

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4513355号  
(P4513355)

(45) 発行日 平成22年7月28日 (2010. 7. 28)

(24) 登録日 平成22年5月21日 (2010. 5. 21)

(51) Int. Cl.

F I

G O 1 L 5/00 (2006. 01)

G O 1 L 5/00 K

B 6 O G 17/00 (2006. 01)

B 6 O G 17/00

F 1 6 C 19/18 (2006. 01)

F 1 6 C 19/18

F 1 6 C 33/58 (2006. 01)

F 1 6 C 33/58

F 1 6 C 41/00 (2006. 01)

F 1 6 C 41/00

請求項の数 5 (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2004-49068 (P2004-49068)  
 (22) 出願日 平成16年2月25日 (2004. 2. 25)  
 (65) 公開番号 特開2005-241320 (P2005-241320A)  
 (43) 公開日 平成17年9月8日 (2005. 9. 8)  
 審査請求日 平成19年2月19日 (2007. 2. 19)

(73) 特許権者 000004204  
 日本精工株式会社  
 東京都品川区大崎1丁目6番3号  
 (74) 代理人 100087457  
 弁理士 小山 武男  
 (74) 代理人 100056833  
 弁理士 小山 欽造  
 (72) 発明者 小野 浩一郎  
 神奈川県藤沢市鵠沼神明一丁目5番50号  
 日本精工株式会社内

審査官 田邊 英治

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 転がり軸受ユニットの荷重測定装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

内周面に外輪軌道を有する外径側軌道輪部材と、外周面に内輪軌道を有する内径側軌道輪部材と、これら外輪軌道と内輪軌道との間に設けられた複数の転動体と、この内径側軌道輪部材と上記外径側軌道輪部材との相対変位を測定する変位センサと、この変位センサの検出信号に基づいてこれら内径側軌道輪部材と外径側軌道輪部材との間に加わる荷重を算出する演算器とを備えた転がり軸受ユニットの荷重測定装置に於いて、この演算器は、上記変位センサの検出信号の誤差成分を補正する為の適応フィルタを備えており、この適応フィルタは、最急降下法により作動するデジタルフィルタ或はアナログフィルタと、L M S アルゴリズムにより作動するデジタルフィルタ或はアナログフィルタと、同期式  
L M S アルゴリズムにより作動するデジタルフィルタ或はアナログフィルタとのうちか  
ら選択される何れかであり、上記内径側軌道輪部材と上記外径側軌道輪部材とのうちの  
一方の軌道輪部材で使用時に回転する軌道輪部材である回転輪の一部にこの回転輪と同心に  
支持されてこの回転輪と共に回転する、その被検出面の特性を円周方向に関して交互に且  
つ等間隔に変化させたエンコーダと、この被検出面にその検出面を対向させた状態で回転  
しない部分に支持された回転検出センサとを備え、上記適応フィルタの入力となる参照信  
号を、この回転検出センサの検出信号に基づいて生成する事を特徴とする転がり軸受ユニットの荷重測定装置。

【請求項 2】

適応フィルタは、回転輪の回転一次成分に基づく変位センサの検出信号の誤差成分を補

正するものである、請求項 1 に記載した転がり軸受ユニットの荷重測定装置。

【請求項 3】

適応フィルタは、各転動体の公転一次成分に基づく変位センサの検出信号の誤差成分を補正するものである、請求項 1 に記載した転がり軸受ユニットの荷重測定装置。

【請求項 4】

転がり軸受ユニットが、外径側軌道輪部材と内径側軌道輪部材とのうちの一方の軌道輪部材を懸架装置に支持固定し、他方の軌道輪部材に車輪を支持固定する、車輪支持用転がり軸受ユニットである、請求項 1 ～ 3 の何れかに記載した転がり軸受ユニットの荷重測定装置。

【請求項 5】

適応フィルタを、変位センサの検出信号を送る為の主信号経路に対して並列に配置すると共に、上記適応フィルタによって算出される上記変位センサの変動分となる誤差成分を、上記主信号経路の下流部で差し引く事により、この変位センサの検出信号の変動の影響を除去する、請求項 1 ～ 4 の何れかに記載した転がり軸受ユニットの荷重測定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明に係る転がり軸受ユニットの荷重測定装置は、例えば自動車、鉄道車両、各種搬送車等の移動体の車輪を支持する為の転がり軸受ユニットの改良に関し、この転がり軸受ユニットを構成する回転部材の回転速度、更にはこの転がり軸受ユニットに負荷される荷重（ラジアル荷重とアキシャル荷重との一方又は双方）を測定し、上記移動体の運行の安定性確保を図る為に利用する。

【背景技術】

【0002】

例えば自動車の車輪は懸架装置に対し、複列アンギュラ型の転がり軸受ユニットにより回転自在に支持する。又、自動車の走行安定性を確保する為に、アンチロックブレーキシステム（ABS）やトラクションコントロールシステム（TCS）、更にはビークルスタビリティコントロールシステム（VSC）等の車両用走行安定装置が使用されている。この様な各種車両用走行安定装置を制御する為には、車輪の回転速度、車体に加わる各方向の加速度等を表わす信号が必要になる。そして、より高度の制御を行なう為には、車輪を介して上記転がり軸受ユニットに加わる荷重（ラジアル荷重とアキシャル荷重との一方又は双方）の大きさを知る事が好ましい場合がある。

【0003】

この様な事情に鑑みて、特許文献 1 には、ラジアル荷重を測定自在な、荷重測定装置付転がり軸受ユニットが記載されている。この従来の第 1 例の荷重測定装置付転がり軸受ユニットは、ラジアル荷重を測定するもので、図 9 に示す様に構成している。懸架装置に支持される、外径側軌道輪部材であると同時に静止輪である外輪 1 の内径側に、車輪を結合固定する、内径側軌道輪部材であると同時に回転輪であるハブ 2 を支持している。このハブ 2 は、車輪を固定する為の回転側フランジ 3 をその外端部（車両への組み付け状態で幅方向外側となる端部）に有するハブ本体 4 と、このハブ本体 4 の内端部（車両への組み付け状態で幅方向中央側となる端部）に外嵌されてナット 5 により抑え付けられた内輪 6 とを備える。そして、上記外輪 1 の内周面に形成した複列の外輪軌道 7、7 と、上記ハブ 2 の外周面に形成した複列の内輪軌道 8、8 との間に、それぞれ複数個ずつの転動体 9、9 を配置して、上記外輪 1 の内径側での上記ハブ 2 の回転を自在としている。

【0004】

上記外輪 1 の軸方向中間部で複列の外輪軌道 7、7 の間部分に、この外輪 1 を直径方向に貫通する取付孔 10 を、この外輪 1 の上端部にほぼ鉛直方向に形成している。そして、この取付孔 10 内に、荷重測定用のセンサである、円杆状（棒状）の変位センサ 11 を装着している。この変位センサ 11 は非接触式で、先端面（下端面）に設けた検出面は、ハブ 2 の軸方向中間部に外嵌固定したセンサリング 12 の外周面に近接対向させている。上

10

20

30

40

50

記変位センサ 11 は、上記検出面と上記センサリング 12 の外周面との距離が変化した場合に、その変化量に対応した信号を出力する。

【0005】

上述の様に構成する従来の荷重測定装置付転がり軸受ユニットの場合には、上記変位センサ 11 の検出信号に基づいて、転がり軸受ユニットに加わる荷重を求める事ができる。即ち、車両の懸架装置に支持した上記外輪 1 は、この車両の重量により下方に押されるのに対して、車輪を支持固定したハブ 2 は、そのままの位置に止まろうとする。この為、上記重量が嵩む程、上記外輪 1 やハブ 2、並びに転動体 9、9 の弾性変形に基づいて、これら外輪 1 の中心とハブ 2 の中心とのずれが大きくなる。そして、この外輪 1 の上端部に設けた、上記変位センサ 11 の検出面と上記センサリング 12 の外周面との距離は、上記重量が嵩む程短くなる。そこで、上記変位センサ 11 の検出信号を制御器に送れば、予め実験等により求めた関係式或はマップ等から、当該変位センサ 11 を組み込んだ転がり軸受ユニットに加わるラジアル荷重を求める事ができる。この様にして求めた、各転がり軸受ユニットに加わる荷重に基づいて、ABS を適正に制御する他、積載状態の不良を運転者に知らせる。

10

【0006】

尚、図 9 に示した従来構造は、上記転がり軸受ユニットに加わる荷重に加えて、上記ハブ 2 の回転速度も検出自在としている。この為に、前記内輪 6 の内端部にエンコーダ 13 を外嵌固定すると共に、上記外輪 1 の内端開口部に被着したカバー 14 に回転検出センサ 15 を支持している。そして、この回転検出センサ 15 の検知部を、上記エンコーダ 13 の被検出部に、検出隙間を介して対向させている。

20

【0007】

上述の様な回転速度検出装置を組み込んだ転がり軸受ユニットの使用時、車輪を固定したハブ 2 と共に上記エンコーダ 13 が回転し、このエンコーダ 13 の被検知部が上記回転検出センサ 15 の検知部の近傍を走行すると、この回転検出センサ 15 の出力が変化する。この様にして回転検出センサ 15 の出力が変化する周波数は、上記車輪の回転数に比例する。従って、この回転検出センサ 15 の出力信号を図示しない制御器に送れば、ABS や TCS を適切に制御できる。

【0008】

上述の様な従来構造の第 1 例の荷重測定装置付転がり軸受ユニットは、転がり軸受ユニットに加わるラジアル荷重を測定する為に、前記変位センサ 11 と前記センサリング 12 とをラジアル方向に対向させている。これに対して（特許文献 1 には記載されていないが）、静止輪に支持した変位センサと回転輪（又は回転輪に固定した部材）の一部にアキシアル方向に対向させれば、転がり軸受ユニットに加わるアキシアル荷重を測定する事ができる。

30

【0009】

上述の様に、変位センサ 11 の検出信号に基づいて転がり軸受ユニットに加わる荷重（ラジアル荷重又はアキシアル荷重）を測定する場合、荷重に対する変位が大きければ、この荷重を正確に求められる。但し、自動車の車輪を支持する為等に使用される、一般的な転がり軸受ユニットの剛性は高い為、荷重が作用した場合に生じる、外径側軌道輪部材と内径側軌道輪部材との相対変位は極僅かであり、変位測定の為の精度を極めて高くする必要があり、変位センサとして高価なものを使用する必要がある。しかも、例え高価な高精度変位センサを使用しても、回転輪が回転する事によって生じる、被測定面（変位測定対象面）の変動に基づく変位検出に関する誤差をなくす事はできない。そして、この誤差は、そのまま、実際に転がり軸受ユニットに加わる荷重と、上記変位センサの検出信号に基づく、この転がり軸受ユニットに加わっていると考えられる荷重の算出値との誤差になる。

40

【0010】

この様な誤差に結び付く、上記被測定面の変動の原因としては、次の様なものが考えられる。先ず、ラジアル荷重を測定する為にラジアル方向の変位を測定する場合に被測定面

50

となる回転輪の周面（例えばハブ2に外嵌固定したセンサリング12の外周面）の幾何中心と回転輪の回転中心とのずれ（偏芯）による、回転一次の振れ回り誤差成分が考えられる。勿論、実際に転がり軸受ユニットに荷重測定装置を組み込む場合には、上記幾何中心と回転中心とのずれを可及的僅少に抑える様に、高精度の加工を施すが、機械加工の宿命として、コストを無視した様な、極端な高精度仕上加工を施さない限り、数 $\mu\text{m}$ 程度のずれが生じる事は避けられない。

#### 【0011】

又、アキシャル荷重を測定する為にアキシャル方向の変位を測定する場合は、被測定面が、回転輪の中心軸に対し垂直方向に存在する事になるが、この被測定面と中心軸との垂直度の悪化等による、この被測定面の面振れ（被測定面の円周方向に関する軸方向の変位）等によって、やはり回転一次の誤差成分を生じる。

10

#### 【0012】

更に、上記被測定面が荷重以外の要件で変位する、他の原因として、転動体の公転運動に伴う、回転輪の振れ回りも考えられる。このような原因で生じる振れ回りは、転動体直径の不揃いによる公転一次の振れ回りや、転動体の通過振動に基づく、「玉数 $\times$ 公転周波数」の振れ回り等が存在する。

ラジアル荷重を測定する場合にしろ、アキシャル荷重を測定する場合にしろ、荷重によって生じる前記外径側軌道輪部材と前記内径側軌道輪部材との相対変位が大きい場合には、上述の様な原因で生じる検出誤差はあまり問題とはならない（許容できる）。但し、前述の様に、上記外径側軌道輪部材と上記内径側軌道輪部材とを含む転がり軸受ユニットの剛性は高く、上記荷重に基づく変位の絶対値は極僅かな値となるので、上記検出誤差が問題となる（無視できない）。

20

#### 【0013】

上述の様な誤差成分を演算器側で処理する方法として、平均化処理やロ - パスフィルタ処理、或はノッチフィルタ処理等が一般的に知られている。しかしながら、これらの処理方法は誤差成分を平準化できるものの、同時に応答遅れを生じさせる。この遅れは、特に、平準化しようとする誤差成分の周波数が低い場合に顕著となり、実用上の問題が残る。例えば、被測定面に存在する微視的な凹凸（うねり）による変位変動は、比較的変位変動の周波数が高く、平均化処理やロ - パスフィルタで処理しても、応答遅れを比較的小さくできるので、遅れを許容できるか、或は位相進み補償器等によって対処できる。これに対して、変位変動の周波数が比較的低い、回転輪の回転一次成分や転動体の公転一次成分が、平均化処理やロ - パスフィルタで処理できない誤差成分として問題となる。

30

#### 【0014】

比較的低周波の雑音成分を除去する為の技術として、非特許文献1に記載された、LMSアルゴリズムにより作動する適応フィルタが知られている。又、適応フィルタの概要に関しては、非特許文献2～4等で、従来から知られている。又、適応フィルタの一種である同期式適応フィルタに関しても、例えば非特許文献5に記載される等により、従来から知られている。更に、同期式LMSアルゴリズムによりエンジンの振動を抑える技術が、非特許文献6に記載される等により、従来から知られている。但し、従来は、上述の様な適応フィルタは、低周波騒音と逆位相の音波を発生する事でこの低周波騒音を低減する、所謂アクティブノイズコントロールを中心に使用していた。即ち、従来は上記適応フィルタを、空調機のダクトから室内に出る低周波騒音を低減したり、或は乗用車の室内に入り込む低周波の排気音或は走行音、更にはヘッドホンの外から入り込む低周波の外部騒音を低減する等、低周波騒音の低減にしか使用されていなかった。非特許文献6に記載された技術にしても、エンジンの振動抑制を目的としたものである。言い換えれば、上記非特許文献1に記載される等により従来から知られている適応フィルタの技術を、回転輪の振れ回り運動に拘らず、この回転輪と静止輪の間に加わる荷重検出に関する精度を向上させる事は、全く考えられていなかった。

40

#### 【0015】

【特許文献1】特開2001-21577号公報

50

【非特許文献1】浜田晴夫、「アダプティブフィルタの基礎(その2)」、日本音響学会誌、45巻、9号、(社)日本音響学会、1989年、p.731-738

【非特許文献2】中央大学電気電子情報通信工学科趙研究室、「適応フィルタとは」、[online]、[平成15年8月29日検索]、インターネット、<URL:http://www.elect.chuo-u.ac.jp/chao/forB3/dsp/volterra/filter.html>

【非特許文献3】The MathWorks, Inc.、「適応フィルタの概要とアプリケーション」、[online]、[平成15年8月29日検索]、インターネット、<URL:http://www.mathworks.ch/access/helpdesk/jhelp/toolbox/filterdesign/adaptiv2.shtml>

【非特許文献4】The MathWorks, Inc.、「LMSアルゴリズムを使用する適応フィルタの例題」、[online]、[平成15年8月29日検索]、インターネット、<URL:http://www.mathworks.ch/access/helpdesk/jhelp/toolbox/filterdesign/adaptiv9.shtml>

10

【非特許文献5】浜田晴夫、外3名、「同期式適応フィルタとそのアクティブ騒音・振動制御への応用」、日本音響学会講演論文集、3-5-13、(社)日本音響学会、平成4年3月、p.515~516

【非特許文献6】佐藤茂樹、外4名、「アクティブマウントの開発」、自動車技術、(社)自動車技術会、Vol.53、No.2、1999年2月、p.62~66

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0016】

20

本発明は、上述の様な事情に鑑みて発明したものである。即ち、適応フィルタの技術を、従来適用されていた音響分野等とは全く異なる、荷重測定分野に適用する事により、回転輪と静止輪との間に加わる荷重検出を、制御の為に必要とされる精度を確保しつつ測定できる、転がり軸受ユニットの荷重測定装置を実現するものである。

【課題を解決するための手段】

【0017】

本発明の転がり軸受ユニットの荷重測定装置は、前述の特許文献1に記載された転がり軸受ユニットの荷重測定装置と同様に、外径側軌道輪部材と、内径側軌道輪部材と、複数の転動体と、変位センサと、演算器とを備える。

このうちの外径側軌道輪部材は、内周面に外輪軌道を有する。

30

又、上記内径側軌道輪部材は、外周面に内輪軌道を有する。

又、上記各転動体は、この内輪軌道と上記外輪軌道との間に設けられている。

又、上記変位センサは、上記外径側軌道輪部材と上記内径側軌道輪部材との相対変位を測定するものである。

更に、上記演算器は、上記変位センサの検出信号に基づいて、上記内径側軌道輪部材と上記外径側軌道輪部材との間に加わる荷重を算出するものである。

【0018】

特に、本発明の転がり軸受ユニットの荷重測定装置に於いては、上記演算器は、上記変位センサの検出信号の誤差成分を補正する為の適応フィルタを備えている。

この適応フィルタは、最急降下法により作動するデジタルフィルタ或はアナログフィルタと、LMSアルゴリズムにより作動するデジタルフィルタ或はアナログフィルタと、同期式LMSアルゴリズムにより作動するデジタルフィルタ或はアナログフィルタとのうちから選択される何れかである。

40

【0019】

又、本発明の転がり軸受ユニットの荷重測定装置は、エンコーダと回転検出センサとを備える。このうちのエンコーダは、上記内径側軌道輪部材と上記外径側軌道輪部材とのうちの一方の軌道輪部材で使用時に回転する軌道輪部材である回転輪の一部にこの回転輪と同心に支持されてこの回転輪と共に回転するもので、その被検出面の特性を円周方向に関して交互に且つ等間隔に変化させている。又、上記回転検出センサは、上記被検出面にその検出面を対向させた状態で、回転しない部分に支持されている。そして、上記適応フィ

50

ルタの入力となる参照信号（振れに基づく変位センサの出力信号の変動と相関のある信号）を、この回転検出センサの検出信号に基づいて生成する。

【発明の効果】

【0020】

上述の様に構成する本発明の転がり軸受ユニットの荷重測定装置によれば、応答遅れを生じさせる事無く、回転輪の回転一次成分や転動体の公転一次成分である振れに基づく誤差成分を、演算器側で平準化（補正）できる。この為、応答性を悪化させる事なく、外径側軌道輪部材と内径側軌道輪部材との変位を高精度で検出し、これら両軌道輪部材同士の間作用する荷重を高精度で求める事ができる。又、適応フィルタを作動させる為の信号は、荷重測定の為の変位センサの信号の他は、上記外径側軌道輪部材と上記内径側軌道輪部材とのうちで使用時に回転する軌道輪部材である、回転輪の回転に関する状態を表す信号があれば足りる。各種回転機械装置には、この回転輪若しくはこの回転輪と共に回転する部材の回転状態を検出する為の回転検出センサが設けられている事が多いので、上記適応フィルタを作動させる事に関して、特にコストが高む事はない。

【0021】

即ち、本発明の転がり軸受ユニットの荷重測定装置の場合には、上記適応フィルタの入力となる参照信号を、上記回転検出センサの検出信号に基づいて生成する為、この参照信号の生成を、低コスト、且つ省スペースで行なえる。上記エンコーダの特性変化に対応してその出力を変化させる、上記回転検出センサの検出信号は、上記回転輪の1回転中での変化の回数が既知である。従って、この回転検出センサ側に設けた検出信号の処理回路、又は、この検出信号に基づいて回転部材の回転速度を演算する為に制御器側に設けた処理回路部分で、上記検出信号に基づいて上記参照信号を生成すれば、この参照信号の生成を、低コスト、且つ省スペースで行なえる。

【0022】

従来から適応フィルタの用途として一般的に知られていたアクティブノイズコントロールの場合、低減すべき外部騒音の周波数及び波形が必ずしも分かっていない。この為、この外部騒音を相殺する為の音（この外部騒音と同じ大きさ及び波形で位相が180度ずれている音）を造り出す為の参照信号の生成を、別途設けたマイクロフォンにより収集した上記外部騒音に基づいて行なう（外部から取り入れた信号により参照信号を造り出す）必要がある。これに対して本発明の場合には、適応フィルタにより、被検出面の振れに基づく変位センサの検出信号の変動を低減させる。そして、この被検出面と同期して回転する、上記エンコーダの1回転中での特性変化の回数は予め分かっているので、このエンコーダの1回転分のパルス数を観察する事で、特に別途上記振れを測定する為のセンサを設けなくても、上記変動と相関のある上記参照信号を生成できる。

【0023】

又、本発明の場合には、上記適応フィルタとして、最急降下法により作動するデジタルフィルタ或はアナログフィルタと、LMS（最小二乗平均）アルゴリズム（二乗平均誤差を最急降下法に基づいて最小にする演算規則）により作動するデジタルフィルタ或はアナログフィルタと、同期式LMSアルゴリズムにより作動するデジタルフィルタ或はアナログフィルタとのうちから選択される何れかを使用するので、次の様な効果を得られる。

【0024】

先ず、最急降下法、或はLMSアルゴリズムにより作動する適応フィルタを使用すれば、転がり軸受ユニットを構成する各部材の形状精度或は寸法精度の誤差に基づく被検出面の振れに基づく変動を最小に抑えられる状態で、適応フィルタを完成させる事ができる。この為、この変動に基づく誤差を、容易に、且つ十分に低減できる。

尚、上記被検出面の振れは、ラジアル荷重を測定すべく、被検出面が周面である場合には、この被検出面の幾何中心と回転中心とのずれに基づいて発生する。又、アキシアル荷重を測定すべく、被検出面が軸方向に向いた面である場合には、回転中心に対するこの被検出面の垂直度の悪化等に基づいて発生する。

10

20

30

40

50

又、適応フィルタとして、同期式 L M S アルゴリズムにより作動する適応フィルタを使用すれば、変位センサの検出信号に関して必要とする演算処理の回数を大幅に低減して、計算速度が特に速くない、低コストの演算器 ( C P U ) での処理が十分に可能になる。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 2 5 】

本発明を実施する場合に、例えば、請求項 2 に記載した様に、適応フィルタは、回転輪の回転一次成分に基づく変位センサの検出信号の誤差成分を補正するものとする。

或は、請求項 3 に記載した様に、適応フィルタは、各転動体の公転一次成分に基づく変位センサの検出信号の誤差成分を補正するものとする。

この様に構成すれば、上記回転輪の加工精度や上記各転動体の径差に関する精度を極端に高くしなくても、荷重に基づく、上記外径側軌道輪部材と上記内径側軌道輪部材との変位を高精度で検出し、この荷重を高精度で求める事ができる。

そして、例えば請求項 4 に記載した様に、転がり軸受ユニットが、外径側軌道輪部材と内径側軌道輪部材とのうちの一方の軌道輪部材を懸架装置に支持固定し、他方の軌道輪部材に車輪を支持固定する、車輪支持用転がり軸受ユニットである場合に、走行安定性を確保する為の制御を高精度で行なえる。

【 0 0 2 6 】

又、好ましくは、請求項 5 に記載した様に、適応フィルタを、変位センサの検出信号を送る為の主信号経路 ( 主ルート ) に対して並列に配置する。又、これと共に、上記適応フィルタによって算出される上記変位センサの変動分となる誤差成分を、上記主信号経路の下流部で差し引く。そして、この様な構成により、上記変位センサの検出信号の変動の影響を除去する。

この様に適応フィルタを主信号経路に対して並列に配置すれば、従来から一般的であった、主信号経路に対してフィルタを直列に配置 ( 挿入 ) すると共に、このフィルタの特性を何らかの方法により可変にする構成とは異なる構成で、上記変位センサの検出信号の変動の影響を、容易に、且つ十分に除去できる。又、直列に挿入したノッチフィルタ等のフィルタの場合には、主信号に時間遅れを生じさせる可能性があるが、並列に配置する事で、この主信号に時間的遅れを生じさせる懸念をなくせる。

【 0 0 2 7 】

即ち、従来から一般的に使用されるノッチフィルタを、エンコーダのパルス信号を参照する次数追従型ノッチフィルタとして用いても、誤差成分を除去できる。その具体例を図 1 0 に示す。この図 1 0 には、コムノッチフィルタの構成を、Z 変換を用いたフローチャートで示している。x はフィルタへの入力信号を、y はフィルタからの出力信号を、N は上記エンコーダ 1 回転当たりのパルス数を、A はノッチ周波数を規定する定数を、 $\alpha$  はノッチ急峻度合いを決定する ( 収束性にも影響する ) 定数を、それぞれ示している。このうち、ノッチ周波数を規定する定数 A は、エンコーダの 1 回転当たりのパルス数 N と組み合わせて用いる事により、回転速度の増減によって変化する周波数に追従する、所謂、次数追従型のノッチフィルタとなる。例えば、 $A = 2$  とすれば、回転一次の誤差成分を除去するノッチフィルタとなる。この様な次数追従型のノッチフィルタを用いれば、ローパスフィルタ等を用いる場合と比較して、応答遅れを大幅に低減できる。但し、あくまでも、上述の様なノッチフィルタは、変位センサの検出信号を送る為の主信号経路 ( 主ルート ) に対して直列に挿入する為に、応答遅れを小さくする効果はあるものの、依然として若干の応答遅れは存在してしまう。

これに対して、請求項 5 に記載した様に、主信号経路 ( 主ルート ) に対して並列に適応フィルタを配置する事で、主信号に時間的遅れを生じさせる懸念をなくせる。

【実施例 1】

【 0 0 2 8 】

図 1 ~ 3 は、本発明の実施例 1 を示している。本実施例は、外径側軌道輪部材であると同時に静止輪である外輪 1 と、内径側軌道輪部材であると同時に回転輪であるハブ 2 との間に加わるラジアル荷重  $F_r$  を測定する為の転がり軸受ユニットの荷重測定装置に、本発

10

20

30

40

50

明を適用した場合に就いて示している。尚、本実施例の特徴は、上記ハブ 2 の中間部に外嵌固定したセンサリング 1 2 の外周面の幾何中心とこのハブ 2 の回転中心とのずれに拘らず、上記ラジアル荷重  $F_r$  の測定精度を良好にすべく、変位センサ 1 1 の検出信号を適応フィルタ 1 6 により処理する点にある。その他の構成及び作用は、前述の図 9 に示した従来構造と同様であるから、同等部分には同一符号を付して重複する説明を省略し、以下、本実施例の特徴部分に就いて説明する。尚、本実施例の場合、内輪 6 の内端部に外嵌固定したエンコーダ 1 3 a の内端面を被検出面とし、この被検出面に、カバー 1 4 a に支持した回転検出センサ 1 5 a の検出面を対向させている。

#### 【0029】

前述した様に、上記変位センサ 1 1 の検出信号中には、被検出面であるセンサリング 1 2 の外周面に存在する微小なうねりに基づく比較的高周波の変動と、上記幾何中心と上記回転中心とのずれに起因する振れ回り運動に伴う、前述した様な比較的低周波の変動とが入り込んでいる。この様な変動を処理（低減）しないと、荷重に基づく上記外輪 1 と上記ハブ 2 との相対的変位量を正確に求められず、従って、上記ラジアル荷重  $F_r$  の測定精度が悪化する。そこで本実施例の場合には、図 2 に示す様な適応フィルタ 1 6 により、上記振れ回り運動に基づく、図 3 に鎖線で示す様な、上記比較的低周波の変動を低減する他、図示しない平均化フィルタ等のローパスフィルタにより、上記微小なうねりに基づく、上記比較的高周波の変動を低減する様にしている。

#### 【0030】

上記変位センサ 1 1 から出力される検出信号は、上記 2 種類の変動が足し合わされた（重畳された）、図 3 に実線で示す様なものになる。上記ラジアル荷重  $F_r$  を正確に求める為には、上記 2 種類の変動を低減する必要がある。そこで、本実施例の場合には、上記振れ回り運動に伴う、比較的低周波の変動を図 2 に示した適応フィルタ 1 6 により低減し、上記微小なうねりに基づく比較的高周波の変動を、図示しない平均化フィルタ等のローパスフィルタにより低減する様にしている。尚、適応アルゴリズムとしては、適応フィルタとして後述する FIR フィルタを使用する、LMS（最小二乗平均）アルゴリズム（二乗平均誤差を最急降下法に基づいて最小にする演算規則）が好ましい。

#### 【0031】

上記 2 種類の変動のうち、高周波の変動を低減する点に就いては、前述した通り、従来から広く知られている方法により容易に行なえる。そこで、本実施例の特徴である、図 2 に示した適応フィルタ 1 6 による、上記低周波の変動低減に就いて説明する。上記変位センサ 1 1 の検出部が対向する部分での、前記センサリング 1 2 の外周面の（外輪 1 に対する）径方向の変位は、検出すべき上記ラジアル荷重  $F_r$  に基づく変位  $d_d$  と、上記幾何中心と上記回転中心とのずれに起因する振れ回り運動による回転一次成分の見掛け速度の変動分  $d_n$  とが重畳されたものとなる。従って、上記変位センサ 1 1 の出力信号  $d$  は、上記実際のラジアル荷重  $F_r$  に基づく変位  $d_d$  と上記変動分  $d_n$  とを足し合わせた（ $d_d + d_n$ ）速度を表す信号になる。上記適応フィルタ 1 6 によりこの変動分  $d_n$  を上記出力信号  $d$  から差し引けば（減ずれば）、上記ラジアル荷重  $F_r$  に基づく変位  $d_d$  を求められる事になる。

#### 【0032】

一方、上記適応フィルタ 1 6 を作動させる為には、上記振れ回りに基づく変動分  $d_n$  と相関性のある参照信号  $x$  が必要になる。この参照信号  $x$  を入手できれば、上記適応フィルタ 1 6 は自己学習によって、実際の信号の流れ「 $d_n$ 」「 $d$ 」の伝達特性と同じ特性を持った、FIR（finite impulse response）フィルタ（インパルス応答時間が有限なフィルタ＝インパルス応答が有限時間内に 0 になるフィルタ）を形成する。そして、上記変位センサ 1 1 の出力信号  $d$  から、上記適応フィルタ 1 6 による計算の結果得られる、キャンセル信号  $y$ （＝後述する  $y(k)$ ）を差し引けば、上記変位センサ 1 1 の出力信号  $d$  から上記振れ回りによる変動分  $d_n$  を取り除いた（ $d - d_n$ ）事と等価になる。この様にしてこの変動分  $d_n$  を取り除く場合に、上記適応フィルタ 1 6 は、信号の主ルート（図 2 の上半部分）を送られる出力信号  $d$  に対してフィルタリングするのではなく、副ルート（図 2 の

10

20

30

40

50



下半部分)を送られる参照信号 $x$ に基づいて上記変動分 $d_n$ を取り除く為のキャンセル信号 $y$ を計算する。そして、上記主ルートである出力信号 $d$ から上記キャンセル信号 $y$ を引き算するだけであるので、上記出力信号 $d$ の応答遅れを招かない。

#### 【0033】

本実施例の場合、誤差成分、即ち、上記振れ回りによる変動分 $d_n$ が、前記ハブ2の回転一次成分である。従って、このハブ2の回転速度を検出する為、前記エンコーダ13aの被検出面の特性変化に対応してその出力信号を変化させる、前記回転検出センサ15aの出力変化の回数を計測する事により、上記参照信号 $x$ を得られる。上記誤差成分(変動分 $d_n$ )は、回転一次が主成分の波形であり、例えば上記エンコーダ13aの被測定面が、60パルス/1回転であれば、60パルスで1周期となる様なサイン波、三角波、のこぎり波、矩形波、パルス波等を自己生成する事により、上記参照信号 $x$ を得られる。従って、上記参照信号 $x$ の生成に要するコストを低減できる。即ち、従来から適応フィルタの用途として一般的に知られていたアクティブノイズコントロールの構造をそのまま上記変位センサ11により検出する、上記ハブ2のラジアル方向の変位を正確に求める為の構造に適用すると、このハブ2の振れ回りを、変位センサや回転速度センサ等、別途設けたセンサにより検出し、このセンサの検出信号を上記適応フィルタ16の参照信号 $x$ として使用する事になる。勿論、この様な構造で実施する事も可能ではあるが、別途センサを設ける分だけ、コスト並びに設置スペースが必要になる。

#### 【0034】

これに対して本実施例の場合には、元々ABSやTCSを制御する為に設置していた回転検出センサ15aの検出信号を使用する事により上記参照信号 $x$ を入手して、上記適応フィルタ16により、上記ハブ2の振れ回りに基づく、上記変位センサ11の出力信号 $d$ の変動分 $d_n$ を低減させる。即ち、上記ハブ2が1回転する間での、上記エンコーダ13aの特性変化の回数(例えば60回)は予め分かっている。従って、このエンコーダ13aの1回転分のパルス数を観察する事で、特に変位センサや回転速度センサ等のセンサを別途設けなくても、上記変動 $d_n$ と相関のある上記参照信号 $x$ を生成できる。具体的には、上記ハブ2の振れ回りの影響は、回転一次が主成分の波形であり、例えば上記エンコーダ13aが、1回転当たり60パルスのものであれば、60データで1周期となる様なサイン波、三角波、鋸波、矩形波、パルス波等として生成できる。この場合、上記変位センサ11の出力信号をサンプリングする間隔を、上記エンコーダ13aの特性変化(パルス)の間隔と一致させる。

#### 【0035】

上述の様な参照信号 $x$ の波形は、前記ラジアル荷重 $F_r$ を算出する為の処理回路(CPU)で生成する事も、上記回転検出センサ15aに付属の電子回路部(IC)で生成する事もできる。何れにしても、得られた上記参照信号 $x$ に基づいて算出したキャンセル信号 $y$ は、上記変位センサ11の出力信号 $d$ から差し引いて、上記実際のラジアル荷重 $F_r$ に基づく変位 $d_d$ を表す修正信号 $e$ {=後述する $e(k)$ }を求める。この様にして求めた修正信号 $e$ は、上記ラジアル荷重 $F_r$ を算出する為の処理回路に送ってこのラジアル荷重 $F_r$ を求める為に利用する他、上記適応フィルタ16が自己学習する為の情報としても利用する。

#### 【0036】

尚、上記適応フィルタ16部分で、上記キャンセル信号 $y$ を求め、更にこのキャンセル信号 $y$ を上記変位センサ11の出力信号 $d$ から差し引いて、上記修正信号 $e$ を得る為の処理は、次の(1)~(3)式に基づいて行なう。

#### 【数1】

$$y(k) = \sum_{i=0}^{N-1} w_k(i) \cdot x(k-i) \quad \text{----- (1)}$$

10

20

30

40

【数 2】

$$e(k) = d(k) - y(k) \quad \text{--- (2)}$$

【数 3】

$$w_{k+1}(i) = w_k(i) + 2\mu \cdot e(k) \cdot x(k-i) \quad \text{--- (3)}$$

【0037】

上記(1)(2)(3)式中、 $k$ は時系列でのデータ番号、 $N$ は適応フィルタ16として用いるFIRフィルタのタップ数である。又、 $w$ はFIRフィルタのフィルタ係数を表し、 $w_k$ は $k$ 番目のデータ処理をする場合に使用するフィルタ係数を、 $w_{k+1}$ は次のデータ系列( $k+1$ 番目)を処理する場合に使用するフィルタ係数を、それぞれ表している。即ち、本実施例の場合、上記FIRフィルタは、上記式(3)により逐次適正にフィルタ係数が更新されていく適応フィルタとなる。演算を開始する際に最初に用いるフィルタ係数 $w_k$ は、零を代入しておいても、動き始めれば自己適応していくので差し支えはないが、予め望ましいフィルタ特性を求めてその値を代入しておいても良い。更には、前回の処理で最後に使用したフィルタ係数を、EEPROM等の記憶手段に記憶しておき、再始動時に使用しても良い。

10

【0038】

又、上記(3)式中の $\mu$ は、ステップパラメータと呼ばれる、フィルタ係数を自己適正化させていく場合の更新量を決定する値であり、通常0.01~0.001程度の値となるが、実際には、適応動作の妥当性を事前に調べて設定するか、次の(4)式を用いて逐次更新する事もできる。

20

【数 4】

$$\mu = \frac{\alpha}{\sum_{i=0}^{N-1} x^2(k-i)} \quad \text{--- (4)}$$

尚、この(4)式中の $\alpha$ も、フィルタ係数を自己適正化させていく為の更新量を決定するパラメータとなるが、 $0 < \alpha < 1$ の範囲であれば良く、上記 $\mu$ よりも設定が容易である。又、本実施例の場合には、前記参照信号 $x$ を自己生成するので、上記(4)式中の分母の値は既知であり、 $\mu$ の最適値を事前に算出しておく事もできる。計算量削減の観点からは、予め(4)式でこの $\mu$ を算出しておき、この $\mu$ を定数として上記(3)式でフィルタ係数を自己適正化させるのが望ましい。

30

【0039】

上述の様に、前記変位センサ11の出力信号 $d$ から、前記適応フィルタ16が算出したキャンセル信号 $y$ を差し引く事で、前記実際のラジアル荷重 $F_r$ に基づく変位 $d_d$ を表す修正信号 $e$ を求められる。そして、この様にして求めた修正信号 $e$ に基づいて、上記実際のラジアル荷重 $F_r$ を正確に求められる。尚、実際の場合には、上記変位センサ11の出力信号 $d$ 中には、前記微小なうねりに基づく、前記センサリング12の外周面の振れ回りに基づく変動よりも周期が短い第二の変動が存在する。そこで、この第二の変動を平均化する為の平均化フィルタ等のローパスフィルタを、上記適応フィルタ16の前又は後に設けて、上記第二の変動に拘らず、前記各転動体9、9の公転速度を正確に求められる様にする。平均化フィルタ等のローパスフィルタの構造及び作用に関しては、従来から周知である為、詳しい説明は省略する。

40

【0040】

適応フィルタ16を使用して、上記センサリング12の外周面の振れ回りに基づく変動を抑える作用に就いてのシミュレーションの1例を、図4に示した。この図4は、検出すべきラジアル荷重に基づく変位は100 $\mu$ mの一定値であり、被検出面の振れ回り量が $\pm 30\mu$ mである場合に於ける、上記適応フィルタ16の効果を、コンピュータ上で計算し

50

た結果に就いて示している。前記ハブ 2 に設置したエンコーダ 1 3 a の被検出面の特性変化は、60 パルス / 1 回転とした。実線イが、上記変位センサ 1 1 の検出信号をそのまま利用した計算結果である。この検出信号そのままの計算結果は、上記センサリング 1 2 の外周面の振れ回りにより、約 70 ~ 130  $\mu\text{m}$  の間を変動している。尚、上記センサリング 1 2 の外周面の振れ回り量は、実際に生じる値に比べて、相当に大きく設定した。

#### 【0041】

これに対して、破線ロは、上記実線イで示した、上記変位センサ 1 1 の検出信号を適応フィルタ 1 6 を用いて補正したデータ（修正信号 e に相当）に基づく計算結果を示している。上記破線ロから明らかな通り、適応フィルタ 1 6 の始動直後は算出値が変動しているものの、短時間経過後にフィルタ係数が自己適応し、算出結果が、ほぼ 100  $\mu\text{m}$  の一定値に収束した。このことから、適応フィルタ 1 6 を使用する事で、上記センサリング 1 2 の外周面の回転中心と幾何中心とのずれが大きい（振れ回り運動をする）場合でも、前記ラジアル荷重  $F_r$  に基づく、前記外輪 1 と前記ハブ 2 との径方向に関する相対変位量を正確に求められる事が分かる。

尚、上記図 4 に示した 2 本の線イ、ロを求めるに就いては、参照信号 x は、演算装置の中でパルス数をカウントしながら、60 パルスで 1 周期となる正弦波を自己生成するとした。又、適応フィルタ 1 6 のステップパラメータは、 $\mu = 0.002$ 、タップ数  $N = 30$  とした。

#### 【実施例 2】

#### 【0042】

図 5 ~ 8 は、本発明の実施例 2 を示している。本実施例の場合の特徴は、エンコーダ 1 3 a の 1 パルス毎に回転検出センサ 1 5 a（図 1 参照）の検出信号に関して必要とする演算処理の回数を大幅に低減して、計算速度が特に速くない、低コストの演算器（CPU）での処理を可能にする点にある。この為に本実施例の場合には、同期式 LMS アルゴリズムを使用し、計算量を大幅に削減可能にしている。但し、単に同期式 LMS アルゴリズムを使用しただけの場合には、ハブ 2 に外嵌したセンサリング 1 2（図 1 参照）の振れ回りである回転一次成分を補正（キャンセル）すると同時に、検出対象である、ラジアル荷重  $F_r$  に基づく外輪 1 と前記ハブ 2 と（図 1 参照）の径方向に関する相対変位を表す DC レベルまでも補正（キャンセル）してしまう。これでは、荷重測定装置本来の機能を喪失してしまうので、フィルタ係数の零点をモニターし、上記 DC レベルをキャンセルする事を防止する為に、零点補正を実施する。このような観点で考えた本実施例の特徴に就いて、以下に説明する。尚、実用上あまり問題とならないレベルではあるが、前述の図 4 に示した例でも、微妙に DC レベルがずれる場合がある。従って、より高精度の制御を行なう為には、この場合にも、零点補正を行なう事が好ましい。

#### 【0043】

上述した実施例 1 で適応フィルタを適正化する為に利用する、前述の各式（1）（2）（3）は何れも単純な式ではあるが、実際の適用に際しては計算量が問題となる場合が考えられる。例えば、適応フィルタのタップ数  $N = 60$  とすると、上記式（1）で掛け算を 60 回、上記式（2）で引き算を 1 回、上記式（3）で掛け算を 120 回と足し算を 60 回との 180 回、合計で 241 回の四則演算を、エンコーダ 1 3 a の 1 パルス毎に実施しなければならない。従って、上記ラジアル荷重  $F_r$  を求める為に必要な計算量は、482 回 / 1 パルスとなる。この計算量（演算回数）は物理的に処理不可能ではないが、処理速度が速い、比較的高価な CPU を使用する必要がある為、好ましくない。

#### 【0044】

このような事情に鑑みて本実施例の場合には、同期式 LMS アルゴリズムを使用して計算量を大幅に削減し、低コストの CPU の使用を可能にする事を意図している。但し、上記同期式 LMS アルゴリズムにより適応フィルタを動作させた場合、そのままではこの適応フィルタが、前記センサリング 1 2 の外周面の振れ回り成分だけでなく、上記ラジアル荷重  $F_r$  に基づく変位を表す DC 成分もキャンセルしてしまう。この様に DC 成分をキャンセルする現象は、同期式 LMS アルゴリズムを用いた場合に顕著である。そこで本実施例

の場合には、適応フィルタの出力値を零にする機能を持たせる事により、上記回転速度を表すDCレベルを正確に検出できる様にしている。

【0045】

先ず、同期式LMSアルゴリズムの作動原理を説明する。前述の図2に示したブロック図で、適応フィルタ16に入力させる参照信号xは、エンコーダ13aの振れ回り等に代表される、このエンコーダ13aの回転n次（nは正の整数）成分と相関のある信号であれば良いので、このエンコーダ13aの1回転当り1インパルス信号でも構わない。そこで、上記参照信号xが1インパルス信号であると同時に、上記適応フィルタ16のタップ数Nが、上記エンコーダ13aの1回転当たりのパルス数と等しい場合を想定する。この場合、時系列kの瞬間に計算に使用する参照信号xは、次の(5)式で表される。

10

【数5】

$$[x(k), x(k-1), x(k-2), \dots, x(k-j), \dots, x(k-N+1)] = [0, 0, 0, \dots, 1, \dots, 0] \quad (5)$$

【0046】

この(5)式で、参照信号xが値1のインパルスとなる位置jは、時系列kが進んでいくのに従って右側に1個ずつずれて行き、一番右側の「N-1」番目までずれると、次の時系列では、新たなインパルス値が一番左の0番目に表れる事になる。即ち、上記参照信号xは、値1のインパルスの位置を0番目からN-1番目まで巡回させただけのデータ列となる。この式(5)を、前述の式(1)(3)に当て嵌めると、次の(6)(7)式を得られる。

20

【数6】

$$y(k) = \sum_{i=0}^{N-1} w_k(i) \cdot x(k-i) = w_k(j) \cdot x(k-j) = w_k(j) \quad (6)$$

【数7】

$$w_{k+1}(j) = w_k(j) + 2\mu \cdot e(k) \cdot x(k-j) = w_k(j) + 2\mu \cdot e(k) \quad (7)$$

30

【0047】

同期式でない、通常のLMSアルゴリズムで適応フィルタ16を作動させる場合には、前述した様に、各式(1)(2)(3)に示す計算を繰り返し行なう必要があるのに対して、同期式LMSアルゴリズムで適応フィルタを作動させる場合には、上記(6)(7)式及び式(2)に示す計算を行なうだけで済む。例えば、適応フィルタ16のタップ数Nを60とした場合、通常のLMSアルゴリズムで適応フィルタ16を作動させると、エンコーダ1ピッチ毎の演算の回数の合計は、前述した様に241回になる。これに対して、同期式LMSアルゴリズムで適応フィルタ16を作動させる場合には、上記(6)式はデータ入れ替えのみで演算なし、上記(2)式で引き算1回、上記(7)式で掛け算1回と足し算1回との2回、合計で3回の四則演算を、上記エンコーダ13aの1パルス毎に行なえば良い。即ち、LMSアルゴリズムとして同期式を採用する事で、採用しない場合に比べて、演算の回数を凡そ1/80に削減できる。

40

【0048】

但し、上記適応フィルタ16を作動させるのに同期式LMSアルゴリズムを採用した場合に、前記ラジアル荷重 $F_r$ に基づく変位を表す信号であるDC成分までもがキャンセルされる事を防止する為に、上記適応フィルタ16の零点を補正する必要がある。以下、この零点補正に就いて説明する。この零点補正が必要な現象の具体例として、エンコーダの振れ回りによる速度検出誤差の1例を、図5に示す。この図5に示した線図は、前述の図4の場合と同様に、検出すべきラジアル荷重 $F_r$ に基づく変位は100 $\mu$ mの一定値（破線口）であり、センサリング12の外周面（被検出面）の振れ回り量が $\pm 30 \mu$ mである

50

場合に於ける、上記適応フィルタ 16 の効果を、コンピュータ上で計算した結果に就いて示している。前記ハブ 2 に設置したエンコーダ 13 a の被検出面の特性変化は、60 パルス / 1 回転とした。実線イが、前記変位センサ 11 の検出信号をそのまま利用した計算結果である。この場合には、上記センサリング 12 の外周面の振れ回りにより、この計算結果が約 70 ~ 130  $\mu\text{m}$  の間を変動している。

#### 【0049】

この図 5 に実線イで示す様な回転速度に関する計測データを、前述の図 2 に示す様な適応フィルタ 16 を用いて処理し、上記エンコーダ 13 a の振れ回りに基づく誤差をキャンセルした場合、この適応フィルタ 16 の設定値によっては、この振れ回りに基づく誤差成分に加えて、検出対象であるラジアル荷重  $F_r$  に基づく外輪 1 と前記ハブ 2 との径方向に関する相対変位量を表す DC レベル (図 5 に破線ロで示した 100  $\mu\text{m}$  を表す信号) もキャンセルしてしまう可能性がある。この様に、必要とする DC レベルまでキャンセルする現象は、上記適応フィルタ 16 を動作させる LMS アルゴリズムとして同期式を採用した場合に顕著である。図 5 に示した鎖線ハが、その具体例である。

#### 【0050】

上記適応フィルタ 16 を動作させる LMS アルゴリズムとして同期式を採用し、特に対策を施さない場合には、上記鎖線ハで示す様に、上記センサリング 12 の外周面の振れ回りに基づく変動成分だけでなく、上記ラジアル荷重  $F_r$  に基づく外輪 1 と前記ハブ 2 との径方向に関する相対変位量を表す DC 成分までもがキャンセルされて、出力値が零となる。これは、適応動作によって上記適応フィルタ 16 のフィルタ係数  $w$  が DC レベルを持ってしまい、結果としてこの適応フィルタ 16 の出力信号  $y$  が DC レベルを持ってしまう為に生じる現象である。この問題を解決する為に本実施例の場合には、図 6 に示す様に、上記フィルタ係数  $w$  の平均値から上記 DC レベルを算出し、この DC レベルに参照信号  $x$  のインパルス値を掛け算した DC 信号を計算しておく (インパルス値が 1 である場合には掛け算不要)。そして、図 6 に示す様に、上記適応フィルタ 16 によって誤差をキャンセルされた信号  $e$  に、上述の様に計算した DC 信号 (次述する  $w$  の平均値) を加える事で、正確な回転速度を表す DC レベルを得られる様にしている。

#### 【0051】

次に、上記フィルタ係数  $w$  の平均値から、上記 DC レベルを算出する方法に就いて説明する。同期式 LMS アルゴリズムにより適応フィルタ 16 を動作させる事で、変位センサ 11 の出力信号から得られる回転速度を表す信号中に含まれる誤差成分をキャンセルし、上記図 5 の鎖線ハで示す様に出力値が零になる様な場合に於ける、上記適応フィルタ 16 のフィルタ係数は、図 7 に示す様に変動する。上記図 5 に示した例では、この適応フィルタ 16 のタップ数  $N$  を 60 としたので、上記図 7 に示したフィルタ係数  $w$  は、60 個の値から構成されている。このフィルタ係数  $w$  の平均値、即ち、求めようとする回転速度を表す DC レベルは、上記 60 個の値を総て合計してから 60 で除すれば求められる。但し、この様な計算を行なうと、演算回数が増大して、本実施例の目的である、CPU の低廉化を十分に図れなくなる。

#### 【0052】

ところで、誤差キャンセルの対象、即ち、前記エンコーダ 13 a の振れに基づくうねりは、回転一次を主体とする回転  $n$  次成分である。又、本実施例の場合には、適応フィルタ 16 のタップ数  $N$  を、エンコーダ 1 回転当りのパルス数と等しくしているので、上記フィルタ係数  $w$  は、周期が  $N$  ( $= 60$ ) の周期関数となる。上記図 7 に示した例では、回転一次の周期関数となっている。従って、 $N/2$  ( $= 30$ ) なる間隔を設定した任意の 2 点の平均値は、全体  $N$  ( $= 60$ ) 点の平均値と等価になる。そこで、この様な 2 点の平均値を求め、上記回転速度を表す DC レベルとすれば、演算回数も大幅に低減できて、上記 CPU の低廉化の面から有利である。もし、2 点だけの平均で信頼性に不安が残る場合は、上記 2 点とは別に、 $N/2$  ( $= 30$ ) なる間隔を設定した任意の 2 点を選択し、合計 4 点の平均値を演算する。尚、図示はしないが、フィルタ係数  $w$  が回転  $n$  次の周期関数の場合も、平均点を求める為の点の数を適宜増やし、その間隔を適切に設定する事で、上記平均値

を同様に求められる。

【0053】

本実施例の構造により、エンコーダ13aの振れ回りに基づく変動を抑える作用に就いてのシミュレーションの1例を、図8に示した。この図8は、前述した図4、5と同様に、検出すべきラジアル荷重 $F_r$ に基づく変位は $100\mu\text{m}$ の一定値であり、センサリング12の外周面（被検出面）の振れ回り量が $\pm 30\mu\text{m}$ である場合に就いて示している。図8の実線イは、上記変位センサ11の検出信号をそのまま利用した計算結果である。この場合には、上記センサリング12の外周面の振れ回りにより、この計算結果が約 $70\sim 130\mu\text{m}$ の間を変動している。この場合には、エンコーダ13aの振れ回りにより、上記変位に関する算出値が、約 $70\sim 130\mu\text{m}$ の間を変動している。図8の破線ロは、前述の図6に示した同期式LMSアルゴリズムにより動作する適用フィルタ16を用い、且つ、上述したフィルタ係数 $w$ によるDC成分の補正を実施して、変位センサ11の出力信号から得られる回転速度を表す信号中に含まれる誤差成分をキャンセルした結果である。上記破線ロから明らかな通り、上記適応フィルタ16の始動直後はデータが変動しているものの、短時間経過後にフィルタ係数 $w$ が自己適応して、算出結果が、ほぼ $100\mu\text{m}$ の一定値に収束した。

10

【0054】

上述の様に、同期式を使用しない通常のLMSアルゴリズムでは、前記(1)(2)(3)式に示す様に多数の繰り返し演算を必要とするのに対して、同期式LMSアルゴリズムでは、(6)(2)(7)式の計算を行なうだけで済むので、廉価なCPUで演算器を構成できるメリットがある。但し、同期式LMSアルゴリズムの適応速度は、上記(1)(2)(3)式のLMSアルゴリズムと比べて遅くなる事や、適応フィルタ16の出力値 $y$ の平均値を補正する必要がある等のデメリットがある。従って、通常のLMSアルゴリズムを利用するか、同期式LMSアルゴリズムを利用するかは、状況や使用目的に応じて使い分ける。

20

【0055】

又、以上に述べた説明では、上記変位センサ11の出力をサンプリングする間隔を、エンコーダ13aの特性変化（パルス）の間隔と一致させる事を前提とした。但し、本発明の転がり軸受ユニットの荷重測定装置を実施する場合に上記サンプリング間隔は、任意に設定した（但し固定の）間隔で、上記変位センサ11の出力と、上記エンコーダ13aの被測定面の特性変化に基づく回転検出センサ15aの検出信号を利用する参照信号 $x$ とをサンプリングしても良い。

30

【実施例3】

【0056】

本発明の実施例3に就いて説明する。前述した実施例1及び上述した実施例2は、何れも、ハブ2又はセンサリング12自体の形状誤差等により生じる、このセンサリング12の外周面の径方向の振れに基づく回転一次の誤差成分を補正する場合である。これに対して本実施例は、各転動体9、9（図1参照）の径差等に基づいて上記センサリング12の外周面が径方向に振れる、公転一次の誤差成分を補正するものである。

【0057】

40

この様な公転一次の誤差成分を補正する場合、上記各転動体9、9の公転速度を、これら各転動体9、9を保持した保持器17の回転速度を検出する公転検出センサにより直接検出し、この公転検出センサの出力を参照信号 $x$ として利用する場合は、上記実施例1、2でハブ2又はセンサリング12自体の形状誤差等により生じる回転一次の誤差成分を補正する場合と同様にして行なえる。これに対して本実施例の場合には、上記ハブ2の回転速度を検出する為の回転検出センサ15aの出力を参照信号 $x$ として利用し、上記公転一次の誤差成分を補正する。従って、この回転検出センサ15aの検出信号から求められる、上記ハブ2の回転速度を、上記各転動体9、9の公転速度に換算した上で、上記実施例1又は実施例2と同様の信号処理を行なう。

【0058】

50

図 1 に示す様に、回転輪が内径側に設けられたハブ 2 であり、静止輪が外径側に設けられた外輪 1 である場合には、このハブ 2 の回転速度  $n_i$  と、上記各転動体 9、9 の公転速度  $n_c$  との関係は、下記の (8) 式となる。

【数 8】

$$n_i = \frac{2}{1 - \frac{d \cdot \cos \alpha}{D}} \cdot n_c \quad \text{--- (8)}$$

この (8) 式中、 $\alpha$  は上記各転動体 9、9 の接触角を、 $D$  はこれら各転動体 9、9 のピッチ円直径を、 $d$  はこれら各転動体 9、9 の直径を、それぞれ表している。

10

【0059】

上記各転動体 9、9 が 1 公転する間に、上記ハブ 2 は、上記 (8) 式で示される倍率分だけ回転する。従って、このハブ 2 の回転速度を検出する為のエンコーダ 13a の特性変化の回数 (パルス数) に上記 (8) 式から求められる倍率を掛け合せば (積を求めれば)、上記各転動体 9、9 の 1 公転に対応するパルス数と等価となる。例えば、上記接触角  $\alpha$ 、上記ピッチ円直径  $D$ 、上記直径  $d$  の具体的な数値から、上記 (8) 式が次の (9) 式で表されると仮定する。

【数 9】

$$n_i = 2.5 \times n_c \quad \text{--- (9)}$$

20

【0060】

この場合、上記ハブ 2 の回転速度を検出する為のエンコーダ 13a の特性変化の回数 (パルス数) が 60 パルス / 1 回転であると仮定すると、上記 (9) 式から、上記各転動体 9、9 が 1 公転する間に、 $60 \times 2.5 = 150$  パルスが発生する事になる。この事は、上記エンコーダ 13a が、150 パルス / 1 公転の公転検出用エンコーダと等価である事を意味する。従って、上記エンコーダ 13a の特性変化に対応してその出力信号を変化させる、回転検出センサ 15a の出力を、150 パルス / 1 公転の公転検出用エンコーダの回転に応じてその出力を変化させる公転検出センサの出力であると見做して、参照信号  $x$  として利用すれば、前記実施例 1 又は実施例 2 と同様の信号処理を行なう事で、公転一次の誤差成分を補正する事ができる。

30

【0061】

この場合に、前記 (8) 式で示される倍率と上記エンコーダ 13a の特性変化の回数 (パルス数) と掛け合わせて値が整数となる様に、このエンコーダ 13a の特性変化の回数を設定する事が望ましい。この理由は、仮に、このエンコーダ 13a の特性変化の回数が 61 パルス / 1 回転であると、公転検出用エンコーダの等価パルス数は、1 公転当たり、 $61 \times 2.5 = 152.5$  パルスとなり、端数が出てしまう為である。尚、端数が出ない様に上記エンコーダ 13a の特性変化の回数を設定しても、厳密には、上記 (8) 式及び (9) 式から求められる倍率は、転がり軸受ユニットの使用条件によって変化する。但し、その変化量は数% 以下程度と小さいので、事実上は定数として扱っても、適応フィルタの参照信号として利用する上では問題がない。

40

【産業上の利用可能性】

【0062】

本発明の回転速度検出装置は、実施例に示した様な、自動車の車輪を支持する転がり軸受ユニットに加わる荷重を測定する為の転がり軸受ユニットの荷重測定装置に限らず、各種回転機械装置の回転部材の回転速度を検出する為に利用できる。又、転がり軸受ユニットを構成する転動体は、図示の様な玉に限らず、円筒ころ、円すいころ、球面ころ等のもでも良い。更に、変位センサと被検出面とをアキシアル方向に対向させれば、転がり軸受ユニットに加わるアキシアル荷重を求める事もできる。

【図面の簡単な説明】

【0063】

50

【図 1】本発明の実施例 1 を示す、荷重測定用転がり軸受ユニットの断面図。

【図 2】適応フィルタによりセンサリングの外周面の振れ回りを低減する回路を示すブロック図。

【図 3】センサリングの外周面に存在する微小なうねりとこのセンサリングの外周面の振れ回りとに基づいて、変位センサの出力信号が変動する状態を示す線図。

【図 4】適応フィルタにより変位センサの出力信号の変動を低減する状態を示す線図。

【図 5】本発明の実施例 2 の必要性を説明する為に、適応フィルタを同期式 L M S アルゴリズムで動作させ、D C レベルに関する補正を行なわない場合に於ける、変位を表す信号の変動状況を示す線図。

【図 6】本発明の実施例 2 を示す、図 2 と同様の図。

10

【図 7】D C レベルに関する補正を行なう為にフィルタ係数をサンプリングする状態を示すグラフ。

【図 8】実施例 2 の効果を示す為、適応フィルタを同期式 L M S アルゴリズムで動作させ、D C レベルに関する補正を行なった場合に於ける、変位を表す信号の変動状況を示す線図。

【図 9】従来から知られている、ラジアル荷重測定用のセンサを組み込んだ転がり軸受ユニットの断面図。

【図 10】ノッチフィルタを使用して誤差成分を除去する経路を示す構成図。

【符号の説明】

【 0 0 6 4 】

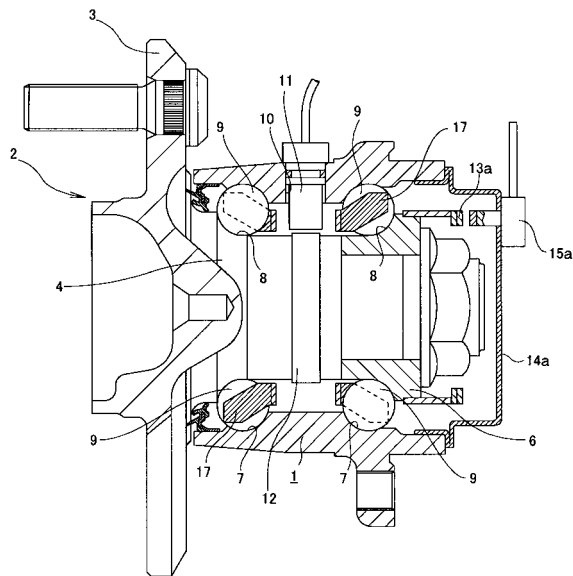
20

- 1 外輪
- 2 ハブ
- 3 回転側フランジ
- 4 ハブ本体
- 5 ナット
- 6 内輪
- 7 外輪軌道
- 8 内輪軌道
- 9 転動体
- 10 取付孔
- 11 変位センサ
- 12 センサリング
- 13、13 a エンコーダ
- 14、14 a カバー
- 15、15 a 回転検出センサ
- 16 適応フィルタ
- 17 保持器

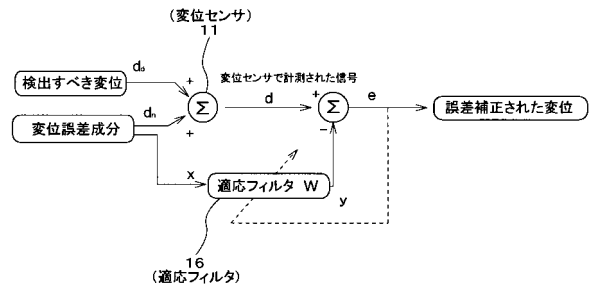
30



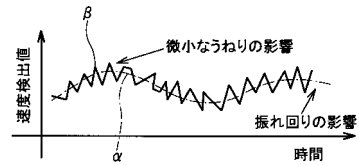
【図 1】



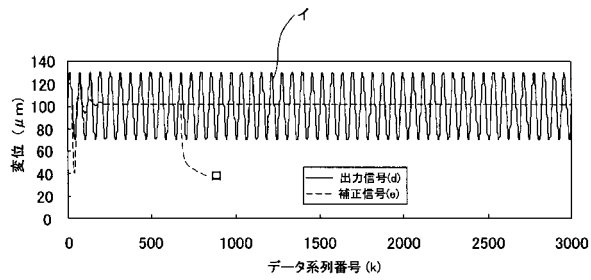
【図 2】



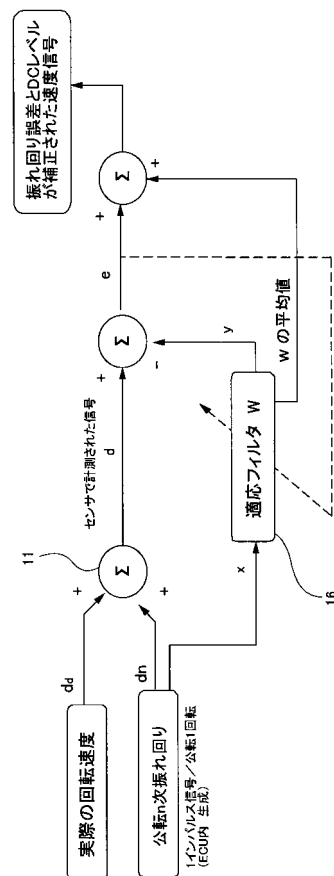
【図 3】



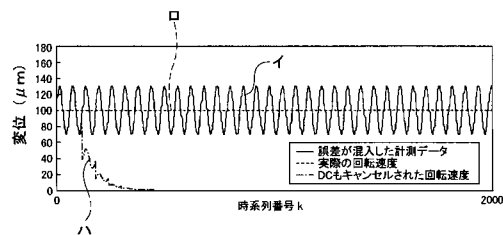
【図 4】



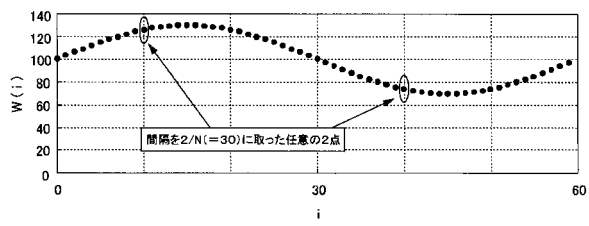
【図 6】



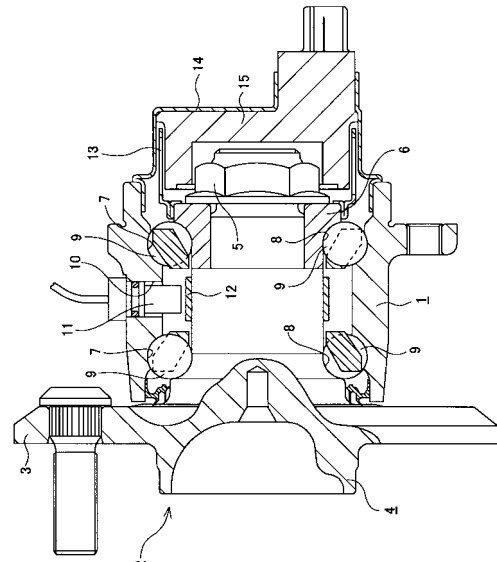
【図 5】



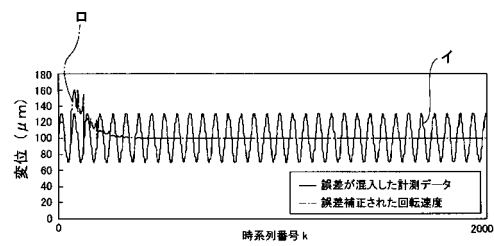
【図 7】



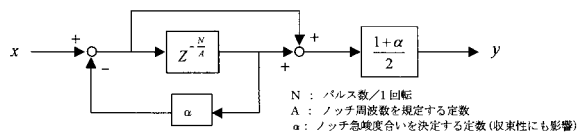
【図 9】



【図 8】



【図 10】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2001-021577(JP,A)  
特開平07-210178(JP,A)  
特開平11-231900(JP,A)  
特開平06-204801(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 0 1 L	5 / 0 0
B 6 0 G	1 7 / 0 0
F 1 6 C	1 9 / 1 8
F 1 6 C	3 3 / 5 8
F 1 6 C	4 1 / 0 0