means may determine the state variation function on the basis of measured data on the specific state variable.

In any one of the foregoing unsteady signal analyzers according to the present invention, the state variation
35 function used by the state variation function setting means is determined beforehand.

Any one of the foregoing unsteady signal analyzers

according to the present invention may further comprise a display means for displaying the results of analysis made by the time coordinate nonlinear transformation means on a coordinate system indicating at least coordinates of the specific state variable and the frequency.

Any one of the foregoing unsteady signal analyzers according to the present invention may further comprise a defect detecting means for detecting a defect in the monitored object on the basis of the results of analysis made by the time coordinate nonlinear transformation means.

The unsteady signal analyzer according to the present invention may further comprise a region specifying means for specifying a specific region in the spectrum obtained as a result of analysis by the time coordinate nonlinear transformation means and displayed on the display means, and a data extracting means for extracting data on a portion of the wavelet spectrum, in the specific region specified by the region specifying means, and sending the extracted data on the portion of the wavelet spectrum to a defect detecting means.

The unsteady signal analyzer according to the present invention may display a result of detection made by the defect detecting means on the display means.

The unsteady signal analyzer according to the present invention may further comprise a defect display means for displaying a result of detection made by the defect detecting means.

A recording medium according to a third aspect of the present invention stores an unsteady signal analyzing program defining a procedure for analyzing an unsteady signal generated by a monitored object, to be carried out by a computer, said unsteady signal analyzing program makes the computer exercise: a wavelet transform calculating function of producing a wavelet spectrum data through a wavelet transform of the unsteady signal, a state variation function setting function of setting a state variation function representing a variation of a specific state

variable of the monitored object with time, and a time coordinate nonlinear transformation function of transforming a time coordinate of the wavelet spectrum data nonlinearly into a coordinate of the specific state variable by using an inverse function of the state variation function.

In the recording medium according to the third aspect of the present invention storing the unsteady signal analyzing program, the monitored object is an elevator, the unsteady signal is an acceleration signal representing the measured acceleration of a cab included in the elevator, and the specific state variable is vertical position or vertical speed of the cab.

In the recording medium according to the third aspect of the present invention storing the unsteady signal analyzing program, the time coordinate nonlinear transformation function carries out the nonlinear transformation of the time coordinate of the wavelet spectrum data by using following expression:

$$wt(a,b) = \int_{z(-\infty)}^{z(\infty)} \frac{1}{\sqrt{|a|}} \phi\left(\frac{t(z-b)}{a}\right) x(t(z)) \frac{dt(z)}{dz} dz$$

which is expressing an extended wavelet transform.

In the recording medium according to the third aspect of the present invention storing the unsteady signal analyzing program, the time coordinate nonlinear transformation function divides the wavelet spectrum data with respect to time into data segments, rearranges the data segments in order of magnitude of the state variable on the basis of a data table showing the relation between time and the state variable, or the state variation function, and estimates intermediate values of the data segments by interpolation and smoothing techniques, so as to transform the time coordinate of the wavelet spectrum data nonlinearly into the coordinate of the specific state

variable.

The present invention can diagnose an unsteady state of the monitored object accurately by getting the correlation and the causal relationship between the specific state variable of the monitored object and the frequency changes.

Brief Explanation of The Drawings

Fig. 1 is a block diagram of an unsteady signal analyzer in a preferred first embodiment according to the present invention;

10 Figs. 2a and 2b are graphs of a basis function for Fourier transform and a power spectrum produced through Fourier transform, respectively;

15 Figs. 3a and 3b are graphs of a basis function for wavelet transform and a wavelet power spectrum produced through wavelet transform, respectively;

Fig. 4 is a block diagram of an unsteady signal analyzer in a modification of the unsteady signal analyzer of Fig. 1;

20 Fig. 5 is a diagrammatic view of an elevator to which the unsteady signal analyzer embodying the present invention is to be applied;

Fig. 6 is a diagrammatic view of the elevator of Fig. 5 provided with the unsteady signal analyzer embodying the present invention;

25 Fig. 7 is a flow chart of a diagnostic algorithm for diagnosing defects in an elevator, based on extended wavelet transform to be executed by the unsteady signal analyzer embodying the present invention;

30 Figs. 8a, 8b and 8c are graphs showing the variation with time of the output torque of a motor included in the elevator of Fig. 5, the speed of a cab included in the elevator of Fig. 5, and the position of the cab, respectively, when the output shaft of the motor is eccentric;

35 Figs. 9a, 9b and 9c are graphs showing the variation of the acceleration of the cab of the elevator of Fig. 5

with time, the variation of the output torque of the motor with time and the result of Fourier transform of the acceleration of the cab, respectively, when the output shaft of the motor is eccentric;

5 Fig. 10 is a graph showing the result of analysis of the acceleration of the cab of the elevator when the output shaft of the motor is eccentric by a conventional wavelet transform method;

10 Figs. 11a and 11b are graphs showing the result of extended wavelet transform of the acceleration of the cab of the elevator with respect to the speed of the cab when the output shaft of the motor is eccentric;

15 Fig. 12 is a graph showing the result of extended wavelet transform of the acceleration of the cab of the elevator with respect to the position of the cab when the output shaft of the motor is eccentric;

20 Figs. 13a, 13b and 13c are graphs showing the variation with time of the output torque of the motor of the elevator, the speed of the cab of the elevator and the position of the cab of the elevator, respectively, when a guide rail included in the elevator is in a defective condition;

25 Figs. 14a and 14b are graphs showing the acceleration of the cab of the elevator and the result of Fourier transform of the acceleration of the cab of the elevator, respectively, when the guide rail is in a defective state;

30 Fig. 15 is a graph showing the result of extended wavelet transform of the acceleration of the cab of the elevator When the guide rail is in a defective state;

35 Fig. 16 is a block diagram of the unsteady signal analyzer embodying the present invention as applied to a railroad car;

 Fig. 17 is a schematic side view of a railroad car provided with the unsteady signal analyzer embodying the present invention;

 Fig. 18 is a perspective view of the unsteady signal analyzer embodying the present invention;

Fig. 19 is a block diagram of an internal device included in the unsteady signal analyzer embodying the present invention;

Fig. 20 is a pictorial view showing, by way of example, data displayed on a display unit included in the unsteady signal analyzer embodying the present invention;

Fig. 21 is a block diagram of the unsteady signal analyzer embodying the present invention;

Fig. 22 is a perspective view of a computer system which is used to read the unsteady signal analyzing program stored in the recording medium in a preferred second embodiment according to the present invention; and

Fig. 23 is a block diagram of the computer system which is used to read the unsteady signal analyzing program stored in the recording medium in the second embodiment.

Best Mode for Carrying Out the Invention

First Embodiment

An unsteady signal analyzer in a preferred first embodiment according to the present invention will be described with reference to Figs. 1, 3a, 3b. Referring to Fig. 1, the unsteady signal analyzer embodying the present invention has a response data measuring means 1 comprising a sensor, an A/D converter and noise filters.

An unsteady signal $x(t)$, i.e., a time series of response data, received by the response data measuring means 1 is given to a wavelet transform calculating means 2 which carries out calculation by using, for example, the foregoing Expression (2) representing wavelet transform.

$$wt(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{|a|}} \phi\left(\frac{t-b}{a}\right) x(t) dt \quad (2)$$

In Expression (2), a is the reciprocal of frequency ω , and b is time t .

The wavelet transform calculating means 2 carries out

the wavelet transform of the unsteady cab acceleration signal $x(t)$ by using Expression (2) to provide a wavelet spectrum (wavelet transform data) $wt(a,b)$ shown in Fig. 3b. Then, the wavelet transform calculating means 2 gives the
 5 wavelet spectrum $wt(a,b)$ to a time coordinate nonlinear conversion means 3. The time coordinate nonlinear transformation means 3 transforms the time coordinate of the wavelet spectrum $wt(a,b)$ by nonlinear coordinate transformation with respect to a specific state variable (physical
 10 value) of a monitored object.

If the unsteady signal measured by the response data measuring means 1 represents acceleration, the specific state variable is, for example, speed or position, which will be described in detail later in connection with the
 15 application of the unsteady signal analyzer to an elevator and a railroad car.

The unsteady signal analyzer has a time-state conversion table 4 tabulating state variation function data $\{z(t_1), z(t_2), \dots, z(t_N)\}$ representing the relation between
 20 time and the specific state variable. The time-state conversion table 4 and following state estimating means 6 constitute a state variation function setting means for setting a state variation function representing the variation of a specific state variable of the monitored
 25 object with respect to time.

There are several methods available for obtaining the state variation function data $\{z(t_1), z(t_2), \dots, z(t_N)\}$. The unsteady signal analyzer in this embodiment has an input means 5 for writing previously determined state
 30 variation function data $\{z(t_1), z(t_2), \dots, z(t_N)\}$ to the time-state conversion table 4.

The state variation function data $\{z(t_1), z(t_2), \dots, z(t_N)\}$ can be directly obtained by directly measuring a specific state variable z , such as speed, varying with time
 35 or by estimating the variation of the specific state variable z , such as speed, with time on the basis of

measured data of a state variable, such as acceleration, other than the specific state variable z , such as speed.

The latter method of estimating the variation of the specific state variable z with time on the basis of the measured data on a state variable other than the specific state variable is carried out by the state estimating means 6 shown in Fig. 1, which will be described later in connection with the description of a modification of the unsteady signal analyzer of Fig. 1.

The time coordinate nonlinear transformation means 3 reads the state variation function data $\{z(t_1), z(t_2), \dots, z(t_N)\}$ from the time-state conversion table 4, and transforms the time coordinate b of the wavelet spectrum $wt(a, b)$ into the coordinate of the state variable z .

More specifically, the time coordinate nonlinear transformation means 3 produces the inverse function $t(z)$ of a function $z(t)$ (state variation function), i.e., a function of t representing the specific state variable z , and executes the variation of variables on the basis of the inverse function $t(z)$ to change time t of Expression (2), i.e., wavelet transform expression, for the specific state variable z to obtain Expression (4).

$$wt(a, b) = \int_{z(-\infty)}^{z(\infty)} \frac{1}{\sqrt{|a|}} \phi\left(\frac{t(z-b)}{a}\right) x(t(z)) \frac{dt(z)}{dz} dz \quad (4)$$

Transform expressed by Expression (4) will be referred to as extended wavelet transform for convenience. An extended wavelet spectrum $wt(a, z)$ indicating the variation of frequency relative to the specific state variable z can be obtained by changing the time coordinate b of the wavelet spectrum $wt(a, b)$ for the coordinate of the specific state variable z by using Expression (4) for extended wavelet transform.

In the following description, the aforesaid wavelet

spectrum $wt(a,b)$ will be expressed by $wt(\omega,b)$, $wt(a^{-1},b)$ with using $\omega=a^{-1}$, in order to clarify the point that the spectrum is a function of a frequency ω . Moreover, the conventional wavelet spectrum will be expressed by $wt(\omega,t)$,
 5 and the extended wavelet spectrum will be expressed by $wt(\omega,z)$ for discrimination between the conventional wavelet spectrum and the extended wavelet spectrum.

The extended wavelet spectrum $wt(\omega,z)$ obtained by changing time coordinate for state variable coordinate can be obtained also by dividing a wavelet spectrum $wt(\omega,t)$
 10 obtained by conventional wavelet transform into data segments $\{wt(\omega,t_1), wt(\omega,t_2) \dots, wt(\omega,t_n)\}$ for times $\{t_1, t_2, \dots, t_n\}$, rearranging the data segments $\{wt(\omega,t_1), wt(\omega,t_2) \dots, wt(\omega,t_n)\}$ in order of magnitude of the state
 15 variable z , and estimating intermediate values between the data segments by interpolation.

The time coordinate nonlinear transformation means 3 sends the extended wavelet spectrum $wt(a,z)$ to a display means 7. The display means 7 displays a function $wt(\omega,z)$
 20 of two variables, i.e., frequency $\omega = a^{-1}$ (or the reciprocal a of a^{-1}), and state variable z , i.e., an extended wavelet spectrum (wavelet analytical data) on the basis of the extended wavelet spectrum $wt(a,z)$. More specifically, for example, $\{\omega, z, |wt(\omega,z)|\}$ or $\{\omega, z, (wt(\omega,z))\}$ is
 25 displayed in a three-dimensional graph on a display. A notation, $|a|$ designates the absolute value of a , and a notation, $\angle a$ designates the phase angle of a .

The unsteady signal analyzer has a defect detecting means 8 for automatically detecting defects in the monitored object from the extended wavelet spectrum provided
 30 by the time coordinate nonlinear transformation means 3. The defect detecting means 8 decides automatically whether or not the monitored object is normal by a predetermined defect diagnosing system. If the defect detecting means
 35 8 decides that a defect exists in the monitored object, the

defect detecting means 8 sends an alarm signal or a defective mode signal to the display means 7 to warn the operator of the defect.

The predetermined defect diagnosing system uses a threshold method of diagnosing defects by using a power spectrum of a specific portion of the extended wavelet spectrum $wt(\omega, z)$, i.e., $\{|wt(\omega_1, z_1)|, \dots, |wt(\omega_m, z_m)|\}$, and a threshold condition expressed by:

If $(|wt(\omega_i, z_i)| > \varepsilon_i)$, then defective i (5)
 or a composite means. The result of detection by the defect detecting means 8 may be displayed on a defect information display means 9 specially for displaying information on a defect in addition to displaying the same on the display means 7.

A desired region may be specified in the extended wavelet spectrum, i.e., the result of analysis made by the time coordinate nonlinear transformation means 3, displayed by the display means 7 by the operator by means of a pointing device or the like, only the extended wavelet spectrum corresponding to the specified region may be given to the defect detecting means 8, and the defect detecting means 8 may detect a defect in the monitored object by using only the extended wavelet spectrum given thereto.

Thus, a direct analytical operation can be achieved without being affected by noise, disturbance and other adverse factors included in regions other than the specified region and the accuracy of defect detection can be improved by analyzing only a characteristic defect included in the extended wavelet spectrum displayed on the display means 7 and extracted by the operator.

As is apparent from the foregoing description, the unsteady signal analyzer embodying the present invention produces the wavelet spectrum through the wavelet transform of the unsteady signal representing the state of the monitored object, and transforms the time coordinate of the wavelet spectrum into the coordinate of the specific state

variable. Therefore, the correlation and the causal relationship between the specific state variable, such as position, speed or acceleration in a mechanical system, and the frequency spectrum can be easily determined as well as the variation of the frequency spectrum with time.

Accordingly, if any defect is found in the monitored object, the defect can be analyzed and the result of analysis easily understandable from the viewpoint of physical laws can be displayed, and the position of the defect in the monitored object can be easily located.

Furthermore, the unsteady signal analyzer embodying the present invention is capable of analyzing varying spectral distribution under an unsteady state in which the operating condition and the internal condition of the monitored object change frequently. Thus, the unsteady signal can be very effectively analyzed and, consequently, small, fragmentary data can be effectively analyzed.

Modification

Fig. 4 shows an unsteady signal analyzer in a modification of the foregoing unsteady signal analyzer embodying the present invention. The unsteady signal analyzer in the modification produces state variation function data $\{z(t_1), z(t_2), \dots, z(t_N)\}$ to be written to the time-state conversion table 4 through estimation by the state estimating means 6 on the basis of measured data on a state variable other than the specific state variable z .

This method of producing the state variation function data is very effective under a condition where the direct measurement of the specific state variable z is impossible.

In this modification, the state estimating means 6 estimates the variation of the specific state variable z with respect to time from measured data in a real-time mode on the basis of the dynamic characteristic model of the monitored object to produce the state variation function data $\{z(t_1), z(t_2), \dots, z(t_N)\}$.

Referring to Fig. 4, this state estimating means 6 is

able to estimate in a real time mode a specific state variable $z(t)$ which cannot be directly measured by successively correcting an estimated state variable in an output signal estimating model 11 by an estimated state correcting means 12 on the basis of an estimated error signal $e(t)$, i.e., the difference between an output estimated value $\hat{y}(t)$ provided by the output signal estimating model 11 when an input signal $u(t)$ to the monitored object 10 is given to the output signal estimating model 11, and an actual output signal $y(t)$.

If a Kalman filter or a state observer system is employed as the state estimating means 6, the output signal estimating model is represented by Expressions (6) and (7), and the estimated state correcting means 12 is represented by Expression (8).

$$z(k|k-1) = Az(k-1|k-1) + Bu(k-1) \quad (6)$$

$$\hat{y}(k|k-1) = Cz(k|k-1) \quad (7)$$

$$z(k|k) = z(k|k-1) + K(y(k) - \hat{y}(k|k-1)) \quad (8)$$

where A, B and C are coefficient matrices relating to the dynamic characteristic model of the monitored object, and K is Kalman gain (or the gain of the state observer system).

An internal state variable vector $z(k|k)$ of the monitored object can be estimated from a series of observation data of the input signal $u(k)$ to the monitored object and the output signal $y(k)$ by the successive calculation. Some elements of the thus estimated state variable vector are extracted as the specific state variable z and the time-state conversion table 4 is produced from the time series $\{z(t_1), z(t_2), \dots, z(t_N)\}$ of the specific state

variable z .

The state variable may be estimated beforehand in an off-line processing mode or may be estimated in a real-time mode during the observation of the data.

5 As is apparent from the foregoing description, in this modification, the relation between the specific state variable z and the observed data spectrum can be estimated by the state estimating means 6 even if the specific state variable z cannot be directly measured. An analytical
10 method can be easily combined with the wavelet analytical method.

Example 1

 An unsteady signal analyzer embodying the present invention in Example 1 applied to an elevator, i.e., a
15 mechanical system, as a monitored object, will be described hereinafter with reference to Figs. 5 to 15.

 An unsteady signal to be analyzed by the unsteady signal analyzer in Example 1 is an acceleration signal representing the measured acceleration of a cab included
20 in the elevator, and the specific state variable to be employed in nonlinear transformation is the vertical position or the vertical speed of the cab.

 Referring to Fig. 5, the elevator, i.e., the monitored object, comprises a motor 51, sheaves 52a, 52b, 52c and
25 52d, a cab frame 53, a cab 54, guide rollers 55, guide rails 56 and a counterweight 57.

 As shown in Fig. 6, the unsteady signal analyzer is provided with an acceleration sensor 20 disposed in the cab 54. An acceleration signal representing a measured
30 acceleration and provided by the acceleration sensor 20 is given to an A/D converter 21, the A/D converter 21 converts the acceleration signal into a corresponding digital signal and gives the digital signal to an analyzing-and-displaying device 22, such as a personal computer. The acceleration
35 sensor 20 and the A/D converter 21 constitute the response data measuring means 1 shown in Fig. 1.

The analyzing-and-displaying device 22 carries out the procedure shown in Fig. 1 to calculate an extended wavelet spectrum, and displays the calculated extended wavelet spectrum on a screen included therein. The result of analysis or defect diagnosis is sent through MODEMs 23 and a public data network to a remote monitor station. The result is displayed on a central monitoring terminal of the monitor station and, if any defect is found, an alarm signal is generated.

Referring to Fig. 7 showing a procedure to be carried out by the analyzing-and-displaying device 22, the acceleration sensor 20 provides a cab acceleration signal $x(t)$ representing the measured acceleration of the cab 54 in step 1, and a wavelet spectrum $wt(a,b)$ is calculated on the basis of the cab acceleration signal $x(t)$ by using Expressions (2) and (3) in step 2.

Then, the wavelet spectrum $wt(a,b)$ or $wt(\omega,b)$, where $\omega=a^{-1}$ is the frequency of the wavelet spectrum, is displayed on a display in a graph having a time axis and a frequency axis in step 3. In step 4, the operator selects the speed or the position of the cab 54 as a specific state variable. In step 4, both steps for the speed of the cab 54 and those for the position of the cab 54 may be automatically selected.

If the position of the cab 54 is selected as the specific state variable in step 4, the cab acceleration signal $x(t)$ is integrated twice with respect to t in step 5 to produce a cab position signal $p(t)$. A function table showing the relation between time t and position p is produced in step 6 on the basis of cab position data $\{p(t_1), p(t_2), \dots, p(t_n)\}$ represented by the cab position signal $p(t)$.

Then, the time coordinate of the wavelet spectrum calculated in step 2 is transformed into the coordinate of cab position p on the basis of the function table produced in step 6 to produce an extended wavelet spectrum $wt(\omega,p)$

in step 7. In step 8, the extended wavelet spectrum $wt(\omega, p)$, i.e., the result of analysis, is displayed on a display.

5 In step 9, the rate of variation of the power spectrum with the cab position p is calculated by using the extended wavelet spectrum $wt(\omega, p)$ and Expression (9) shown below. The rate of change is examined to see whether or not the rate of change is higher than a threshold, and a decision is made as to whether or not the power spectrum has
10 suddenly changed with the cab position p .

$$|wt(\omega, p(t_i)) - wt(\omega, p(t_{i+1}))| / |p(t_i) - p(t_{i+1})| > \varepsilon_p \quad (9)$$

If it is decided in step 9 that the power spectrum has suddenly changed, a cab position $p(t_i)$ where the power spectrum has suddenly changed is detected and a warning
15 indicating a defect in the rails 56 or the rope of the elevator is displayed on the display in step 10. If it is decided in step 9 that the power spectrum has not suddenly changed, a message "Normal" is displayed on the display in step 11 and the diagnostic operation is ended or the
20 unsteady signal analyzer remains standing by until the next unsteady signal analyzing cycle.

If cab speed is selected as the state variable in step 4, a cab speed signal $v(t)$ is produced by integrating the cab acceleration signal $x(t)$ once in step 12. A function
25 table showing the relation between time t and speed v is produced in step 13 on the basis of cab speed data $\{v(t_1), v(t_2), \dots, v(t_N)\}$ represented by the cab speed signal $v(t)$.

Then, the time coordinate of the wavelet spectrum data
30 calculated in step 2 is transformed into the coordinate of cab speed v on the basis of the function table produced in step 13 to produce an extended wavelet spectrum data $wt(\omega, v)$ in step 14. In step 15, the extended wavelet

spectrum data $wt(\omega, v)$, i.e., the result of analysis, is displayed on a display.

The spectrum data $|wt(\omega, v)|$ is compared with a threshold by using:

$$5 \quad |wt(\omega_i, v_i)| > \varepsilon v \quad (10)$$

to select the data of a portion having a power spectrum exceeding the threshold (peak spectrum) $\{wt(\omega_1, v_1), wt(\omega_2, v_2), \dots, wt(\omega_m, v_m)\}$.

10 Supposing that the relation between frequency ω and cab speed v can be expressed by Proportional expression (11):

$$v_i = r\omega_i + e_i \quad (11)$$

the following least square solution of coefficient r which makes the sum of squares of errors e_i , i.e., $\sum e_i^2$, a minimum is determined.

$$15 \quad r = \frac{\sum_{i=1}^m \omega_i v_i}{\sum_{i=1}^m \omega_i^2} \quad (12)$$

If a discriminant:

$$\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{|v_i - r\omega_i|^2}{1+r^2} < \varepsilon r \quad (13)$$

20 for a variance at a distance d from a straight line expressed by Expression (11), i.e., the proportional expression, expressing data points $\{(\omega_1, v_1), (\omega_2, v_2), \dots, (\omega_m, v_m)\}$ is satisfied, it is decided in step 16 that speed v and frequency ω are strongly correlated; that is, it is decided that speed v and frequency ω are in proportional relation.

25

In such a case, it is decided that there is a defect in some of the rotary members, such as the motor 51, the sheaves 52a, 52b, 52c and 52d bearings and the guide rollers 55, because the frequency of variation of the torque due to the eccentricity of the rotary member is proportional to the rotating speed of the rotary member, and the cab speed is proportional to the rotating speed.

The defective rotating member is found out from the coefficient r and information is displayed on the display to that effect in step 17. For example, if $r/2\pi$ is equal to the radius of the sheave, it is decided that the cause of the defect is the variation of the torque attributable to the eccentricity of the sheave from Expression (14).

Cab Speed = 2π (Sheave Radius) $\times$ (Sheave Rotation Frequency)

(14)

If it is decided in step 16 that speed v and frequency ω are not correlated, a message, "Normal" is displayed on the display in step 11, and the diagnostic operation is ended or the unsteady signal analyzer remains standing by until the next unsteady signal analyzing cycle.

Step 6 for executing a procedure to be carried out by the time coordinate nonlinear transformation means 3 or a coordinate transformation procedure to be executed in step 13 will be described hereinafter. In the following description, a state variable signal $z(t)$ will be used instead of the cab position signal $p(t)$ or the cab speed signal $v(t)$, and it is supposed that a function table, i.e., the time-state conversion table 4, showing a data string $\{z(t_1), z(t_2), \dots, z(t_n)\}$ is produced beforehand. Data obtained through ordinary wavelet transform is expressed by:

$$wt(a,b) = \{wt(a_i,b_j) \mid i=1,\dots,n_1, j=1,\dots,n_2\} \quad (15)$$

Substituting the relation, $\omega = a^{-1}$ into Expression (15) to obtain data represented by:

$$wt(\omega, b) = \{wt(\omega_i, b_j) \mid \omega_i = a_i^{-1}, i=1, \dots, n1, j=1, \dots, n2\} \quad (16)$$

5 Then, corresponding state variable $z(b_i)$ is obtained by choosing t_k meeting:

$$t_k \leq b_j \leq t_{k+1} \quad (17)$$

from $\{t_1, t_2, \dots, t_N\}$ for the time coordinate of data elements, and carrying out an operation by using Expression (18) for linear interpolation to obtain an extended wavelet spectrum represented by Expression (19).

$$\begin{aligned} z(b_j) &= z(t_k) + \frac{b_j - t_k}{t_{k+1} - t_k} (z(t_{k+1}) - z(t_k)) \\ &= \frac{(b_j - t_k)z(t_{k+1}) + (t_{k+1} - b_j)z(t_k)}{t_{k+1} - t_k} \end{aligned} \quad (18)$$

$$wt(\omega, z) = \{wt(\omega_i, z(b_j)) \mid \omega_i = a_i^{-1}, i=1, \dots, n1, j=1, \dots, n2\} \quad (19)$$

15 Another method estimates the function $z(t)$ from the time-state conversion table 4. For example, a polynomial:

$$z(t) = z_0 + z_1 t + \dots + z_p t^p \quad (20)$$

is supposed, and the coefficients $z_0, z_1, \dots, z_p$ are estimated from data $\{z(t_1), z(t_2), \dots, z(t_N)\}$ by a least square method, and then the inverse function $t(z)$ of Expression (20) is obtained.

20 Finally, calculation by using Expression (21) for numerical integration is carried out for the measured data

represented by a cab acceleration signal $x(t)$ to obtain an extended wavelet spectrum.

$$wt(a,b) = \int_{z(-\infty)}^{z(\infty)} \frac{1}{\sqrt{|a|}} \phi\left(\frac{t(z-b)}{a}\right) x(t(z)) \frac{dt(z)}{dz} dz \quad (21)$$

5 Figs. 8a to 15 show the results of analysis of an acceleration signal provided by the acceleration sensor 20 disposed on the cab 54 of the elevator carried out by the unsteady signal analyzer of the present invention.

10 Figs. 8a to 12 show data representing a case where the cab 54 generated vibrations due to irregular torque attributable to the eccentricity of the output shaft of the motor 51 of the elevator. A curve shown in Fig. 8a represents a required output torque of the motor 51, Fig. 8b shows a cab speed signal $v(t)$ estimated by integrating a cab acceleration signal $x(t)$, and Fig. 8c shows a cab position signal $p(t)$ estimated by integrating the cab acceleration signal $x(t)$ twice.

15 As shown in Fig. 9a, the cab acceleration signal $x(t)$ provided by the acceleration sensor 20 disposed on the cab 54 is an unsteady signal in which frequency characteristic varies with speed, because the frequency of the irregular torque due to the eccentricity of the output shaft of the motor 51 varies in proportion to the cab speed as shown in Fig. 9b. Therefore, only a whole distribution of a power spectrum as shown in Fig. 9c is obtained and the dependence on the speed signal cannot be known through the simple Fourier transform of the cab acceleration signal $x(t)$.

20 Fig. 10 is a graph showing the result of the conventional wavelet transform of the cab acceleration signal $x(t)$, Figs. 11a and 11b are graphs showing the result of the extended wavelet transform of the cab acceleration signal $x(t)$ on the basis of the cab speed signal $v(t)$, and Fig. 12 is a graph showing the result of the extended wavelet transform of the cab acceleration signal $x(t)$ on the basis of the cab position signal $p(t)$.

For example, it is known from wavelet spectra shown in Figs. 11a and 11b that peaks of the spectra are on a line representing the proportional relation between the cab speed signal $v(t)$ and the frequency $\omega = a^{-1}$. Thus, it is decided that there is some defective rotary member the rotary members of the elevator, and it is decided from the proportional relation between speed and frequency that the output shaft of the motor 51 is defective.

Figs. 13a to 15 show the results of analysis of the unsteady signal when there is a defect in the guide rails 56 of the elevator. Figs. 13a, 13b and 13c show the output torque of the motor 51, a cab speed signal $v(t)$ and cab position signal $p(t)$, respectively. Figs. 14a and 14b show a cab acceleration signal $x(t)$ and a power spectrum obtained by the Fourier transform of the cab acceleration signal $x(t)$, respectively.

In this case, a step is existed in the joint of the guide rail 56 at a height of about 10.7 m, and the cab 54 moving upward is caused to started vibrating by an impulsive external force applied thereto by the step in the guide rail 56. It is impossible to know from the result of Fourier transform shown in Fig. 14b what applied the impulsive external force to the cab 54.

Fig. 15 shows a wavelet power spectrum obtained through the extended wavelet transform of the cab acceleration signal $x(t)$ with respect to the cab position signal $p(t)$. As shown in Fig. 15, there is a sharp change in a portion of the spectrum corresponding to $p = 10.7$ m on the cab position axis, and it is known that a defect exists at a position on the guide rail 56 corresponding to the position $p = 10.7$ m of the cab 54.

As is apparent from the foregoing description, according to the present invention, the cab acceleration signal representing the acceleration of the cab 54 of the elevator is subjected to extended wavelet transform with respect to the cab speed, the variation of the output torque of the

motor 51 can be found from the proportional relation between the frequencies of peaks in the extended wavelet spectrum and the cab speed, and the radius of the defective rotary member can be presumed from the proportional constant.

Similarly, defects in the guide rails 56 and the rope can be located from the variation of the extended wavelet spectrum obtained through the extended wavelet transform of the cab acceleration signal with respect to cab position.

Accordingly, the present invention improves the efficiency of operations for the monitoring and the maintenance of the elevator greatly. Accurate analysis and detection of defects can be achieved even if the cab of the elevator travels a short distance and only a small quantity of measured data is available.

When the present invention is applied to monitoring an elevator system, the correlation between the cab position located from the vibration spectrum included in the cab acceleration signal, and the cab speed can be clearly known, and the defects can be easily located.

Example 2

An unsteady signal analyzer embodying the present invention in Example 2 applied to a railroad car as a monitored object will be described hereinafter with reference to Fig.16 and 17. Sometimes, the railroad car generates abnormal vibrations and noise due to the rotation of the abraded wheels or the action of distorted or warped rails, which could be causes of deteriorating a riding comfort, making passengers unpleasant, and causing a railroad accident. The unsteady signal analyzer included in a defect detecting system for the railroad car will be described hereinafter.

Fig.16 is a block diagram of the unsteady signal analyzer and Fig. 17 is a view of assistance in explaining the disposition of the unsteady signal analyzer on the railroad car.

Referring to Fig. 16, the unsteady signal analyzer in Example 2 is provided, as the response data measuring means 1, with an acceleration sensor 30 and a sound sensor 31 disposed on a railroad car 32 as shown in Fig. 17. The output signals of the acceleration sensor 30 and the sound sensor 31 serving as the response data measuring means 1 are given to the wavelet transform calculating means 2. The wavelet transform calculating means 2 transforms the output signals of the acceleration sensor 30 and the sound sensor 31 into wavelet spectra.

The railroad car 32 is provided with a position sensor 33 and an encoder 34, as shown in Fig. 17. The position sensor 33 recognizes distance marks 35 set on the track. The encoder 34 is connected with the wheel of the railroad car 32 to detect the rotating of the wheel.

As shown in Fig. 16, the unsteady signal analyzer is provided with a speed-and-position detecting means 36 which determines the traveling speed and the position, i.e., specific properties, of the train on the basis of signals provided by the position sensor 33 and the encoder 34, and produces time-position data or time-speed data. The time-position data or the time-speed data is stored in the time-state conversion table 4.

The wavelet spectrum calculated by the wavelet transform calculating means 2 is given to the time coordinate nonlinear transformation means 3. The time coordinate nonlinear transformation means 3 transforms the time coordinate of the wavelet spectrum into a position coordinate or a speed coordinate on the basis of the time-position data or the time-speed data to produce an extended wavelet spectrum.

The result of transformation made by the time coordinate nonlinear transformation means 3 is given to the defect detecting means 8. The defect detecting means 8 examines the result of transformation to decide whether or not there is any defect in the railroad car 32.

When determining the condition of the railroad car 32

by one operating condition determining means, the defect detecting means 8 compares the extended wavelet spectrum with respect to position and frequency with a reference extended wavelet spectrum obtained previously under a normal condition, decides that something is wrong with the rail if the difference between the extended wavelet spectrum and the reference extended wavelet spectrum is not smaller than a threshold, and locates a defect on the rail.

When determining the condition of the railroad car 32 by another operating condition determining means, the defect detecting means 8 examines the condition of the railroad car 32 by comparing the extended wavelet spectrum with respect to speed and frequency with a reference extended wavelet spectrum obtained previously under a normal condition, and decides that something is wrong with the wheels of the railroad car 32 if the difference between the extended wavelet spectrum and the reference extended wavelet spectrum is not smaller than a threshold, and finds out a defective wheel.

The reference extended wavelet spectrum representing a normal operating condition, employed as a criterion for determining whether or not the operating condition of the railroad train 32 is normal, is produced beforehand on the basis of data representing the normal operating condition of the railroad car 32.

The result of examination made by the defect detecting means 8 is given to the defect information display means 9 (displaying and warning device). If anything wrong is found in the railroad car 32, the defect information display means 9 gives a warning to the operator. Information about the result of examination made by the defect detecting means 8 is transmitted by a cable or radio communication means 37 to a receiving means 38 installed in a train operation control center, and the information is displayed on a display means 7 installed in the train operation control center.

Although the unsteady signal analyzer in Example 2 is intended to carry out its functions in a real-time mode, the unsatisfactory signal analyzer may carry out its function in an off-line mode.

5 Although the unsteady signal analyzer in Example 2, i.e., a defect diagnosing system, is installed on the railroad car, the unsteady signal analyzer may be installed outside the railroad car, and the acceleration sensor 30 and the sound sensor 31 may be installed on the track.

10 Example 3

 An unsteady signal analyzer embodying the present invention in Example 3 used as a general-purpose defect diagnosing system for analyzing defects in an unspecific monitored object will be described hereinafter with
15 reference to Figs. 18 to 21. The unsteady signal analyzer in Example 3 is a portable analyzer or a portable defect diagnosing apparatus integrally provided with sensors, arithmetic means and displaying means.

 Fig. 18 is a perspective view of the unsteady signal
20 analyzer 40, i.e., a general-purpose defect diagnosing apparatus, in Example 3, and Fig. 19 is a block diagram showing the internal configuration of the unsteady signal analyzer 40. Referring to Figs. 18 and 19, the unsteady
25 signal analyzer 40 has a display unit 41 for displaying an extended wavelet spectrum obtained through analysis. The display unit 41 allows the operator to specify a specific region on the screen thereof by a pointing device 42, such as an electronic pen or a mouse.

 The unsteady signal analyzer 40 is provided with an
30 internal acceleration sensor 43, i.e., a response data measuring means, and an external signal input terminal 44. An acceleration signal provided by the acceleration sensor 43 and an external signal received through the external signal input terminal 44 are transferred to an internal
35 central processing unit (CPU) 45. Information provided by sensors are stored in a storage device 46 connected to the CPU 45. The CPU 45 carries out operations for extended

wavelet transform.

Fig. 20 shows, by way of example, an extended wavelet spectrum displayed on the screen of the display unit 41, in which the specific state variable, such as the position or the speed of the monitored object, is measured on the horizontal axis, frequency is measured on the vertical axis, and the magnitude of power of the extended wavelet spectrum is represented by contour lines. The magnitude of power of the extended wavelet spectrum may be represented by colors.

The operator operates the pointing device 42, such as an electronic pen or a mouse, to demarcate a specific region of an optional shape to be subjected to diagnosis by lines on the screen. Then, data represented by the demarcated region of the extended wavelet spectrum is extracted and the extracted data is subjected to a defect detecting procedure. The defect detecting process may be carried out on an assumption that the values of portions of the extended wavelet spectrum in regions on the screen other than the demarcated region are zero.

The defect detecting procedure to be carried out after the demarcation of the region will be explained with reference to Fig. 21, in which indicated at 47 is a region specifying means including the pointing device 42, and at 48 is a data extracting means for extracting the data representing the demarcated region of the extended wavelet spectrum or for setting portions of the extended wavelet spectrum in regions on the screen other than the demarcated region to zero.

The thus processed data is given to the defect detecting means 8, and then the defect detecting means 8 carries out operations expressed by Expressions (12) and (13) to decide whether or not there is any defect in the monitored object. The display means 7 displays the results of decision made by the defect detecting means 8. The display unit 41 may be used as the display means 7.

Since a portion of the extended wavelet spectrum

displayed by the display unit 41 can be specified and extracted by the region specifying means 47 and the data extracting means 48, the operator is able to specify a portion of the extended wavelet spectrum displayed by the display unit 41, having features distinct from those of a normal condition to analyze only the specified portion by the defect detecting means 8. Accordingly, defect detection can be achieved in an improved accuracy without being affected by noise, disturbances and other factors included in regions other than the specified region.

As is apparent from the foregoing description, the unsteady signal analyzer according to the present invention is capable of surely detecting defects in the monitored object through the determination of the dependence of the variation of frequency on the specific state variable of the monitored object, and the correlation between the specific state variable and the variation of the frequency.

Second Embodiment

A recording medium storing an unsteady signal analyzing program in a preferred second embodiment according to the present invention will be described with reference to Figs. 22 and 23.

The recording medium storing an unsteady signal analyzing program in the second embodiment is a computer readable recording medium.

The unsteady signal analyzing program makes the computer exercise the functions of the wavelet transform calculating means 2, the time coordinate nonlinear transformation means 3, and the state variation function setting means, namely the time-state conversion table 4 and the state estimating means 6.

The unsteady signal analyzing program can include an additional program which make the computer exercise the function of the defect detecting means 8.

The analyzing steps performed by the program of this embodiment are the same as the steps of the aforesaid first embodiment and its modification, and the aforesaid examples.

1 to 3 of the first embodiment.

Fig. 22 is a perspective view of a computer system which is used to read the unsteady signal analyzing program stored in the recording medium in the second embodiment according to the present invention. The program stored in the recording medium of this embodiment is read by recording medium drive means incorporated in the computer system 50 as shown in Fig. 22 to be used for analyzing an unsteady signal.

As shown in Fig. 22, the computer system 50 comprises a computer body 51 accommodated in a casing, such as a minitower or the like, display means 52, such as a CRT (Cathode Ray Tube), a plasma display, LCD (Liquid Crystal Display) or the like, a printer 53 as record output means, a keyboard 54a and a mouse 54b as input means, flexible disk drive means 56 and a CD-ROM drive means 57.

Fig. 23 is a block diagram of the computer system which is used to read the unsteady signal analyzing program stored in the recording medium in the second embodiment. The casing accommodating the computer body 51 further accommodates an internal memory 55, such as a RAM (Random Access Memory) or the like, and an external memory, such as a hard disk drive unit 58 or the like.

As shown in Fig. 22, the flexible disk 61 recording the analyzing program is inserted into a slot of the flexible disk drive means 56 and is read based on a proper application program. The recording medium is not limited to the flexible disk 61 and may be a CD-ROM (Read Only Memory) 62. The recording medium may be a MO (Magneto Optical) disk, an optical disk, a DVD (Digital Versatile Disk), card memory, magnetic tape or others which are not shown.

Industrial Applicability

The unsteady signal analyzer and the recording medium storing unsteady signal analyzing program according to the present inventions are widely applicable to analyze an

unsteady state of a monitored object, such as an elevator or a railroad car, by getting the correlation and the causal relationship between the specific state variable of the monitored object and the frequency changes.



THIS SHEET HAS BEEN
REPLACED

CLAIMS

1. An unsteady signal analyzer for analyzing an unsteady signal generated by a monitored object, comprising:

 wavelet transform calculating means for producing a wavelet spectrum data through a wavelet transform of the unsteady signal;

 state variation function setting means for setting a state variation function representing a variation of a specific state variable of the monitored object with time; and

 time coordinate nonlinear transformation means for transforming a time coordinate of the wavelet spectrum data nonlinearly into a coordinate of the specific state variable by using an inverse function of the state variation function set by the state variation function setting means.

2. An unsteady signal analyzer for analyzing an unsteady signal representing an acceleration of a cab included in an elevator as a monitored object, comprising:

 wavelet transform calculating means for producing a wavelet spectrum data through a wavelet transform of the unsteady signal representing a measured acceleration of the cab;

 state variation function setting means for setting a state variation function representing a variation of vertical position or vertical speed as a state variable of the cab with time; and

 time coordinate nonlinear transformation means for transforming a time coordinate of the wavelet spectrum data nonlinearly into a coordinate of the vertical position or the vertical speed by using an inverse function of the state variation function set by the state variation function setting means.

3. The unsteady signal analyzer according to claim 1 or 2, wherein the time coordinate nonlinear transformation means transforms the time coordinate of the wavelet





spectrum data nonlinearly into the coordinate of the specific state variable by using following expression:

$$wt(a,b) = \int_{z(-\infty)}^{z(\infty)} \frac{1}{\sqrt{|a|}} \phi\left(\frac{t(z-b)}{a}\right) x(t(z)) \frac{dt(z)}{dz} dz$$

which is expressing an extended wavelet transform.

4. The unsteady signal analyzers according to claim 1 or 2, wherein the time coordinate nonlinear transformation means divides the wavelet spectrum data with respect to time into data segments, rearranges the data segments in order of magnitude of the state variable on the basis of a data table showing the relation between time and the state variable, or the state variation function, and estimates intermediate values of the data segments by interpolation and smoothing techniques, so as to transform the time coordinate of the wavelet spectrum data nonlinearly into the coordinate of the specific state variable.

5. The unsteady signal analyzer according to any one of claims 1 to 4 further comprising a response data measuring means for measuring the unsteady signal.

6. The unsteady signal analyzers according to any one of claims 1 to 5, wherein the state variation function setting means estimates the state variation function on the basis of measured data on a state variable of the monitored object other than the specific state variable.

7. The unsteady signal analyzer according to claim 6, wherein the measured data on the state variable of the monitored object other than the specific state variable is measured data on the unsteady signal.

8. The unsteady signal analyzer according to claim 6 or 7, wherein the state variation function setting means estimates the state variation function through an estimation of a variation of the specific state variable with time on the basis of the measured data on the state variable of the monitored object other than the specific





THIS SHEET HAS BEEN
REPLACED

state variable by using a state observer system based on a dynamic characteristic model of the monitored object or a Kalman filter.

9. The unsteady signal analyzer according to any one of claims 1 to 5, wherein the state variation function setting means determines the state variation function on the basis of measured data on the specific state variable.

10. The unsteady signal analyzer according to any one of claims 1 to 5, wherein the state variation function used by the state variation function setting means is determined beforehand.

11. The unsteady signal analyzer according to any one of claims 1 to 10 further comprising a display means for displaying the results of analysis made by the time coordinate nonlinear transformation means on a coordinate system indicating at least coordinates of the specific state variable and the frequency.

12. The unsteady signal analyzer according to claim 11 further comprising a defect detecting means for detecting a defect in the monitored object on the basis of the results of analysis made by the time coordinate nonlinear transformation means.

13. The unsteady signal analyzer according to claim 12 further comprising:

a region specifying means for specifying a specific region in the wavelet spectrum obtained as a result of analysis by the time coordinate nonlinear transformation means and displayed on the display means, and

a data extracting means for extracting data on a portion of the spectrum, in the specific region specified by the region specifying means, and sending the extracted data on the portion of the spectrum to the defect detecting means.

14. The unsteady signal analyzer according to claim 12 or 13, wherein a result of detection made by the defect detecting means is displayed on the display means.

15. The unsteady signal analyzer according to any one





of claims 12 to 14 further comprising a defect display means for displaying a result of detection made by the defect detecting means.

16. A recording medium storing an unsteady signal analyzing program defining a procedure for analyzing an unsteady signal generated by a monitored object, to be carried out by a computer, the unsteady signal analyzing program makes the computer exercise:

a wavelet transform calculating function of producing a wavelet spectrum data through a wavelet transform of the unsteady signal;

a state variation function setting function of setting a state variation function representing a variation of a specific state variable of the monitored object with time; and

a time coordinate nonlinear transformation function of transforming a time coordinate of the wavelet spectrum data nonlinearly into a coordinate of the specific state variable by using an inverse function of the state variation function.

17. The recording medium storing the unsteady signal analyzing program, according to claim 16, wherein the monitored object is an elevator, the unsteady signal is an acceleration signal representing the measured acceleration of a cab included in the elevator, and the specific state variable is vertical position or vertical speed of the cab.

18. The recording medium storing the unsteady signal analyzing program, according to claim 16 or 17, wherein the time coordinate nonlinear transformation function carries out the nonlinear transformation of the time coordinate of the wavelet spectrum data by using following expression:

$$wt(a,b) = \int_{z(-\infty)}^{z(\infty)} \frac{1}{\sqrt{|a|}} \phi\left(\frac{t(z-b)}{a}\right) x(t(z)) \frac{dt(z)}{dz} dz$$

which is expressing an extended wavelet transform.

19. The recording medium storing the unsteady signal



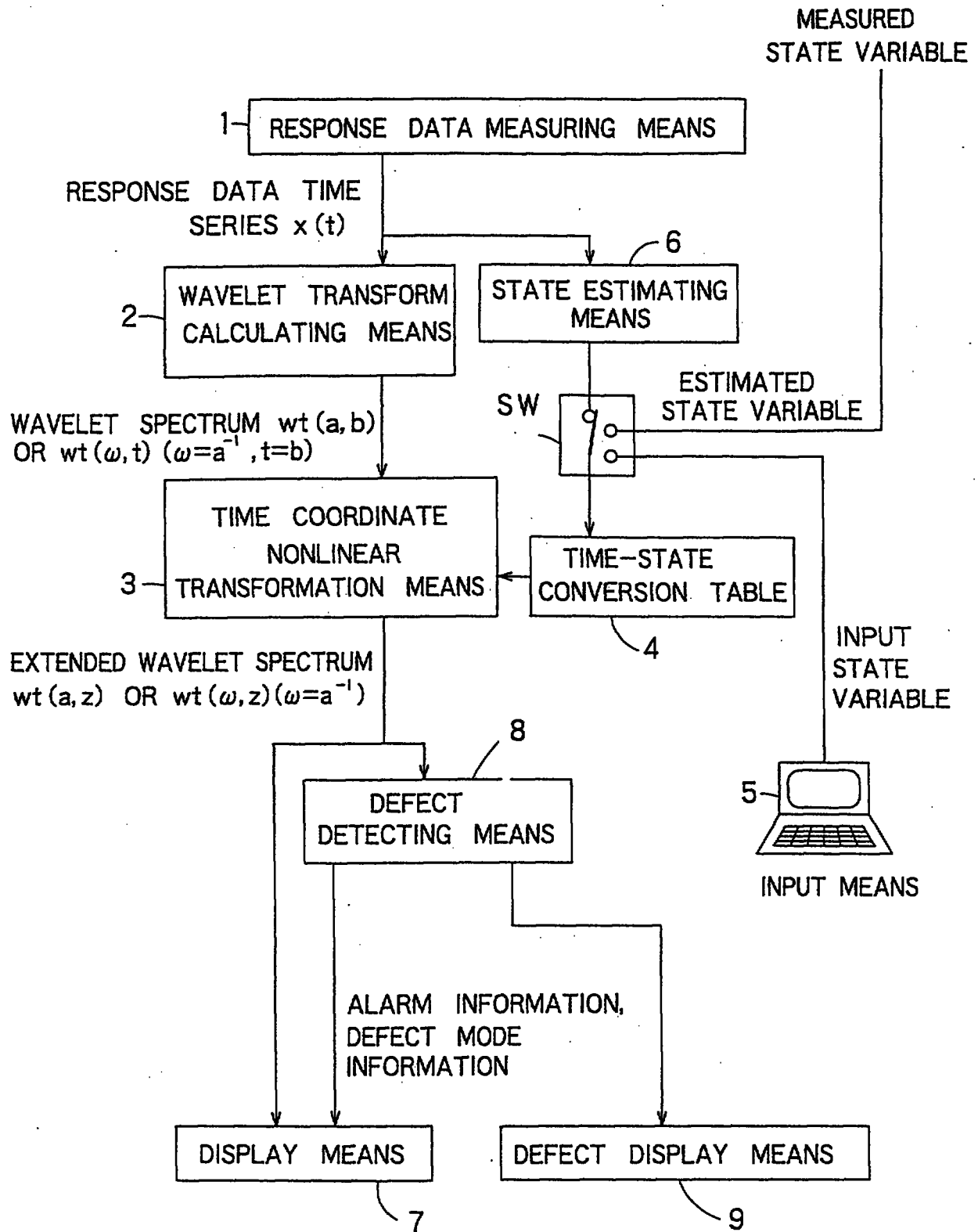


analyzing program, according to claim 16 or 17, wherein the time coordinate nonlinear transformation function divides the wavelet spectrum data with respect to time into data segments, rearranges the data segments in order of magnitude of the state variable on the basis of a data table showing the relation between time and the state variable, or the state variation function, and estimates intermediate values of the data segments by interpolation and smoothing techniques, so as to transform the time coordinate of the wavelet spectrum data nonlinearly into the coordinate of the specific state variable.



ABSTRACT

An unsteady signal analyzer for detecting a defect in a monitored object through the analysis of an unsteady signal generated by the monitored object has a wavelet transform calculating means for producing a wavelet spectrum data through a wavelet transform of the unsteady signal, a state variation function setting means for setting a state variation function representing a variation of a specific state variable of the monitored object with time, and a time coordinate nonlinear transformation means for transforming a time coordinate of the wavelet spectrum data nonlinearly into a coordinate of the specific state variable by using an inverse function of the state variation function.



F I G. 1

2 / 21

BASIS FUNCTION FOR FOURIER TRANSFORM

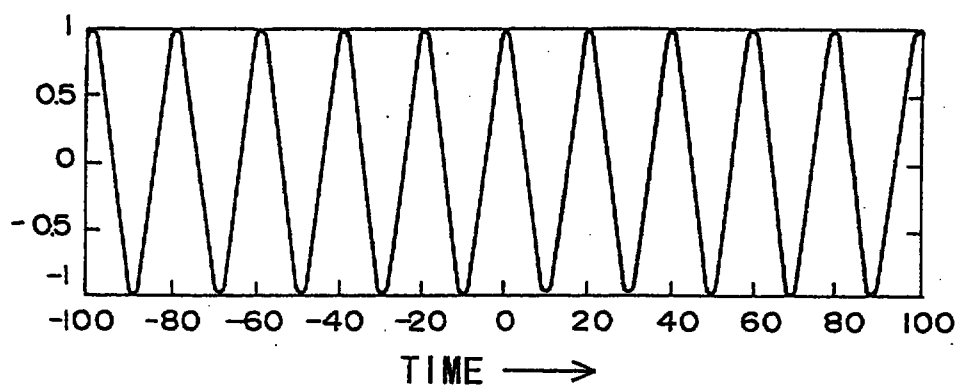


FIG. 2 a

POWER SPECTRUM OBTAINED BY FOURIER TRANSFORM

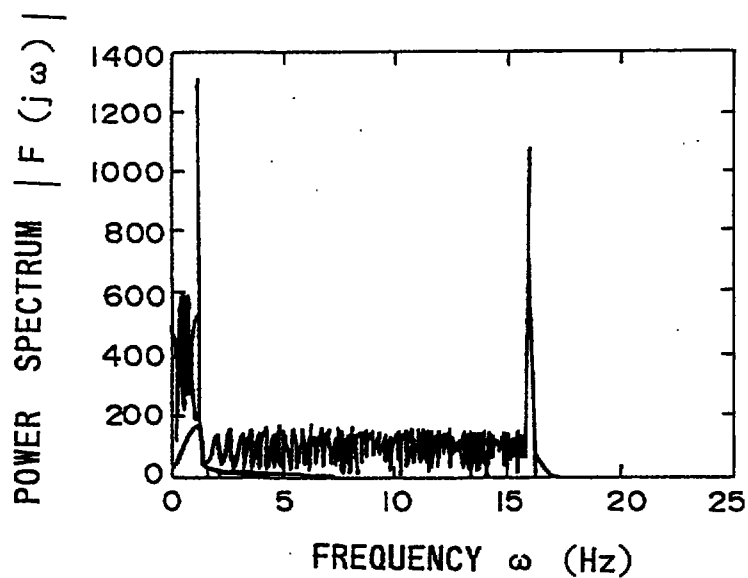


FIG. 2 b

BASIS FUNCTION FOR WAVELET TRANSFORM (GABOR FUNCTION)

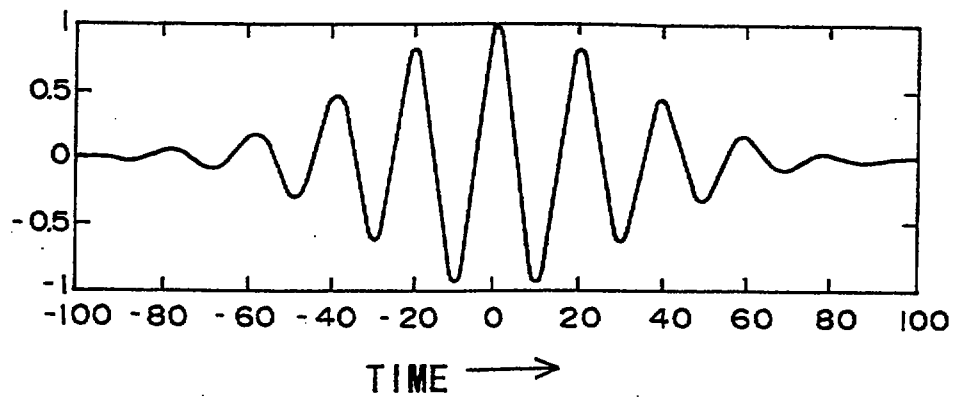


FIG. 3 a

WAVELET SPECTRUM OBTAINED BY WAVELET TRANSFORM

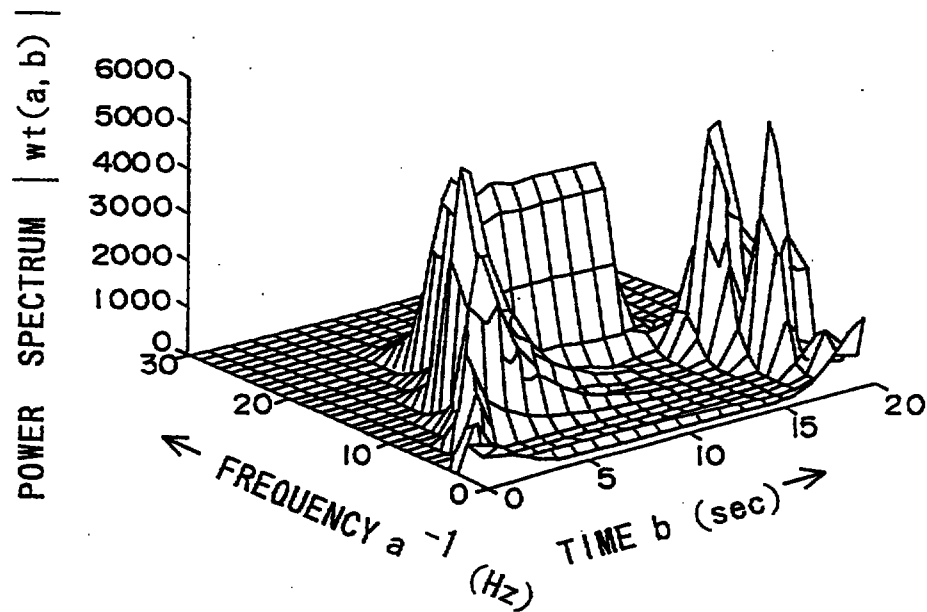
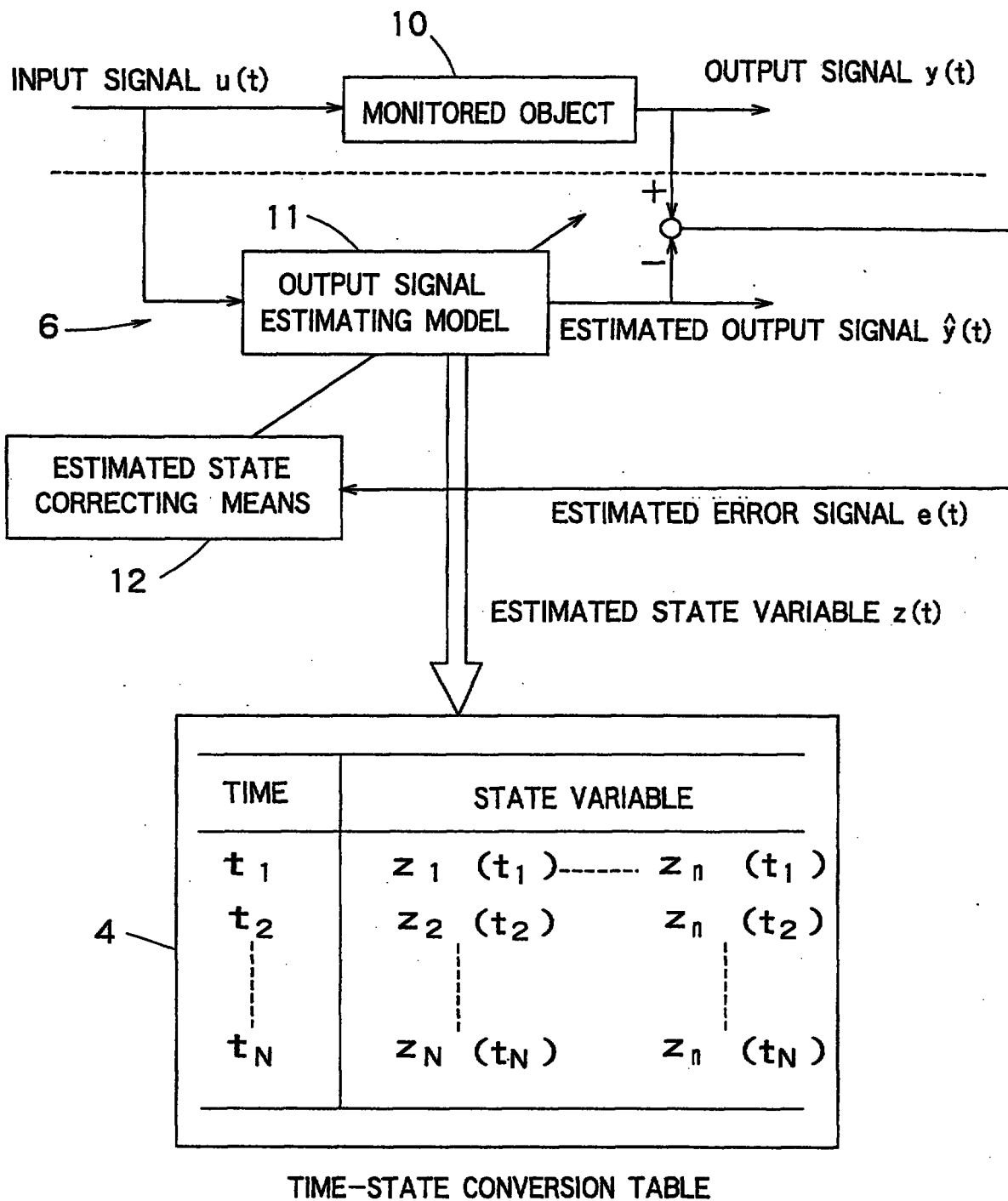


FIG. 3 b



F I G. 4

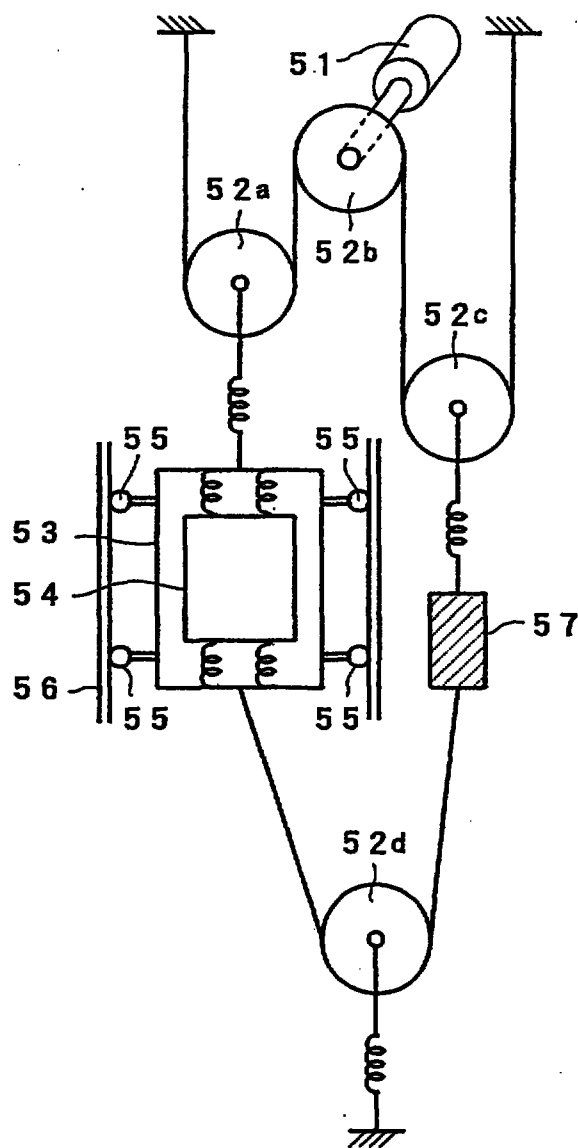


FIG. 5

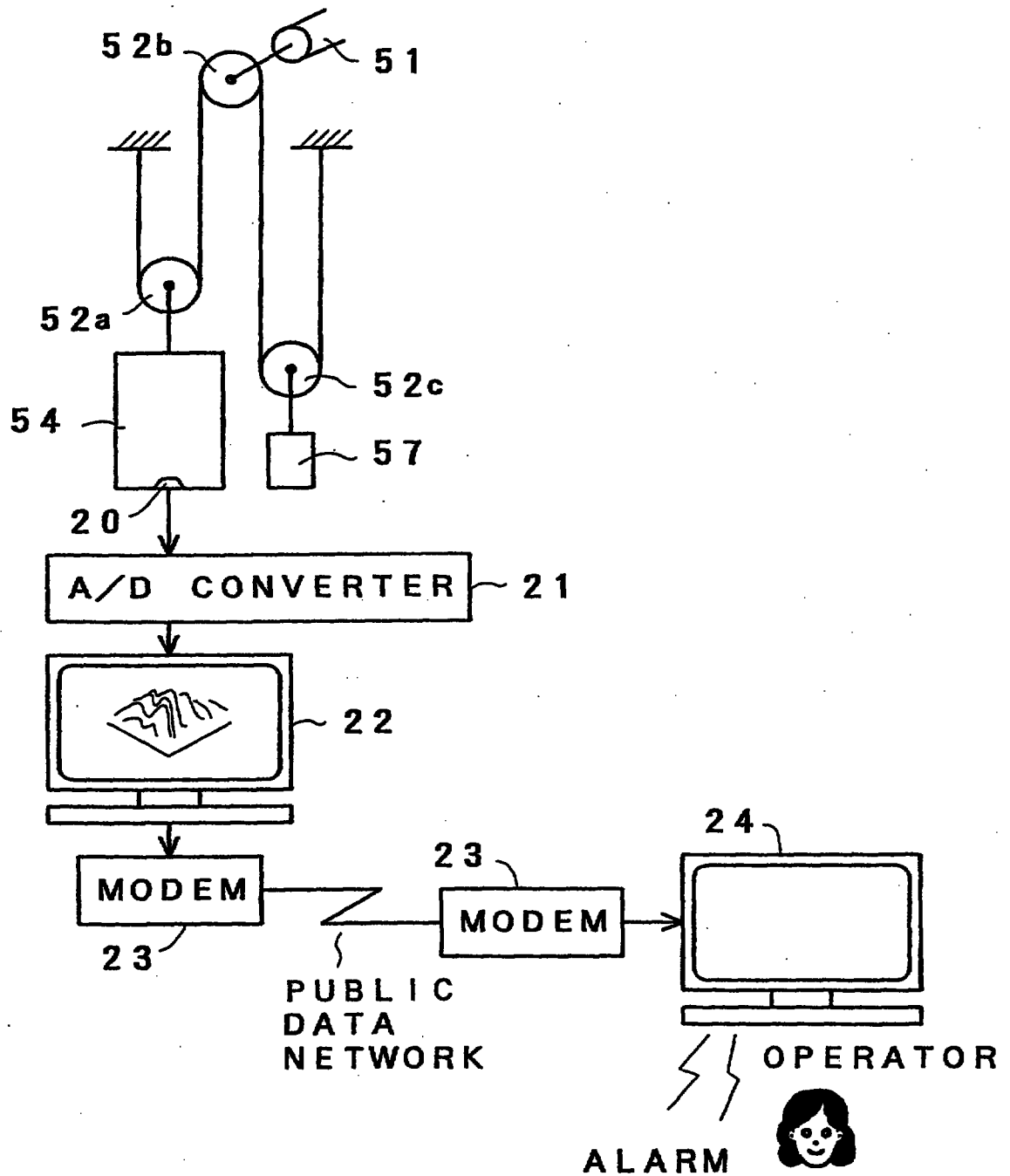


FIG. 6

7/21

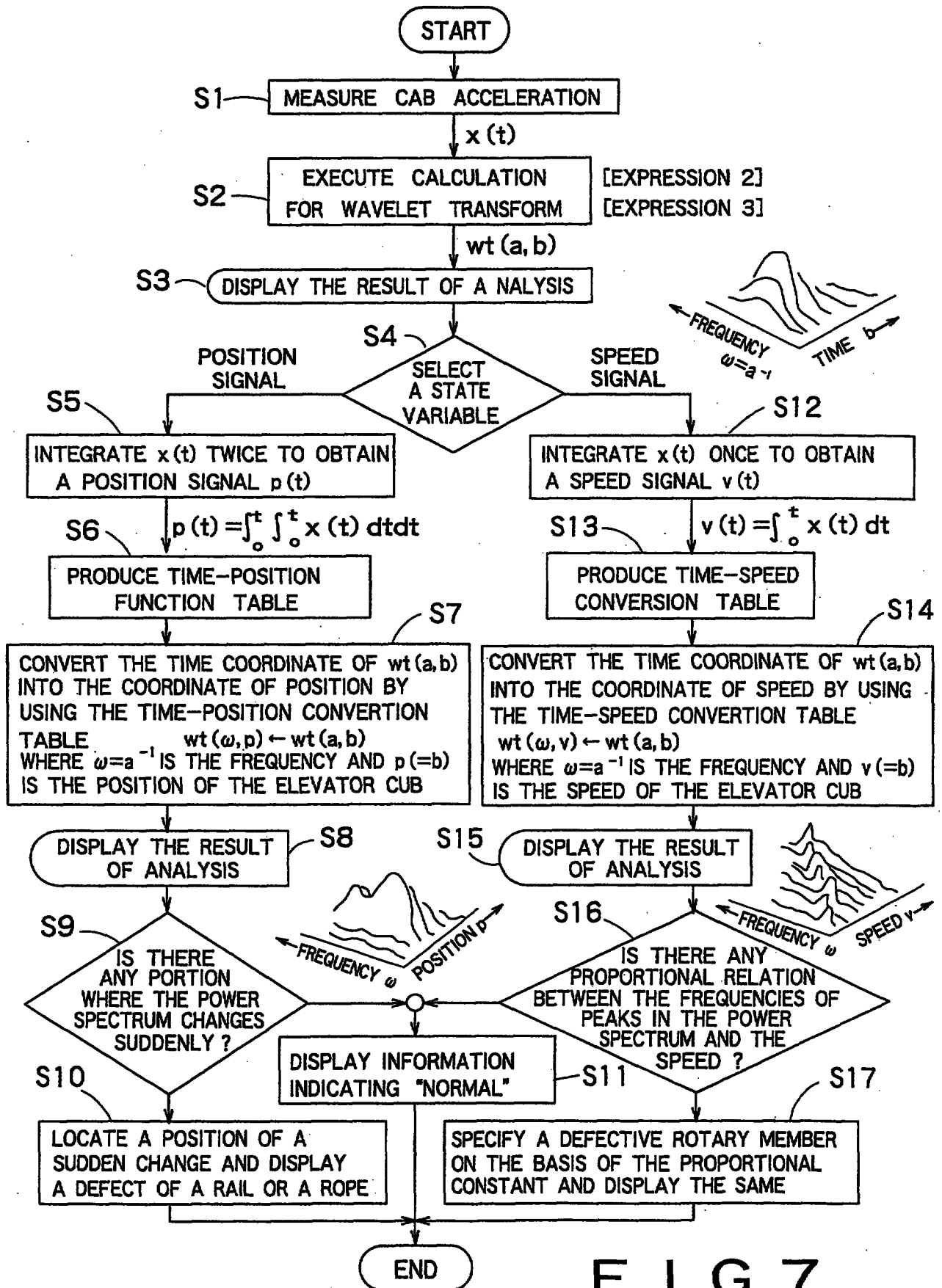


FIG. 7

8 / 21

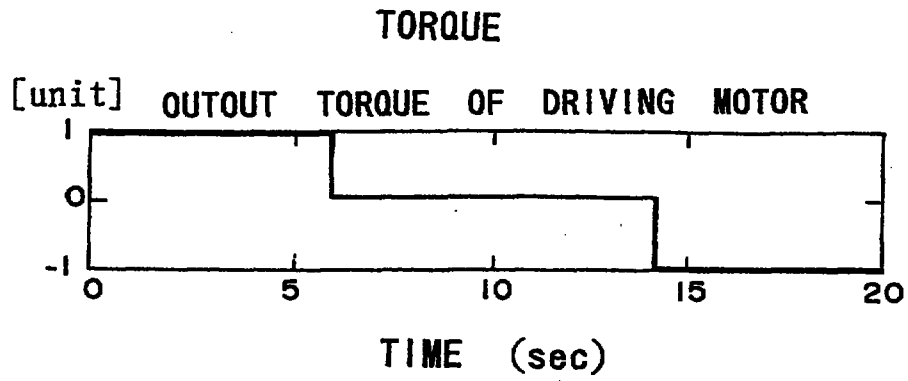


FIG. 8 a

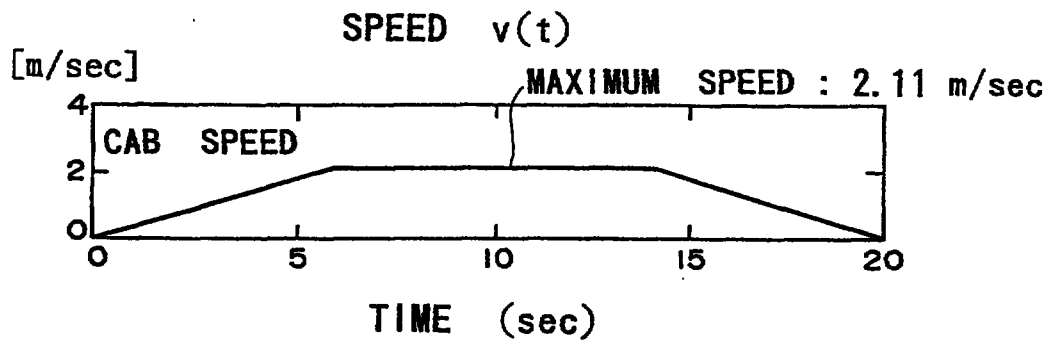


FIG. 8 b

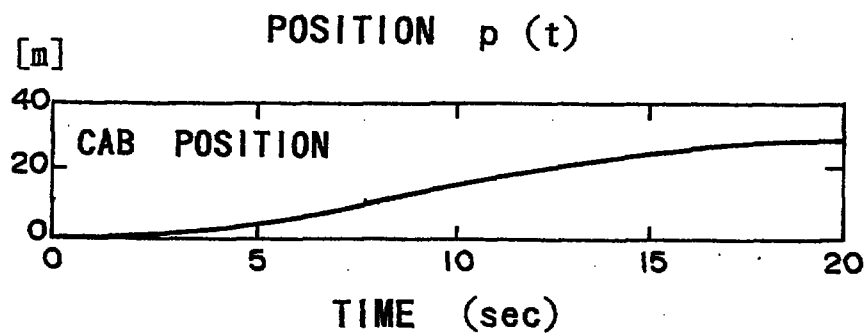


FIG. 8 c

9 / 21

ACCELERATION SIGNAL

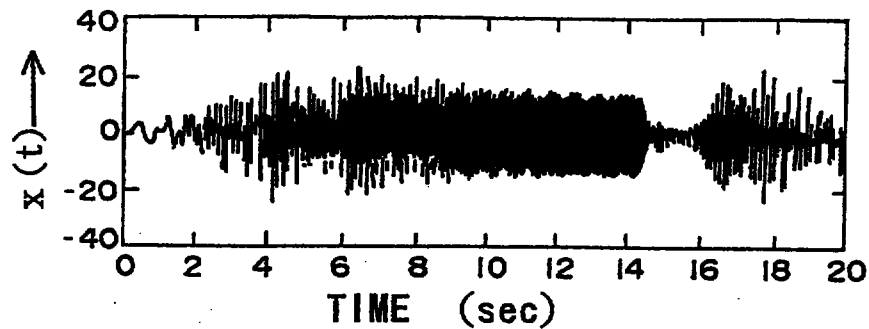


FIG. 9 a

VARIATION OF OUTPUT TORQUE ATTRIBUTABLE TO THE
ECCENTRICITY OF THE OUTPUT SHAFT OF THE MOTOR

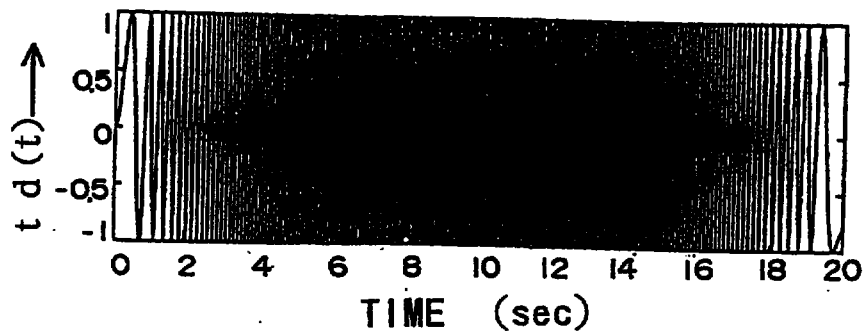


FIG. 9 b

POWER SPECTRUM OBTAINED THROUGH THE FOURIER
TRANSFORM OF THE ACCELERATION SIGNAL $x(t)$

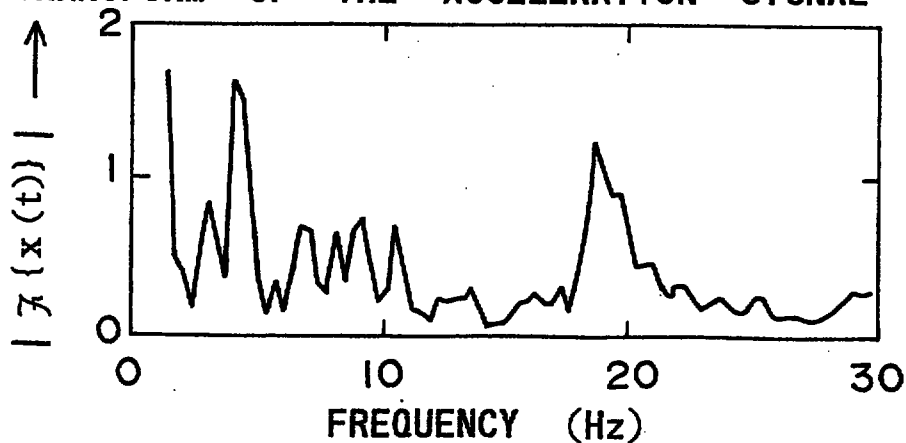


FIG. 9 c

10 / 21

TIME DEPENDENCE

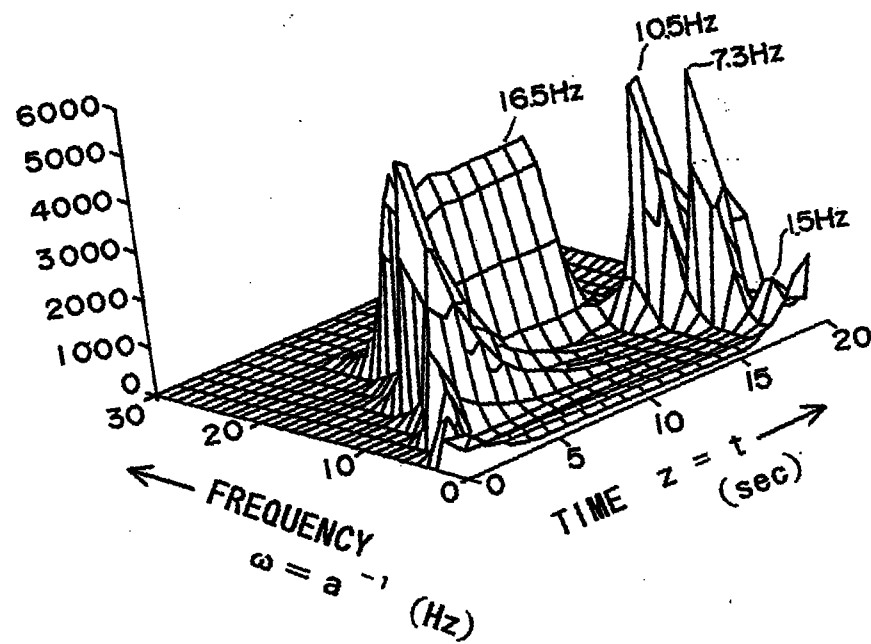


FIG. 10

11 / 21

SPEED DEPENDENCE

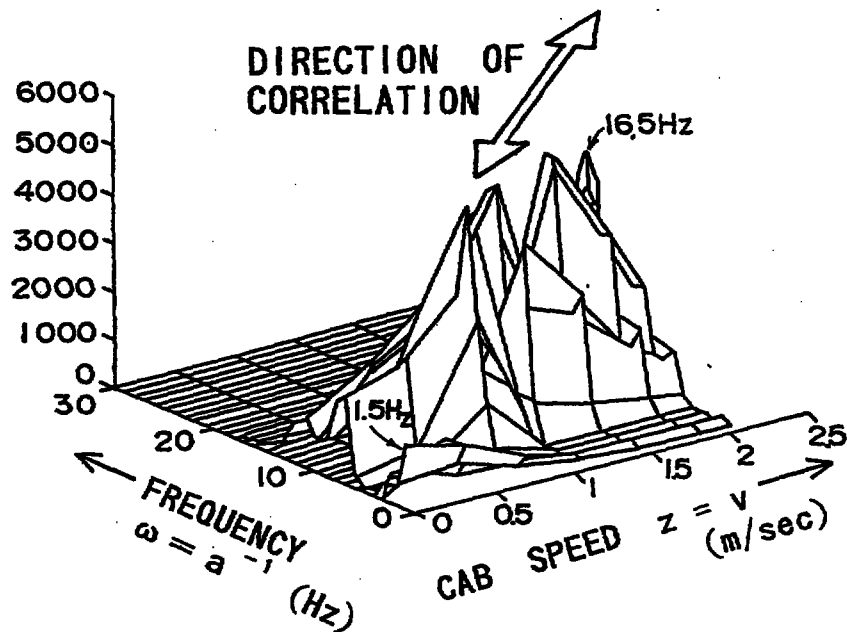


FIG. 11 a

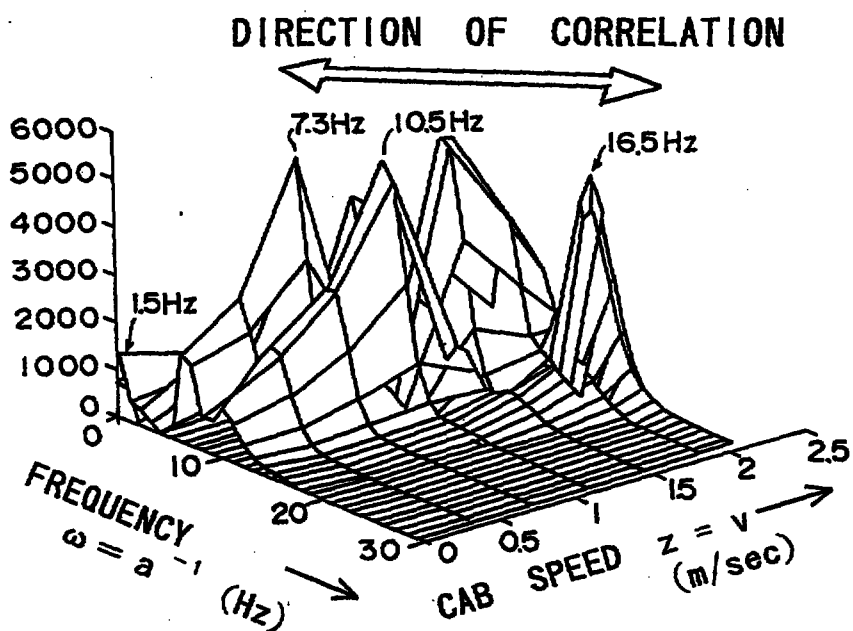


FIG. 11 b

POSITION DEPENDENCE

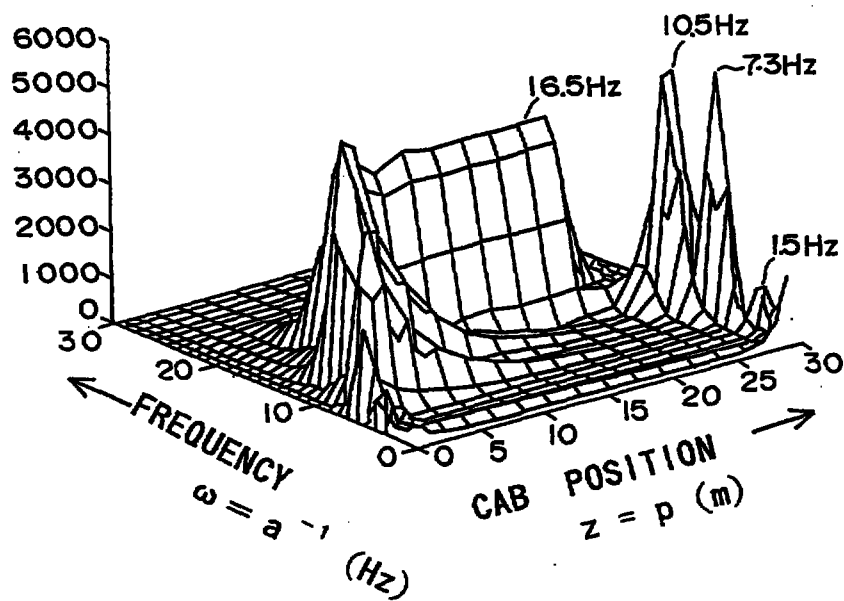


FIG. 12

13 / 21

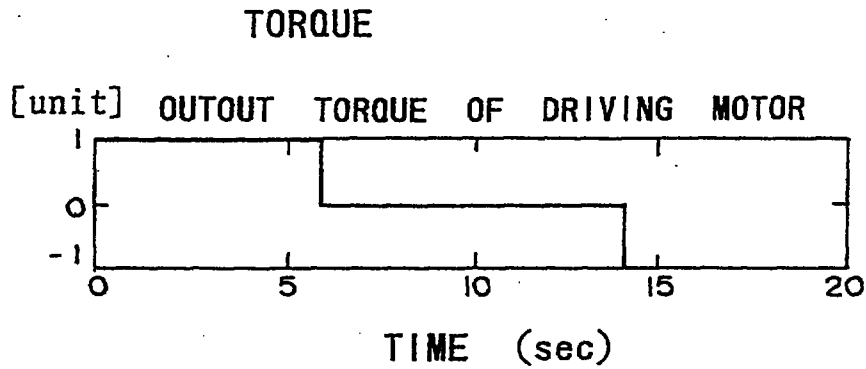


FIG. 13 a

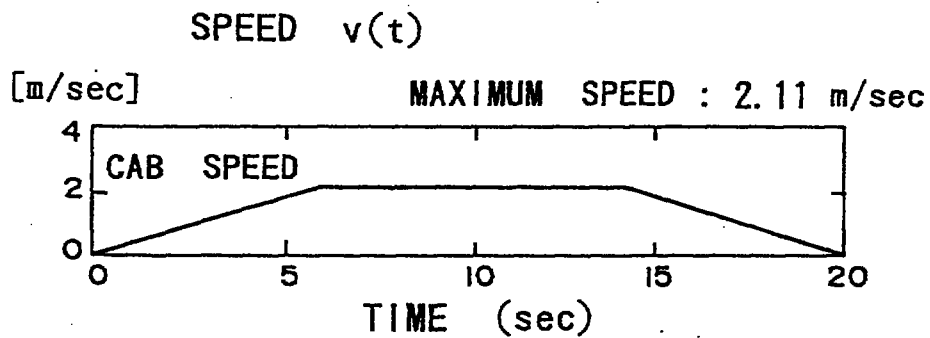


FIG. 13 b

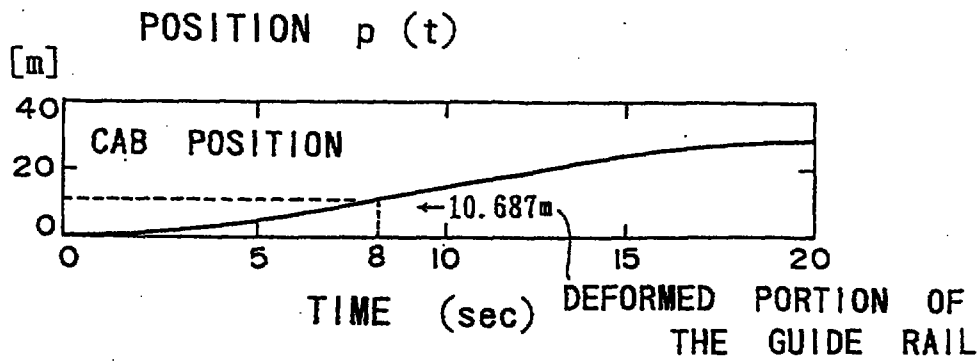


FIG. 13 c

14 / 21

ACCELERATION SIGNAL

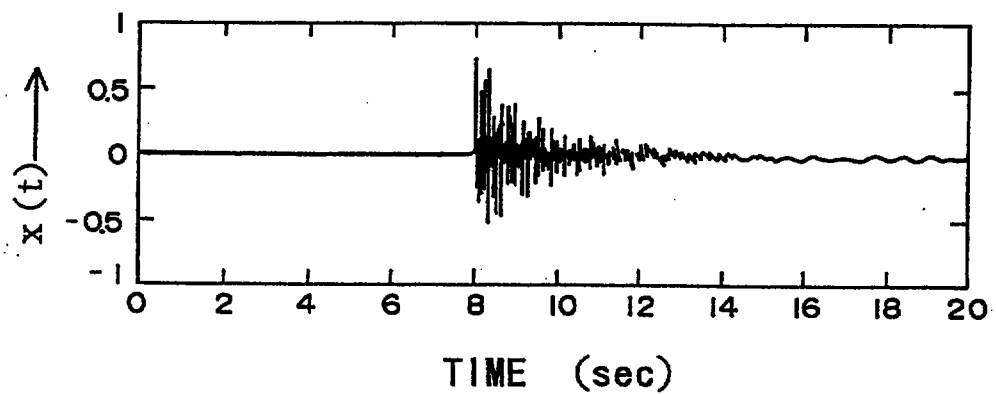


FIG. 14 a

POWER SPECTRUM OBTAINED THROUGH THE FOURIER
TRANSFORM OF THE ACCELERATION SIGNAL $x(t)$

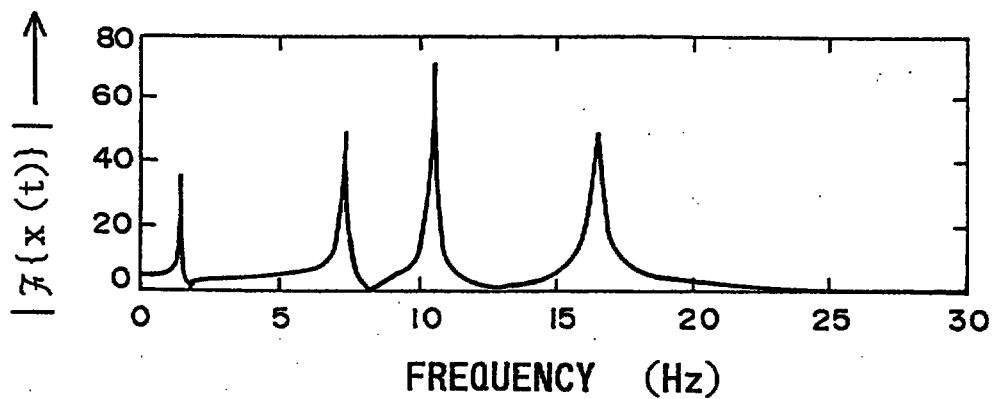


FIG. 14 b

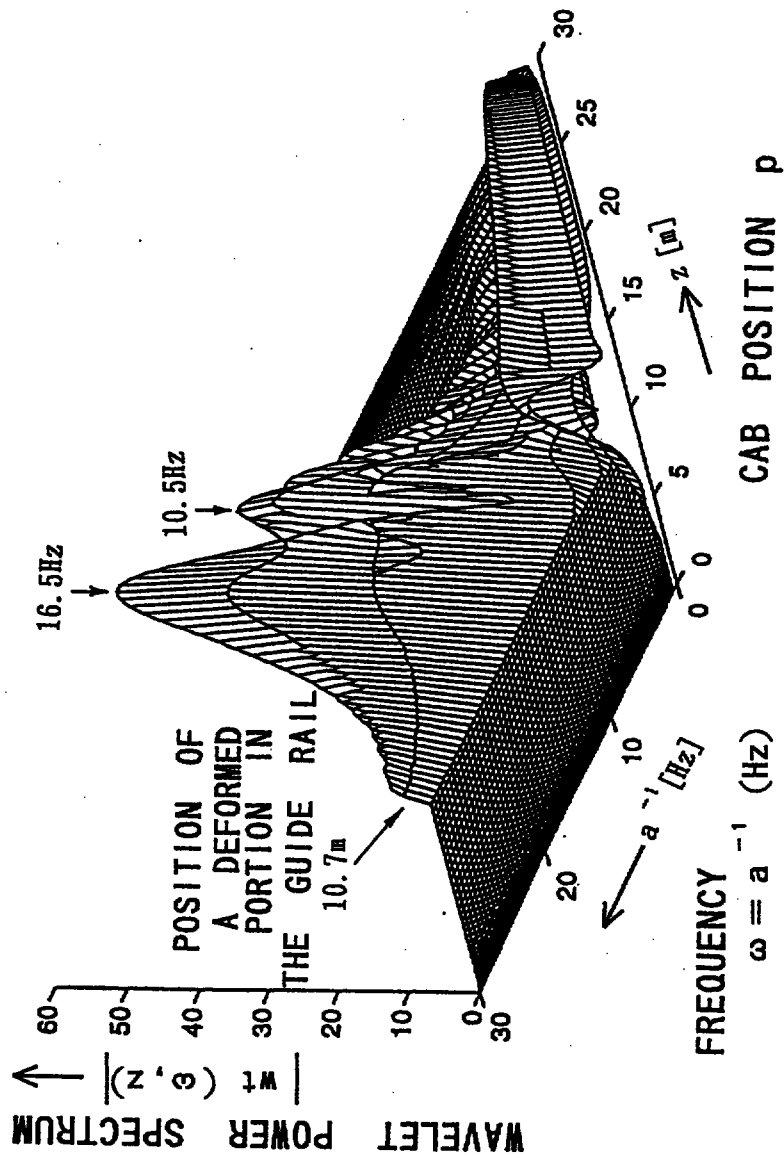


FIG. 15

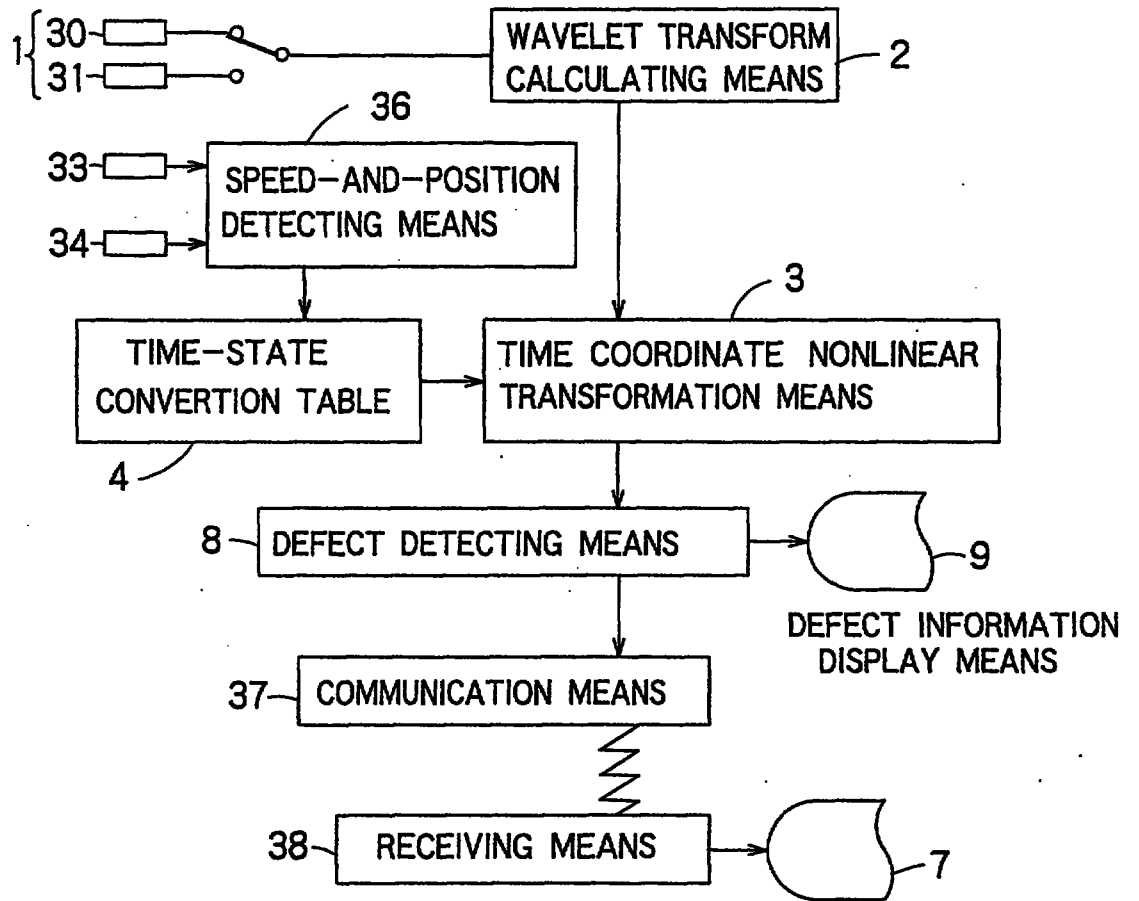


FIG. 16

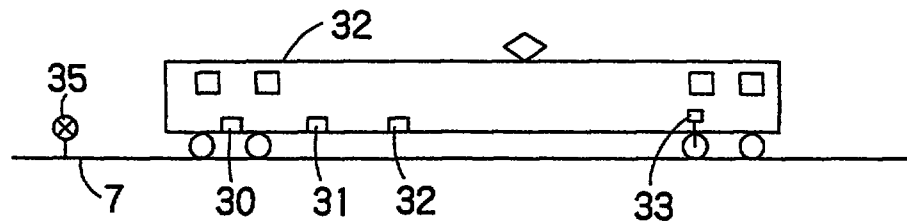


FIG. 17

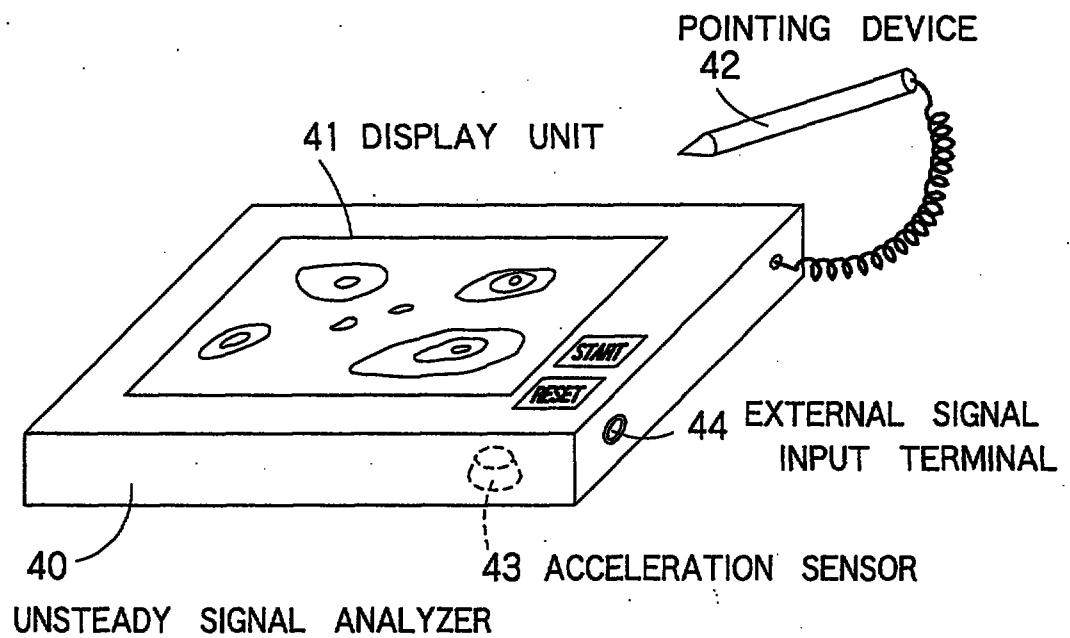


FIG. 18

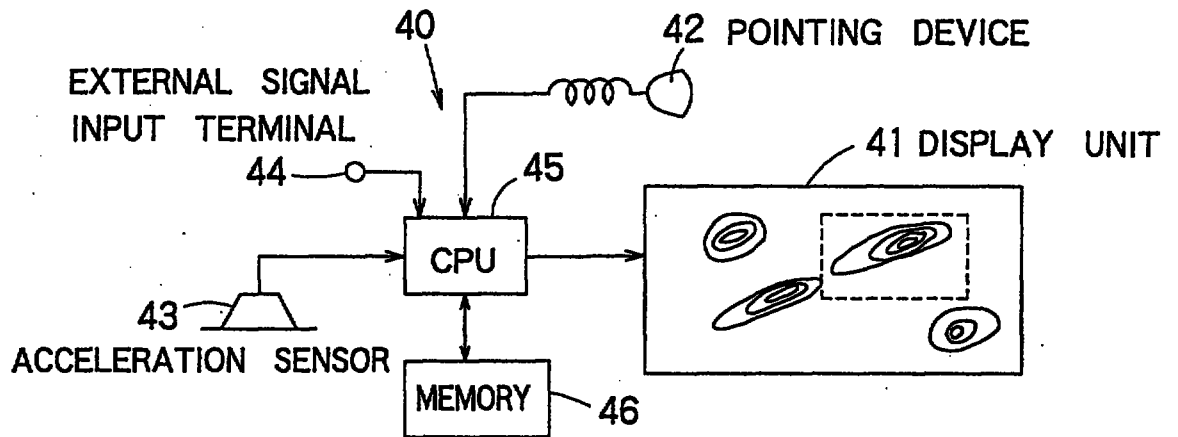


FIG. 19

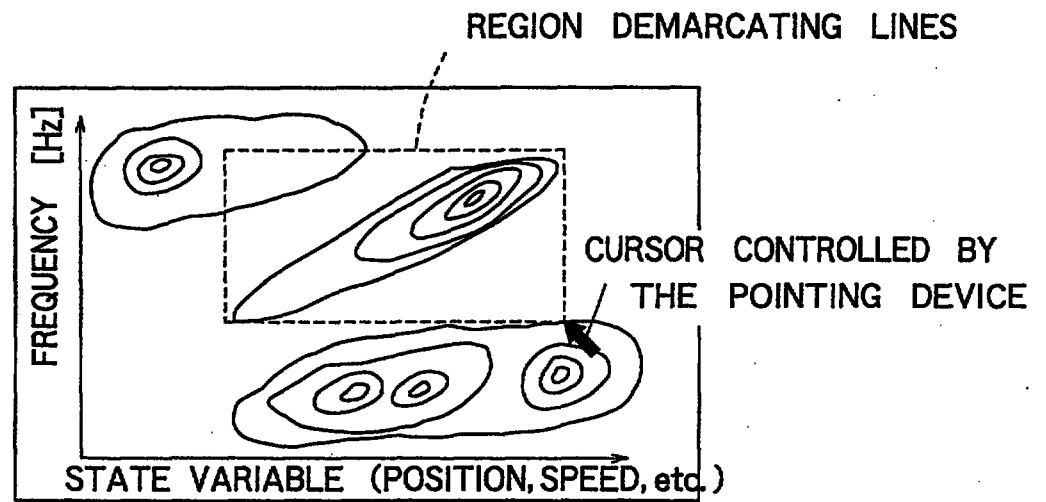


FIG. 20

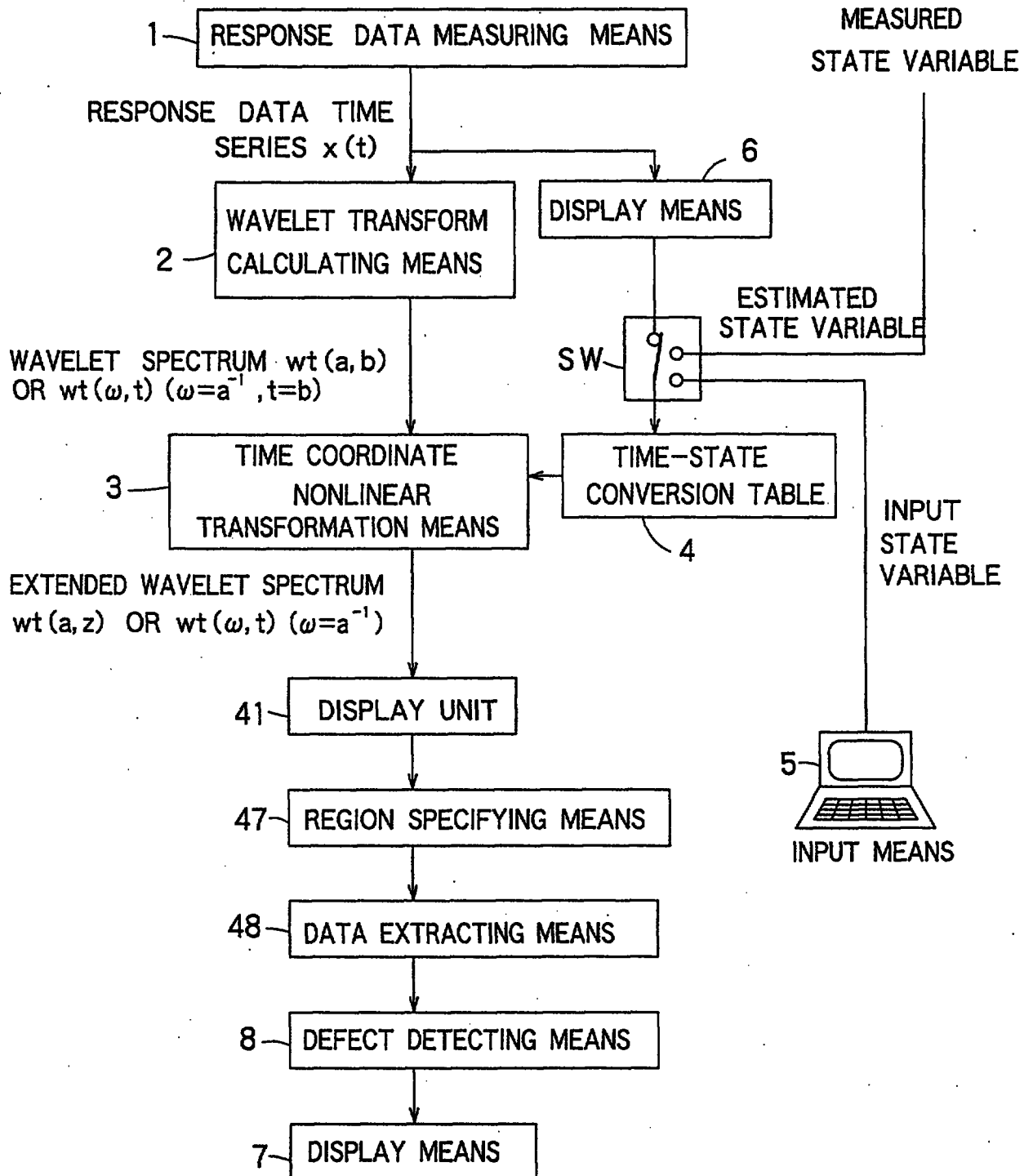


FIG. 21

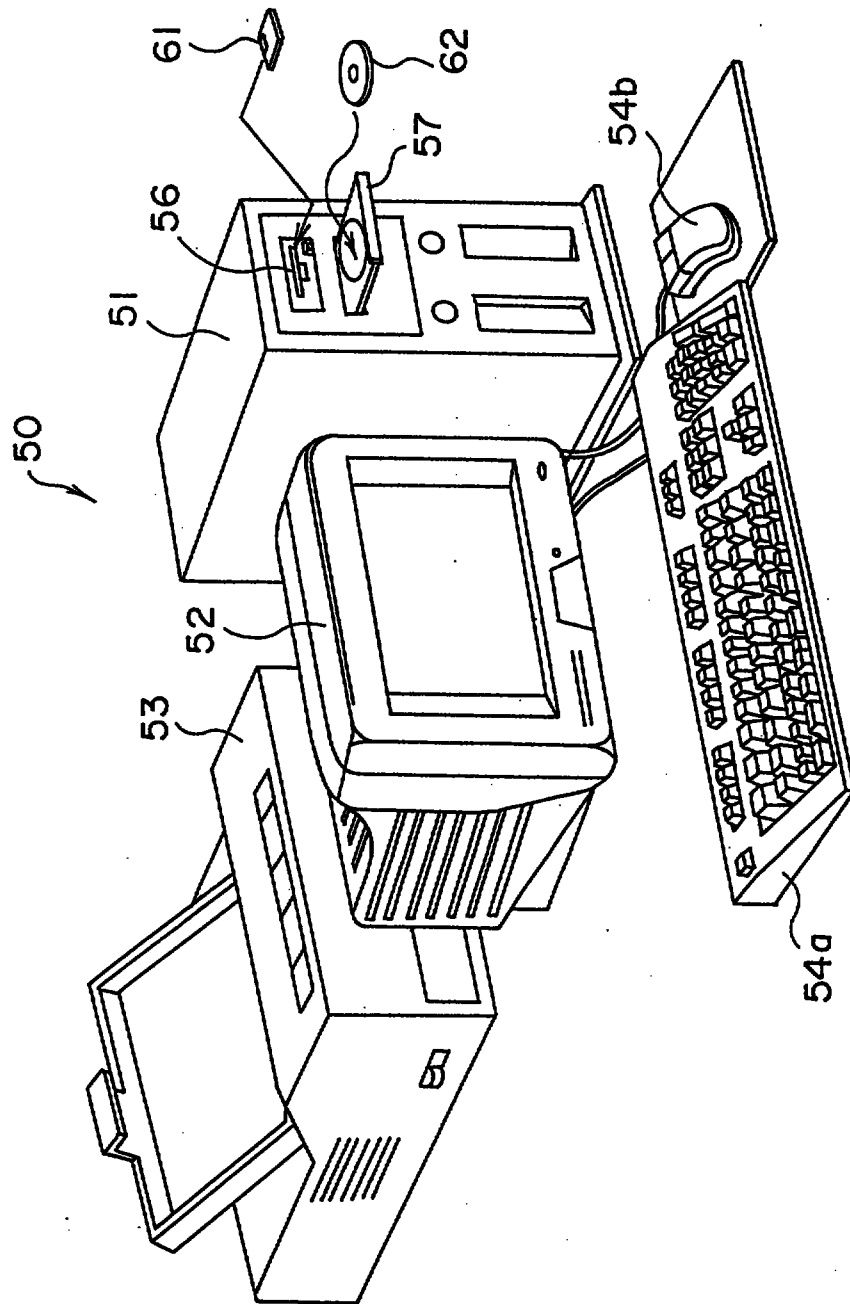


FIG. 22

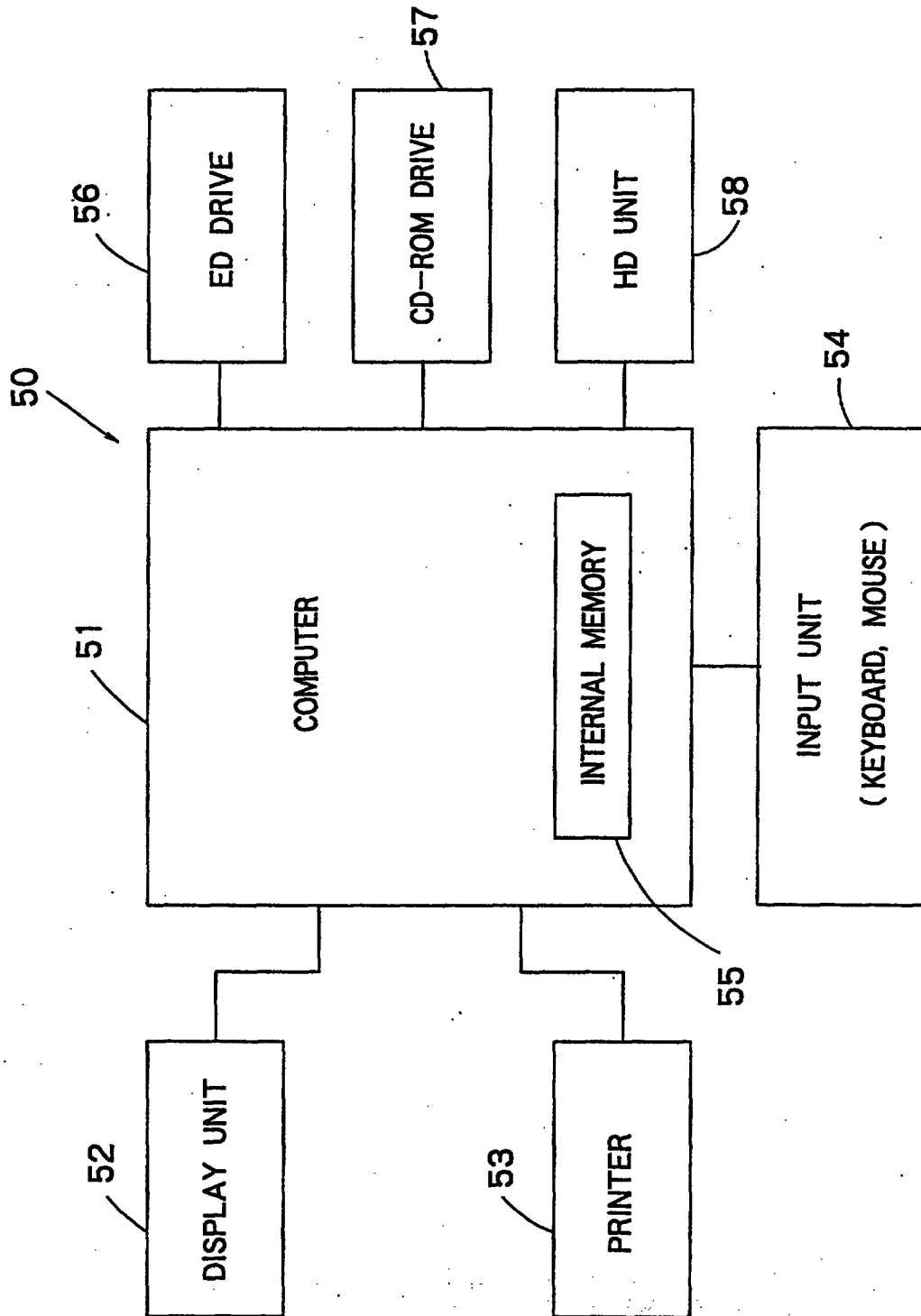
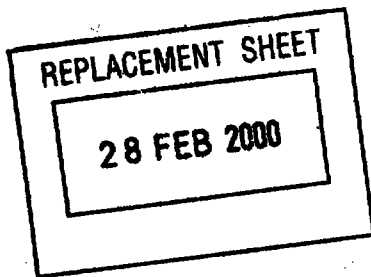


FIG. 23



9802606-5
1805'S

33

CLAIMS

1. An unsteady signal analyzer for analyzing an unsteady signal generated by a monitored object, comprising :

wavelet transform calculating means (2) for producing a wavelet spectrum data through a wavelet transform of the unsteady signal;

state variation function setting means for setting a state variation function representing a variation of a specific state variable of the monitored object with time; and

time coordinate nonlinear transformation means (3) for transforming a time coordinate of the wavelet spectrum data nonlinearly into a coordinate of the specific state variable by using an inverse function of the state variation function set by the state variation function setting means.

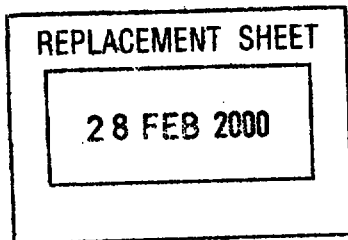
2. An unsteady signal analyzer for analyzing an unsteady signal representing an acceleration of a cab included in an elevator as a monitored object, comprising:

wavelet transform calculating means (2) for producing a wavelet spectrum data through a wavelet transform of the unsteady signal representing a measured acceleration of the cab;

state variation function setting means for setting a state variation function representing a variation of vertical position or vertical speed as a state variable of the cab with time; and time coordinate nonlinear transformation means (3) for transforming a time coordinate of the wavelet spectrum data nonlinearly into a coordinate of the vertical position or the vertical



AMENDED SHEET



speed by using an inverse function of the state variation function set by the state variation function setting means.

3. The unsteady signal analyzer according to claim 1 or 2, wherein the time coordinate nonlinear transformation means (3) transforms the time coordinate of the wavelet spectrum data nonlinearly into the coordinate of the specific state variable by using following expression:

$$wt(a,b) = \int_{z(-\infty)}^{z(\infty)} \frac{1}{\sqrt{|a|}} \phi\left(\frac{t(z-b)}{a}\right) x(t(z)) \frac{dt(z)}{dz} dz$$

which is expressing an extended wavelet transform.

4. The unsteady signal analyzers according to claim 1 or 2, wherein the time coordinate nonlinear transformation means (3) divides the wavelet spectrum data with respect to time into data segments, rearranges the data segments in order of magnitude of the state variable on the basis of a data table showing the relation between time and the state variable, or the state variation function, and estimates intermediate values of the data segments by interpolation and smoothing techniques, so as to transform the time coordinate of the wavelet spectrum data nonlinearly into the coordinate of the specific state variable.

5. The unsteady signal analyzer according to any one of claims 1 to 4 further comprising a response data measuring means (1) for measuring the unsteady signal.

6. The unsteady signal analyzers according to any one



28 FEB 2000

of claims 1 to 5, wherein the state variation function setting means estimates the state variation function on the basis of measured data on a state variable of the monitored object other than the specific state variable.

7. The unsteady signal analyzer according to claim 6, wherein the measured data on the state variable of the monitored object other than the specific state variable is measured data on the unsteady signal.

8. The unsteady signal analyzer according to claim 6 or 7, wherein the state variation function setting means estimates the state variation function through an estimation of a variation of the specific state variable with time on the basis of the measured data on the state variable of the monitored object other than the specific state variable by using a state observer system based on a dynamic characteristic model of the monitored object or a Kalman filter.

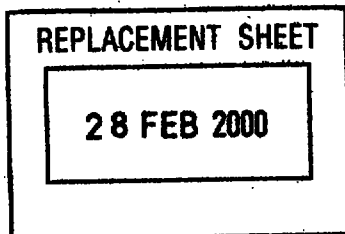
9. The unsteady signal analyzer according to any one of claims 1 to 5, wherein the state variation function setting means determines the state variation function on the basis of measured data on the specific state variable.

10. The unsteady signal analyzer according to any one of claims 1 to 5, wherein the state variation function used by the state variation function setting means is determined beforehand.

11. The unsteady signal analyzer according to any one of claims 1 to 10 further comprising a display means (7) for



AMENDED SHEET



displaying the results of analysis made by the time coordinate nonlinear transformation means (3) on a coordinate system indicating at least coordinates of the specific state variable and the frequency.

12. The unsteady signal analyzer according to claim 11 further comprising a defect detecting means (8) for detecting a defect in the monitored object on the basis of the results of analysis made by the time coordinate nonlinear transformation means (3).

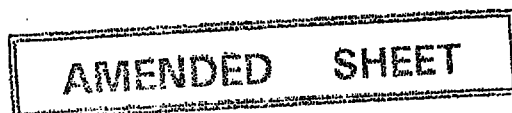
13. The unsteady signal analyzer according to claim 12 further comprising:

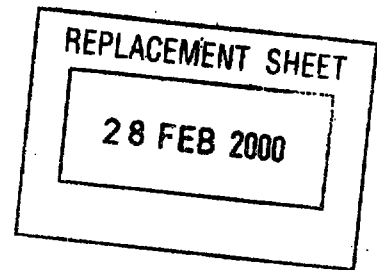
a region specifying means (47) for specifying a specific region in the wavelet spectrum obtained as a result of analysis by the time coordinate nonlinear transformation means (3) and displayed on the display means (7), and

a data extracting means (48) for extracting data on a portion of the spectrum, in the specific region specified by the region specifying means (47), and sending the extracted data on the portion of the spectrum to the defect detecting means.

14. The unsteady signal analyzer according to claim 12 or 13, wherein a result of detection made by the defect detecting means (8) is displayed on the display means (7).

15. The unsteady signal analyzer according to any one of claims 12 to 14 further comprising a defect display means (9) for displaying a result of detection made by the defect detecting means (8).





16. A recording medium storing an unsteady signal analyzing program defining a procedure for analyzing an unsteady signal generated by a monitored object, to be carried out by a computer, the unsteady signal analyzing program makes the computer exercise:

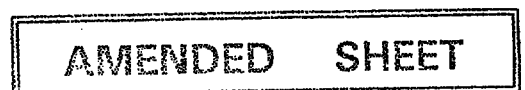
a wavelet transform calculating function of producing a wavelet spectrum data through a wavelet transform of the unsteady signal;

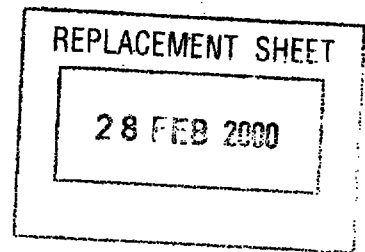
a state variation function setting function of setting a state variation function representing a variation of a specific state variable of the monitored object with time; and

a time coordinate nonlinear transformation function of transforming a time coordinate of the wavelet spectrum data nonlinearly into a coordinate of the specific state variable by using an inverse function of the state variation function.

17. The recording medium storing the unsteady signal analyzing program, according to claim 16, wherein the monitored object is an elevator, the unsteady signal is an acceleration signal representing the measured acceleration of a cab included in the elevator, and the specific state variable is vertical position or vertical speed of the cab.

18. The recording medium storing the unsteady signal analyzing program, according to claim 16 or 17, wherein the time coordinate nonlinear transformation function carries out the nonlinear transformation of the time coordinate of the wavelet spectrum data by using following expression:

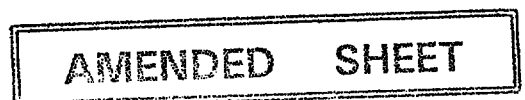




$$wt(a,b) = \int_{z(-\infty)}^{z(\infty)} \frac{1}{\sqrt{|a|}} \phi\left(\frac{t(z-b)}{a}\right) x(t(z)) \frac{dt(z)}{dz} dz$$

which is expressing an extended wavelet transform.

19. The recording medium storing the unsteady signal analyzing program, according to claim 16 or 17, wherein the time coordinate nonlinear transformation function divides the wavelet spectrum data with respect to time into data segments, rearranges the data segments in order of magnitude of the state variable on the basis of a data table showing the relation between time and the state variable, or the state variation function, and estimates intermediate values of the data segments by interpolation and smoothing techniques, so as to transform the time coordinate of the wavelet spectrum data nonlinearly into the coordinate of the specific state variable.



9802606-5
1PDS/C

PCT

世界知的所有権機関
国際事務局

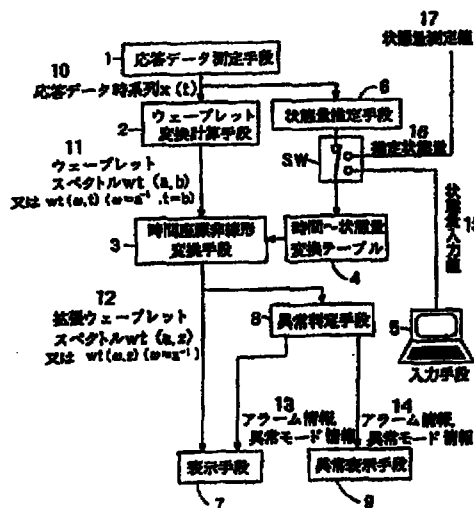
特許協力条約に基づいて公開された国際出願



(51) 国際特許分類6 G01M 19/00, G01D 21/00, G01P 15/00, B66B 3/00, 5/00	A1	(11) 国際公開番号 WO98/11417 (43) 国際公開日 1998年3月19日(19.03.98)
(21) 国際出願番号 PCT/JP97/03229 (22) 国際出願日 1997年9月12日(12.09.97) (30) 優先権データ 特願平8/291310 1996年9月13日(13.09.96) (71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) 株式会社 東芝(KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA)[JP/JP] 〒210 神奈川県川崎市幸区堀川町72番地 Kanagawa, (JP) 東芝エレベータテクノ株式会社 (TOSHIBA ELEVATOR TECHNOS CO., LTD.)(JP/JP) 〒141 東京都品川区北品川六丁目5番27号 Tokyo, (JP) (72) 発明者; および (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ) 飯野 穰(IINO, Yutaka)[JP/JP] 〒214 神奈川県川崎市多摩区生田三丁目10番12号 Kanagawa, (JP) 行友雅徳(YUKITOMO, Masanori)[JP/JP] 〒235 神奈川県横浜市磯子区汐見台3701 Kanagawa, (JP)	(74) 代理人 弁理士 佐藤一雄, 外(SATO, Kazuo et al.) 〒100 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 富士ビル323号 協和特許法律事務所 Tokyo, (JP) (81) 指定国 CH, CN, FI, KR, SG, US. 添付公開書類 国際調査報告書	

(54)Title: UNSTEADY SIGNAL ANALYZER AND MEDIUM FOR RECORDING UNSTEADY SIGNAL ANALYZER PROGRAM

(54)発明の名称 非定常信号解析装置及び非定常信号解析プログラムを記録した媒体



- 1 ... response data measuring means
- 2 ... wavelet conversion/calculation means
- 3 ... means for nonlinearly transforming time coordinates
- 4 ... time-state quantity conversion table
- 5 ... input means
- 6 ... means for estimating state quantity
- 7 ... indication means
- 8 ... abnormal condition determining means
- 9 ... abnormal condition indication means
- 10 ... response data time series $x(t)$
- 11 ... wavelet spectrum $wt(a,b)$ or $wt(a,t)(a=a^{-1}, t=b)$
- 12 ... expanded wavelet spectrum $wt(a,z)$ or $wt(a,z)(a=a^{-1}, z=b)$
- 13 ... alarm data, abnormal mode data
- 14 ... alarm data, abnormal mode data
- 15 ... input value of state quantity
- 16 ... estimated state quantity
- 17 ... measured state quantity

(57) Abstract

A device for analyzing unsteady signals generated from a monitored object (10), comprising a wavelet conversion/calculation means (2) for preparing wavelet spectral data by subjecting unsteady signals to a wavelet conversion, means (4, 6) for setting a function of a change of state quantity representing a change with time in a particular state quantity in the monitored object (10), and means (3) for nonlinearly transforming time coordinates of wavelet spectral data into coordinates of a particular state quantity relying on an inverse function of the function of a change of state quantity.

(57) 要約

監視対象(10)から発生する非定常信号を解析するための非定常信号解析装置である。非定常信号をウェーブレット変換してウェーブレットスペクトルデータを作成するウェーブレット変換計算手段(2)を有する。監視対象(10)における特定の状態量の時間変化を表した状態量変化関数を設定する状態量変化関数設定手段(4、6)を有する。状態量変化関数の逆関数によってウェーブレットスペクトルデータの時間座標を特定の状態量の座標に非線形変換する時間座標非線形変換手段(3)を有する。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に記載されたPCT加盟国を特定するために使用されるコード(参考情報)

AL	アルバニア	ES	スペイン	LK	スリランカ	SE	スウェーデン
AM	アルメニア	FI	フィンランド	LR	リベリア	SG	シンガポール
AT	オーストリア	FR	フランス	LS	レソト	SI	スロヴェニア
AU	オーストラリア	GA	ガボン	LT	リトアニア	SK	スロヴァキア共和国
AZ	アゼルバイジャン	GB	英国	LU	ルクセンブルグ	SL	シエラレオネ
BA	ボスニア・ヘルツェゴビナ	GE	グルジア	LV	ラトヴィア	SN	セネガル
BB	バルバドス	GH	ガーナ	MC	モナコ	SZ	セウジランド
BE	ベルギー	GM	ガンビア	MD	モルドヴァ共和国	TD	チャード
BG	ブルガリア	GN	ギニア	MG	マダガスカル	TG	トーゴ
BJ	ベナン	GW	ギニアビサウ	MK	マケドニア共和国	TJ	タジキスタン
BR	ブラジル	GR	ギリシャ		ラヴィア共和国	TM	トルクメニスタン
BY	ベラルーシ	HU	ハンガリー	ML	マリ	TR	トルコ
CA	カナダ	ID	インドネシア	MN	モンゴル	TT	トリニダード・トバゴ
CF	中央アフリカ共和国	IE	アイルランド	MR	モーリタニア	UA	ウクライナ
CG	コンゴ	IL	イスラエル	MW	マラウイ	UG	ウガンダ
CH	スイス	IS	アイスランド	MX	メキシコ	US	米国
CI	コート・ジボアール	IT	イタリア	NE	ニジェール	UZ	ウズベキスタン
CM	カメルーン	JP	日本	NL	オランダ	VN	ヴェトナム
CN	中国	KE	ケニア	NO	ノルウェー	YU	ユーゴスラビア
CU	キューバ	KG	キルギスタン	NZ	ニュージーランド	ZW	ジンバブエ
CZ	チェコ共和国	KP	朝鮮民主主義人民共和国	PL	ポーランド		
DE	ドイツ	KR	大韓民国	PT	ポルトガル		
DK	デンマーク	KZ	カザフスタン	RO	ルーマニア		
EE	エストニア	LC	セントルシア	RU	ロシア連邦		
		LI	リヒテンシュタイン	SD	スーダン		