



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 1 067 497 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
10.01.2001 Patentblatt 2001/02

(51) Int. Cl.⁷: **G08C 19/28**

(21) Anmeldenummer: **00114781.8**

(22) Anmeldetag: **10.07.2000**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(30) Priorität: **09.07.1999 DE 19932177**
16.07.1999 DE 19933491

(71) Anmelder:
• **Mehnert, Walter, Dr.**
D-85521 Ottobrunn (DE)
• **Theil, Thomas, Dr.**
85258 Aufhausen (DE)

(72) Erfinder:
• **Mehnert, Walter, Dr.**
D-85521 Ottobrunn (DE)
• **Theil, Thomas, Dr.**
85258 Aufhausen (DE)

(74) Vertreter:
Strasser, Wolfgang, Dipl.-Phys
Patentanwälte
Strohschänk, Uri, Strasser & Englaender
Innere Wiener Strasse 8
81667 München (DE)

(54) **Verfahren zur seriellen Übertragung von digitalen Messdaten**

(57) Bei einem seriellen Übertragungsverfahren für digitale Meßdaten von einem Sender an einen Empfänger, bei dem senderseitig wenigstens ein Absolutwert einer laufend gemessenen physikalischen Größe sowie deren Änderungen beschreibende Korrekturwerte in digitaler Form an den Empfänger übertragen werden, der aus den übertragenen Werten fortgeschriebene Meßwerte bildet, ist zur Erzielung niederer Übertragungsfrequenzen bei senderseitig sehr großem Datenanfall vorgesehen, daß sowohl sender- als auch empfängerseitig fortlaufend für jeweils einen Zeitpunkt (T_x), für den empfängerseitig noch kein neuer gemessener Wert (α_{Tx}) vorliegt, unter Verwendung der mathematischen Gleichungen, die die physikalischen Änderungsgesetze der messend zu erfassenden Größe beschreiben, ein exakter Wert (α_{Txb}) vorausberechnet wird, der empfängerseitig den fortgeschriebenen Meßwert darstellt, daß senderseitig beim Vorliegen des zum jeweils betrachteten Zeitpunkt (T_x) gehörenden gemessenen Wertes (α_{Tx}) dessen Differenz zum exakten berechneten Wert (α_{Txb}) gebildet wird, und daß wenigstens ein eine solche Differenz darstellender Korrekturwert ($\delta\alpha_{Tx}$) an den Empfänger übertragen wird.

EP 1 067 497 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur seriellen Übertragung von digitalen Meßdaten von einem Sender zu einem entfernt liegenden Empfänger gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1.

[0002] Im folgenden wird begrifflich zwischen tatsächlich gemessenen Werten (= Meßwerte) und berechneten Werten (= exakte Werte) unterschieden, wobei letztere deswegen so bezeichnet werden, weil sie, wie noch im Einzelnen dargestellt wird, innerhalb des jeweils geforderten Meßgenauigkeitsbereiches mit den zugehörigen, tatsächlich gemessenen Werten übereinstimmen und somit zu Recht als „exakt“ bezeichnet werden können.

[0003] Mit der Aussage, daß die physikalische Größe, deren Meßwerte übertragen werden sollen, „laufend gemessen“ wird, sollen sowohl Meßverfahren bezeichnet werden, die kontinuierlich Meßwerte liefern, als auch solche, bei denen die Meßwerte in sehr kurzen Zeitabständen diskontinuierlich anfallen.

[0004] Aus der DE-OS 44 43 959 ist ein solches Verfahren bekannt, bei dem der Sender unmittelbar bei einem Sensor angeordnet ist und dazu dient, vom Sensor gelieferte Meßdaten, die für die Übertragung in digitaler Form bereitgestellt werden, zu einem entfernt liegenden Empfänger derart zu übertragen, daß ein minimaler Aufwand hinsichtlich der Verbindungsleitungen getrieben werden muß. Der Sensor ist dabei eine Meßeinrichtung zur permanenten Erfassung einer physikalischen Größe, beispielsweise einer Temperatur, eines Druckes usw..

[0005] Ein besonders wichtiges Einsatzgebiet für diese Verfahren stellen Positions- und insbesondere Drehgeber dar, bei denen die zu erfassende physikalische Größe die Winkelposition einer sich drehenden Welle ist. Dabei kann diese Welle sowohl still stehen als sich auch mit einer hohen Drehzahl, beispielsweise 12.000 U/min, drehen.

[0006] Fordert man für eine derartige Anwendungssituation ein hohes Auflösungsvermögen von beispielsweise 22 Bit für eine volle Umdrehung von 2π und läßt man Beschleunigungen bzw. Verzögerungen von bis zu $1 \times 10^5 \text{ s}^{-2}$ zu, so ergeben sich bei dem bekannten Verfahren insofern Schwierigkeiten, als eine extrem hohe Übertragungsfrequenz gewählt werden muß, um die bei hohen Geschwindigkeiten anfallende, sehr große Zahl von Inkrementen einschließlich ihres Vorzeichens einzeln so zu übertragen, daß der Empfänger die jeweils aktuelle Winkelposition praktisch in Echtzeit als fortgeschriebenen Meßwert durch vorzeichenrichtige Addition der Inkremente zum letzten vollständig ermittelten Absolutwert aufbauen kann.

[0007] Demgegenüber liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art so weiterzubilden, daß eine serielle Übertragung der Meßdaten auch bei sehr großen Änderungsgeschwindigkeiten der zu erfassenden physikalischen

Größe praktisch in Echtzeit möglich wird, ohne daß hierfür extrem hohe Übertragungsfrequenzen benötigt werden.

[0008] Zur Lösung dieser Aufgabe sieht die Erfindung die im Anspruch 1 niedergelegten Merkmale vor.

[0009] Diesen erfindungsgemäßen Maßnahmen liegt die Erkenntnis zugrunde, daß dann, wenn die zeitliche Änderung einer physikalischen Größen stetig ist, d.h. durchgehend durch mathematische Gleichungen beschrieben werden kann, eine Ableitung n-ter Ordnung existiert, deren Änderung innerhalb entsprechend gewählter Meßintervalle den gemessenen Wert nur so beeinflusst, daß die geforderte Meßgenauigkeit erhalten bleibt.

[0010] Sollen die gemessenen Werte einer solchen physikalischen Größe erfaßt und vom Sender an den Empfänger übertragen werden, so kann statt einer Übertragung gemäß der DE-OS 44 43 959 innerhalb eines begonnenen Meßintervalls für jeden künftigen Zeitpunkt T_x , der in diesem Intervall oder an seinem Ende liegt, gleichzeitig sowohl auf Seiten des Senders als auch des Empfängers durch Lösung der entsprechenden mathematischen Gleichung, bei der es sich im allgemeinen um eine Differentialgleichung (n-1)-ter Ordnung handelt, ein „exakter Wert“ α_{T_xb} berechnet werden, wobei unter diesem Ausdruck ein Wert verstanden wird, dessen Abweichung von dem in dem künftigen Zeitpunkt T_x tatsächlich gemessenen Wert α_{T_x} so klein ist, daß er innerhalb der durch die geforderte Meßgenauigkeit definierten Grenzen mit diesem übereinstimmt.

[0011] Entsprechend dieser Meßgenauigkeit und unter Berücksichtigung der Änderungsmöglichkeiten, insbesondere der möglichen oder vorgesehenen Maximalwerte der zeitlichen Ableitungen der zu messenden physikalischen Größe, werden die Länge der Meßintervalle, das heißt der Abstand der Zeitpunkte, zu denen die gemessenen Werte erfaßt werden, sowie die Zahl n-ter Ordnung festgelegt, von der angenommen werden kann, daß sie sich innerhalb eines Meßintervalls nicht über einen vorgebbaren Maximalwert hinaus ändert. Diese Ordnungszahl n definiert dann die Anzahl der vorausgehend gewonnenen, gemessenen Werte $\alpha_{T_{x-1}}$, $\alpha_{T_{x-2}}$, $\alpha_{T_{x-3}}$, ... die gemeinsam mit den exakt bekannten Zeitpunkten T_{x-3} , T_{x-2} , T_{x-1} , zu denen sie aufgetreten sind, zur Lösung der Berechnungsgleichungen in diese eingesetzt werden müssen. Je höher die Ordnung n der zeitlichen Ableitung der Meßgröße (und damit der zu lösenden Differentialgleichungen) ist, deren Änderung die Meßgröße innerhalb des Meßintervalls im Rahmen der geforderten Meßgenauigkeit beeinflusst, um so größer muß die Anzahl der früheren, in die Berechnung einbezogenen gemessenen Werte sein.

[0012] Wenn zum Beispiel bei der messenden Überwachung der Drehung einer Welle die Änderung der Winkelbeschleunigung als konstant angesehen werden kann, genügt es theoretisch nach Erfassung eines Startmeßwertes sich bei der fortlaufenden

Berechnung neuer exakter Werte einmalig auf drei gemessene Werte zu stützen. Weitere Messungen und Korrekturwertübertragungen wären dann nicht mehr erforderlich. Dieser theoretische Fall ist denkbar, doch wird in der Praxis die Konstanz der Winkelbeschleunigung nur über einige Meßintervalle anhalten; daher ist es erforderlich, ständig Messungen durchzuführen und sich bei der forlaufenden Berechnungen jeweils auf drei frühere gemessene Werte zu stützen.

[0013] Sind die oben genannten Parameter erfindungsgemäß korrekt festgelegt, so stimmt der vorausberechnete exakte Wert α_{Txb} mit dem zum Zeitpunkt T_x tatsächlich gemessenen Wert α_{Tx} innerhalb der durch die definierte Meßgenauigkeit gegebenen Grenzen überein.

[0014] Die Annahme, daß sich die zeitliche Ableitung n-ter Ordnung der Meßgröße über einige wenige Meßintervalle nicht ändert ist realistisch, gilt aber nicht für beliebig viele aufeinanderfolgende Meßintervalle. Beginnt nun eine eintretende Änderung wirksam zu werden, so liegt der vorausberechnete exakte Wert α_{Txb} näher an einer der Grenzen des Meßgenauigkeitsbereiches, als dies ohne das Auftreten dieser Änderung der Fall wäre. Sein Herauslaufen aus dem Meßgenauigkeitsbereich wird erfindungsgemäß dadurch verhindert, daß unverzüglich nach dem Ende T_x eines jeden Meßintervalls senderseitig der in einigen wenigen Bits, in der Regel sogar in nur zwei Bits (nämlich +1, 0, -1) kodierbare Korrekturwert $\delta\alpha_{Tx} = \alpha_{Txb} - \alpha_{Tx}$ zwischen dem berechneten exakten und dem tatsächlich gemessenen Wert ermittelt und an den Empfänger übertragen wird. Das Vorzeichen dieses Korrekturwerts kann negativ oder positiv sein; wesentlich ist, daß auch der Korrekturwert 0 übertragen wird.

[0015] Der in diesem Korrekturwert enthaltene Einfluß der in einem Meßintervall zwar konstanten, sich über einen längeren, d.h. mehrere Meßintervalle umfassenden Zeitraum unter Umständen aber doch ändernden zeitlichen Ableitung n-ter Ordnung auf den Meßwert wird also ständig erfaßt und an den Empfänger übertragen, der ihn dann ebenso wie der Sender bei den nachfolgenden Berechnungen berücksichtigen kann, sodaß die weiterhin vorausberechneten exakten Werte $\alpha_{T(x+1)b}$, $\alpha_{T(x+2)b}$, usw. nach wie vor innerhalb des Meßgenauigkeitsbereiches mit den zugehörigen, erst nach der jeweiligen Berechnung auftretenden tatsächlich gemessenen Werten $\alpha_{T(x+1)}$, $\alpha_{T(x+2)}$, usw. übereinstimmen und somit zu Recht als „exakt“ bezeichnet werden können.

[0016] Für die hier besonders interessierende Fälle der messenden Verfolgung der translatorischen oder rotierenden Bewegung eines Körpers, beispielsweise der Winkelmessung einer rotierenden Welle, lassen sich für die Anwendbarkeit des erfindungsgemäßen Verfahrens zusammenfassend die drei Voraussetzungen konkretisieren,

- daß sowohl auf Seiten des Senders als auch des

Empfängers alle erfindungsgemäßen Berechnungen nach den gleichen, den physikalischen Ablauf beschreibenden Gesetzmäßigkeiten durchgeführt werden,

- 5 - daß für jeden gemessenen Wert α_{Tx} , der einer weiteren Verarbeitung zugeführt wird, der Zeitpunkt T_x exakt bekannt ist, für welchen er den jeweiligen momentanen Wert der erfaßten physikalischen Größe wiedergibt, und
- 10 - daß die zeitlichen Abstände $T_{x-3} - T_{x-2}$, $T_{x-2} - T_{x-1}$, $T_{x-1} - T_x$ usw. zwischen zwei aufeinanderfolgenden Zeitpunkten T_{x-3} , T_{x-2} bzw. T_{x-2} , T_{x-1} bzw. T_{x-1} , T_x , für die gemessenen Werte α_{Tx-3} , α_{Tx-2} , α_{Tx-1} , α_{Tx} ermittelt und gemäß der Erfindung weiterverarbeitet werden, so klein sind, daß in ihnen der jeweilige Beitrag, den die dritte zeitliche Ableitung der zu überwachenden physikalischen Größe (d.h. beispielsweise bei einer Winkelmessung die zeitliche Änderung der Winkelbeschleunigung) zum momentanen Wert liefert, nicht größer als die gewünschte Meßgenauigkeit bzw. Auflösung ist

[0017] Aus Sicherheitsgründen, die später noch erläutert werden, kann noch die Erfüllung einer vierten Voraussetzung wichtig sein, daß nämlich die oben genannten zeitlichen Abstände $T_{x-3} - T_{x-2}$, $T_{x-2} - T_{x-1}$, $T_{x-1} - T_x$ usw. ausreichen, daß in ihnen der jeweilige Beitrag, den die zweite zeitliche Ableitung der zu überwachenden physikalischen Größe (d.h. bei einer Winkelmessung die Winkelbeschleunigung) zum momentanen Wert liefert, in codierter Form innerhalb eines solchen zeitlichen Abstandes übertragen werden kann.

[0018] Dann bleibt die vom Sender ermittelte Abweichung des berechneten, exakten Wertes α_{Txb} von dem bei Eintreten des betrachteten Zeitpunktes T_x anfallenden, gemessenen Wert α_{Tx} so klein, daß sie als Korrekturwert $\delta\alpha_{Tx}$ in codierter Form auch in kürzester Zeit an den Empfänger übertragen werden kann, der damit den von ihm ebenfalls berechneten und bis dahin verwendeten exakten Wert α_{Txb} unverzüglich korrigiert.

[0019] Bei einer besonders bevorzugten Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens weisen die in die Meßwertermittlung eingehenden Zeitpunkte, d.h. sowohl die vergangenen Zeitpunkte T_{x-3} , T_{x-2} , T_{x-1} , für die auf beiden Seiten, d.h. beim Sender und beim Empfänger, bereits ein gemessener Wert α_{Tx-3} , α_{Tx-2} , α_{Tx-1} bekannt ist, als auch der Zeitpunkt T_x , für den zunächst ein exakter Wert α_{Txb} berechnet und dann, wenn der Sender den zugehörigen neuen, gemessenen Wert α_{Tx} kennt, ein zu übertragender Korrekturwert $\delta\alpha_{Tx}$ ermittelt wird, exakt gleiche zeitliche Abstände auf, die auf beiden Seiten bekannt sind.

[0020] Aufgrund dieser exakt gleichen Zeitabstände, (d.h. $T_{x-3} - T_{x-2} = T_{x-2} - T_{x-1} = T_{x-1} - T_x$ usw.) ist es möglich, den berechneten exakten Wert α_{Txb} bereits im Voraus, d.h. vor dem Eintreten des Zeitpunktes T_x dadurch zu berechnen, daß aus den beiden

zuletzt gemessenen Werten $\alpha_{T_{x-2}}$, $\alpha_{T_{x-1}}$ vorzugsweise durch lineare Extrapolation auf den künftigen Zeitpunkt T_x ein Zwischenwert berechnet und zu diesem ein für den letzten, bereits vergangenen Zeitpunkt T_{x-1} ermittelter Änderungswert $\Delta\alpha_{T_{x-1}}$ vorzeichenrichtig summiert wird, der seinerseits dadurch bestimmt wurde, daß aus den beiden gemessenen Werten $\alpha_{T_{x-3}}$, $\alpha_{T_{x-2}}$, die den Zeitpunkten T_{x-3} , T_{x-2} zugeordnet sind, welche dem dem betrachteten Zeitpunkt T_x vorausgehenden Zeitpunkt T_{x-1} vorausgehen, auf den vorausgehenden Zeitpunkt T_{x-1} linear extrapoliert und die Differenz zwischen dem so gewonnenen Zwischenwert und dem dem vorausgehenden Zeitpunkt T_{x-1} zugeordneten gemessenen Wert $\alpha_{T_{x-1}}$ gebildet wurde.

[0021] Der derart berechnete exakte Wert $\alpha_{T_{xb}}$ weicht nur dann vom gemessenen Wert ab, wenn sich der Beitrag, den die zweite zeitliche Ableitung der zu überwachenden physikalischen Größe zum momentanen Wert liefert im Zeitraum $T_x - T_{x-1}$ geändert hat. Der maximale Fehler kann nur noch gleich der dem Korrekturwert $\delta\alpha_{T_x}$ entsprechenden Abweichung des künftigen Änderungswertes $\Delta\alpha_{T_x}$, der sich für den betrachteten Zeitpunkt T_x ergibt, vom bereits bekannten Änderungswert $\Delta\alpha_{T_{x-1}}$ sein, liegt also dann, wenn die oben genannte dritte Bedingung erfüllt ist, im Rahmen der gewünschten Meßgenauigkeit.

[0022] Ist dann der Zeitpunkt T_x eingetreten, für den die betrachtete Vorausberechnung durchgeführt wurde, dann liegen der neueste gemessene Wert α_{T_x} und dessen Abweichung vom vorausberechneten exakten Wert $\alpha_{T_{xb}}$, d.h. also der neueste Korrekturwert $\delta\alpha_{T_x}$ vor, der allein an den Empfänger übertragen werden muß, damit dieser den tatsächlichen gemessenen Wert α_{T_x} exakt berechnen kann.

[0023] Da der Korrekturwert $\delta\alpha_{T_x}$ bei Gültigkeit der drei obigen Voraussetzungen erheblich kleiner als jeder der ohnehin kleinen Änderungswerte $\Delta\alpha_{T_{x-1}}$, $\Delta\alpha_{T_x}$ ist, kann er auch bei vergleichsweise niedriger Übertragungsfrequenz in so kurzer Zeit übertragen werden, daß der Empfänger mit Hilfe dieses Korrekturwerts $\delta\alpha_{T_x}$ nicht nur den für den Zeitpunkt T_x gültigen gemessenen Wert α_{T_x} sondern auch die Meßwerte mit der geforderten Genauigkeit und Auflösung in Echtzeit berechnen und einem Anwender zur Verfügung stellen kann, die für alle Zeitpunkte auftreten, die zwischen dem Zeitpunkt T_x und dem nächsten Zeitpunkt T_{x+1} , liegen, für den vom Sender ein neuer Korrekturwert $\delta\alpha_{T_{x+1}}$ geliefert wird. Dies gilt insbesondere auch für den Zeitpunkt, in welchem die Übertragung des Korrekturwerts $\delta\alpha_{T_x}$ beendet ist. Für die Berechnung von Zwischenwerten, die die physikalische Größe für Zeitpunkte darstellen, die zwischen den Zeitpunkten T_x und T_{x+1} liegen, wird unter anderem der letzte Änderungswert $\Delta\alpha_{T_x}$ in einen linearen und einen quadratischen Anteil aufgespalten.

[0024] Prinzipiell würde es also genügen, nur ein einziges Mal einen absoluten gemessenen Wert und einen Änderungswert und dann nur noch Korrekturwerte zu übertragen, mit deren Hilfe empfängerseitig

die Änderungswerte fortgeschrieben werden, wobei die fortgeschriebenen Änderungswerte ihrerseits dazu dienen, die absoluten Meßwerte fortzuschreiben.

[0025] Da bei einem reinen Fortschreibungsverfahren durch Übertragungsfehler, wie sie beispielsweise durch in den Übertragungsweg eingestreute Störungen entstehen, erhebliche Abweichungen zwischen den fortgeschriebenen und den tatsächlichen Werten auftreten können, werden, obwohl die Fehlerwahrscheinlichkeit durch die sehr kleinen Zeitabstände gering ist, vorzugsweise auch immer wieder gemessene Werte und Änderungswerte als solche übertragen, damit auf der Empfängerseite ein Abgleich vorgenommen werden kann. In diesem Fall muß dann die vorher genannte vierte Voraussetzung erfüllt sein.

[0026] Diese Übertragung erfolgt vorzugsweise bitweise oder bitgruppenweise verschachtelt mit der Übertragung der Korrekturwerte, damit die vorher genannten Bedingungen erfüllt bleiben.

[0027] Es sei nochmals betont, daß sich dann, wenn beim Empfänger ein neuer Korrekturwert $\delta\alpha_{T_x}$ vorliegt, dort nicht nur auf den zum betrachteten, inzwischen eingetretenen Zeitpunkt T_x am Sender vorhandenen gemessenen Wert α_{T_x} zurückrechnen läßt, sondern es auch möglich ist, für wenigstens einen nach dem betrachteten Zeitpunkt T_x liegenden Zeitpunkt T_{x+1} und alle dazwischen liegenden Zeitpunkte jeweils einen exakten Wert in Echtzeit vorauszuberechnen. Bedingung ist dabei lediglich, daß auch dieser spätere Zeitpunkt T_{x+1} den gleichen zeitlichen Abstand zum vorausgehenden Zeitpunkt T_x besitzt, der auch die übrigen Zeitpunkte voneinander trennt.

[0028] Die erforderliche exakte zeitliche Korrelation zwischen den verschiedenen Zeitpunkten läßt sich besonders einfach dadurch realisieren, daß diese Zeitpunkte aus einer quartzgenauen Frequenz abgeleitet werden, die vorzugsweise auf der Empfängerseite erzeugt und an den Sender übertragen wird.

[0029] Dabei kann diese Frequenz in an sich bekannter Weise so festgelegt werden, daß sie auf einer zur Übertragung dienenden Zweidrahtleitung eine stehende Welle bildet, die so strommoduliert wird, daß jede ihrer Halbwellen ein Bit der zu übertragenden Daten darstellen kann, wie dies in der EP 716 404 A1 beschrieben ist.

[0030] Bei den bisher ausdrücklich angesprochenen, übertragenen Korrekturwerten handelt es sich um kodierte Differenzen von Werten der zu messenden Größe, d.h. im Fall einer rotierenden Welle um Winkeldifferenzen. Aufgrund des bei der vorliegenden Variante vorgegebenen festen Zeitrasters (exakt gleich große Meßintervalle) ist dies äquivalent mit der Übertragung von Korrekturwerten, welche Änderungen einer höheren Ableitung wie z.B. der Winkelgeschwindigkeit oder Winkelbeschleunigung usw. unmittelbar darstellen. Bei der nachfolgend noch erläuterten Variante ohne festes Zeitraster kann es vorteilhaft sein, statt der Differenzen der „Ortswerte“ solche Differenzen höherer zeitlicher

Ableitungen als Korrekturwerte zu übertragen

[0031] Mit Hilfe der Vorausberechnung ist es auch möglich, Signallauf- und sonstige Verzögerungszeiten des Systems zu berücksichtigen. Befindet sich auf der Empfängerseite beispielsweise ein Regler, der anhand der vom Sensor gelieferten Meßdaten die zu überwachende physikalische Größe auf einen in veränderlicher Weise vorgebbaren Wert einregeln soll, so kann z.B. der zeitliche Abstand zwischen einem betrachteten Zeitpunkt T_x und einem nachfolgenden Zeitpunkt, für den auf der Empfängerseite ein exakter Wert vorausberechnet und an den Regler weitergegeben wird, solange verändert werden, bis dieser zeitliche Abstand den Systemverzögerungszeiten entspricht, was sich daran erkennen läßt, daß der Regler stabil arbeitet und nicht mehr schwingt.

[0032] Bei einer anderen Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens müssen die Zeitabstände zwischen den betrachteten Zeitpunkten T_{x-2} , T_{x-1} , T_x usw. nicht identisch gleich sein; es bleiben jedoch die Bedingungen bestehen, daß Sender und Empfänger die gleichen Berechnungsgrundlagen verwenden und daß jeder der variablen Zeitabstände so klein ist, daß sich in ihm der jeweilige Beitrag, den die dritte zeitliche Ableitung der zu überwachenden physikalischen Größe zum momentanen Wert liefert, nicht größer als die gewünschte Meßgenauigkeit bzw. Auflösung ist. Bei dieser Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens kann der berechnete exakte Wert α_{Txb} für einen betrachteten Zeitpunkt T_x erst nach dessen Eintreten berechnet werden und nachdem der Sender dem Empfänger ein die zeitliche absolute Lage dieses Zeitpunktes kennzeichnendes Zeitstempelsignal übertragen hat. Da diese Übertragung innerhalb kürzester Zeit erfolgen kann und auf sie dann ebenso sehr schnell die Übertragung des vom Sender berechneten Korrekturwertes erfolgt, ist auch hier der Empfänger trotz der Verwendung einer vergleichsweise niederen Übertragungsfrequenz in der Lage, dem tatsächlichen Verlauf der zu überwachenden physikalischen Größe durch Vorausberechnungen in Echtzeit zu folgen.

[0033] Für die Lösung der der vorliegenden Erfindung zugrundeliegenden Aufgabe wäre es kontraproduktiv, als Zeitstempelsignale komplette, kodierte Zeitmeßwerte zu verwenden, weil die dabei anfallende Datenmenge eine sehr hohe Übertragungsfrequenz erfordern würde.

[0034] Es wird daher bevorzugt, daß der Sender den Zeitabstand des jeweiligen Zeitpunktes T_x von einem vorgebbaren, periodisch wiederkehren signifikanten Punkt, vorzugsweise vom nächstfolgenden Nulldurchgang eines auf beiden Seiten zur Verfügung stehenden, quartzgenau periodischen Referenzsignals mißt und diesen Zeitabstand Δt_{sx} als Zeitstempelsignal an den Empfänger überträgt, der dann, wenn er die zeitliche Lage des betreffenden signifikanten Punktes des Referenzsignals kennt, einen exakten Zeitmeßwert bilden kann.

[0035] Damit der Empfänger die erforderliche Information bezüglich der zeitlichen Lage des betreffenden signifikanten Punktes des Referenzsignals erhält, genügt es, wenn ihm der Sender zu dem betrachteten Zeitpunkt T_x ein Signal mit sehr kurzer zeitlicher Länge, als das beispielsweise die Vorderflanke eines Signalbits dienen kann, sendet, und der Empfänger den Zeitabstand Δt_{Ex} dieses Signals zum nächsten auftretenden signifikanten Punkt des Referenzsignals mißt, der im allgemeinen, d.h. dann, wenn die Signallaufzeit auf der Übertragungsstrecke größer als eine halbe Periode des Referenzsignals ist, mit dem signifikanten Punkt, auf den sich das vom Sender ermittelte Zeitstempelsignal bezieht zwar nicht identisch, von diesem aber durch eine ganze Anzahl von Halbperioden des Referenzsignals getrennt ist.

[0036] Diese Anzahl von Halbperioden hängt auch von der als bekannt voraussetzbaren Signallaufzeit auf der Übertragungsstrecke ab. Unter der immer realisierbaren Annahme, daß die Schwankungen der Signallaufzeit nicht mehr als $\pm 1/4$ der Periodenlänge der Übertragungsfrequenz betragen, kann der Empfänger aus Δt_{Ex} , Δt_{sx} und dem ungefähren Wert der Signallaufzeit sowie der Periodenlänge des Referenzsignals den exakten Zeitpunkt T_x ermitteln, zu welchem der jeweilige Meßwert gewonnen wurde, ohne daß ihm vom Sender mehr als die Flanke des Signalbits und das zugehörige Zeitstempelsignal Δt_{sx} übertragen wurden, das sich mit einigen wenigen Bits kodieren läßt, da es ja nur dazu dient, eine Halbperiode des Referenzsignals mit der geforderten Genauigkeit aufzulösen.

[0037] Diese und andere vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen des erfindungsgemäßen Verfahrens sind in den Unteransprüchen niedergelegt.

[0038] Die Erfindung wird im folgenden anhand eines Ausführungsbeispiels beschrieben.

[0039] Zu diesem Zweck wird ein Drehgeber betrachtet, der die Drehung einer Welle mit einer Auflösung von 22 Bit absolut und weiteren 26 Bit je voller Umdrehung messend verfolgt, wobei die Welle eine maximale Drehzahl von 12.000 U/min erreichen kann und die maximale Beschleunigung $\pm 1 \times 10^5 \text{ s}^{-2}$ beträgt.

[0040] Die anfallenden Meßdaten werden vom Sender in digitaler Form auf einer verdrehten 2-Draht-Leitung an den Empfänger übertragen, in die, wie in EP 0 716 404 A1 beschrieben, vom Empfänger her eine gleichzeitig auch zur Stromversorgung der Senderseite dienende Wechselspannungswelle eingepreßt wird, deren Frequenz quartzgenau und auf die Leitungslänge so abgestimmt ist, daß sich zumindest für einen durch Strommodulation aufzuprägenden Binärzustand eine stehende Welle ergibt. Bei einer Leitungslänge von 150 m beträgt bei entsprechender relativer Dielektrizitätskonstante die Frequenz beispielsweise 329,5 kHz, woraus sich eine Schwingungsperiode von ca. 3 μs ergibt, innerhalb derer 2 Bit übertragen werden können.

[0041] Die Übertragung erfolgt in der Weise, daß Bits, die einen Winkelabsolutwert darstellen mit Bits

verschachtelt sind, die Korrekturwerte, Änderungswerte, Protokolldaten, Winkelbeschleunigungswerte, Elemente einer Identifizierungsmaske und weitere Informationen darstellen.

[0042] Ein geeignetes Protokoll kann beispielsweise die folgende Form besitzen:

k/k/ä/ä/ä/ä/ä/p/m/r/ k/k/ä/ä/ä/ä/ä/p/m/r/
k/k/ä/ä/ä/ä/ä/p/m/r/ k/k/ä/ä/ä/ä/ä/p/m/r/

wobei k ein Korrekturwertbit, ä ein Änderungswertbit, p ein Absolutwert-Positionsbit, m ein Maskenbit und r ein Reservebit für weitere Information bedeuten. Die Blöcke schließen dabei in Wirklichkeit unmittelbar aneinander an; die Abstände sind oben nur der Deutlichkeit halber eingefügt.

[0043] Die Reservebits können beispielsweise verwendet werden, um permanent geschachtelte Inkrementalwerte oder zwischendurch immer wieder einmal Winkelbeschleunigungswerte zu übertragen, die entweder durch mehrfache Differenzbildung aus den Positionsmeßwerten des Drehgebers gebildet oder von einem eigenen Beschleunigungssensor geliefert werden können.

[0044] Demgegenüber dienen die Maskenbits, die in jedem Block an beliebiger, nach erfolgter Festlegung aber immer gleicher Stelle vorgesehen werden können, zu Identifizierung des Wortanfangs.

[0045] Der Block k/k/ä/ä/ä/ä/ä/p/m/r/ hat hier eine Länge von 10 Bit und kann mit Hilfe von 5 Perioden der Frequenz von 329,5 kHz, d.h. in ca. 15 µs übertragen werden. Der Anfangszeitpunkt der Übertragung eines jeden solchen Blocks wird im folgenden als „Übertragungszeitpunkt“ T_x bezeichnet, für den auf seiten des Senders ein neuer gemessener Wert α_{Tx} vorliegen soll.

[0046] Da jeder Block nur ein einziges Bit für den Absolutwert der Winkelposition enthält, müssen 48 derartige Blöcke übertragen werden, bis der Empfänger einen vollständigen Absolutwert erhalten hat, der aber dann, wenn das letzte Bit den Empfänger erreicht, bereits ca. 720 µs „alt“ ist, d.h. sich vom momentanen Positionswert erheblich unterscheiden kann.

[0047] Um auf der Empfängerseite fortgeschriebene Meßwerte, die sich von der tatsächlichen Winkelposition möglichst wenig unterscheiden, in Echtzeit zur Verfügung stellen zu können, wird daher auf folgende Weise vorgegangen:

[0048] Es sei angenommen, daß sowohl auf der Sender- als auch auf der Empfängerseite bereits wenigstens drei zu früheren Übertragungszeitpunkten T_{x-3} , T_{x-2} und T_{x-1} gemessene Werte α_{Tx-3} , α_{Tx-2} und α_{Tx-1} bekannt sind. Dann liegt auch auf beiden Seiten ein für den Zeitpunkt T_{x-1} ermittelter Änderungswert $\Delta\alpha_{Tx-1}$ vor, so daß sowohl der Sender als auch der Empfänger bereits zum Zeitpunkt T_{x-1} einen exakten Wert α_{Txb} für den Zeitpunkt T_x nach der Rekursionsformel

$$\alpha_{Txb} = 2 \alpha_{Tx-1} - \alpha_{Tx-2} + \Delta\alpha_{Tx-1} \quad (1)$$

vorausberechnen können. Man sieht, daß aus den Werten α_{Tx-2} und α_{Tx-1} durch lineare Extrapolation auf T_x ein Zwischenwert $2\alpha_{Tx-1} - \alpha_{Tx-2}$ gebildet und mit dem Änderungswert $\Delta\alpha_{Tx-1}$, der für den letzten Übertragungszeitpunkt T_{x-1} gebildet wurde und der positiv oder negativ sein kann, summiert wird.

[0049] Dieser Änderungswert $\Delta\alpha_{Tx-1}$, der sich ebenso wie all anderen Änderungswerte $\Delta\alpha_T$ bei einer vorgegebenen maximalen Beschleunigung ε und einem vorgegebenen zeitlichen Abstand Δt den Wert $\varepsilon\Delta t^2$ nicht überschreiten kann, war seinerseits nach einer der Formel (1) entsprechenden Gleichung unter Verwendung der gemessenen Werte α_{Tx-3} , α_{Tx-2} , α_{Tx-1} für die Zeitpunkte T_{x-3} , T_{x-2} , T_{x-1} ermittelt worden:

$$\Delta\alpha_{Tx-1} = \alpha_{Tx-1} - (2 \alpha_{Tx-2} - \alpha_{Tx-3}) \quad (1a)$$

[0050] Bis zum Eintreten des Zeitpunktes T_x zu dem und für den beim Sender ein neuer korrekter gemessener Wert α_{Tx} vorliegt, wird der berechnete exakte Wert α_{Txb} als Ersatz für den künftigen gemessenen Wert α_{Tx} verwendet.

[0051] Tritt dann der Zeitpunkt T_x ein, so kennt zunächst nur der Sender den neuen, gemessenen Wert, mit dessen Hilfe er ohne relevante Zeitverzögerung den neuen Korrekturwert $\delta\alpha_{Tx}$ nach der Gleichung

$$\delta\alpha_{Tx} = \alpha_{Txb} - \alpha_{Tx} \quad (2)$$

berechnet.

[0052] Sobald dieser Korrekturwert einschließlich seines Vorzeichens durch die ersten beiden Bits k/k/ des gerade beginnenden Protokollblocks an den Empfänger übertragen ist, d.h. im vorliegenden Beispiel nach 3 µs, ist somit auch der Empfänger in der Lage, ohne relevante Zeitverzögerung den aktuellen, fortgeschriebenen, exakten gemessenen Wert α_{Tx} und den Änderungswert $\Delta\alpha_{Tx}$ nach den Gleichungen

$$\alpha_{Tx} = \alpha_{Txb} + \delta\alpha_{Tx} \quad (2a)$$

und

$$\Delta\alpha_{Tx} = \Delta\alpha_{Tx-1} + \delta\alpha_{Tx} \quad (3)$$

zu berechnen.

[0053] Es sei ausdrücklich darauf hingewiesen, daß dies bereits nach 3 µs möglich ist, d.h. noch bevor der vom Sender ebenfalls ermittelte aktuelle Änderungswert $\Delta\alpha_{Tx}$ an den Empfänger übertragen ist. Theoretisch müßte also $\Delta\alpha_{Tx}$ gar nicht mehr übertragen werden. Aus Sicherheitsgründen wird seine Übertragung in jedem Protokollblock aber vorzugsweise durchgeführt, um eventuell auftretende Übertragungsfehler erkennen und gegebenenfalls korrigieren zu können.

[0054] Es läßt sich zeigen, daß jeder Korrekturwert $\delta\alpha_T$ durch Rundungsfehler jeweils nur im Bereich von 0 bis -3 Inkrementen liegen kann (sich beim vorliegenden

Beispiel, das mit einem Beschleunigungsgradienten von $10^8/\text{s}^3$ von maximalen Bedingungen ausgeht, tatsächlich aber innerhalb von $< 32 \mu\text{s}$ allenfalls um 1 Inkrement ändern kann); somit ist seine Darstellung inkl. Vorzeichen mit nur zwei Bits und eine Übertragung innerhalb von $3 \mu\text{s}$ immer möglich. Da sich diese dritte zeitliche Ableitung der messend zu verfolgenden Winkelposition auch bei maximaler Winkelgeschwindigkeit und/oder - beschleunigung in dieser Zeit kaum ändert, geben die vom Empfänger für den Zeitraum von T_x bis T_{x+1} berechneten fortgeschriebenen Werte den jeweiligen tatsächlichen Meßwert in Echtzeit mit einer Genauigkeit von ± 1 Inkrement wieder.

[0055] Bei einem anderen Verfahren gemäß der Erfindung kann die Bedingung, daß die betrachteten Zeitpunkte, zu denen am Sender jeweils ein neuer gemessener Wert vorliegt, identische Abstände haben müssen, wegfallen. Dies erfordert allerdings, daß die Lage dieser Zeitpunkte auf einer absoluten Zeitskala genau bestimmt und durch ein Zeitstempelsignal gekennzeichnet wird, das dann vom Sender an den Empfänger übertragen werden muß. Eine spezielle Verfahrensweise, die es ermöglicht, ein solches hoch genaues Zeitstempelsignal mit einer vergleichsweise niedrigen Frequenz zu übertragen, wird später noch genauer erläutert.

[0056] Zwar müssen die Zeitabstände zwischen den betrachteten Zeitpunkten nicht mehr gleiche Längen aufweisen, doch gelten nach wie vor die oben genannten Voraussetzungen, daß Sender und Empfänger auf der Grundlage der gleichen Gesetzmäßigkeiten ihre Berechnungen ausführen, und daß jeder der nunmehr variablen Zeitabstände so klein ist, daß in ihm der jeweilige Beitrag, den die dritte zeitliche Ableitung der zu überwachenden physikalischen Größe zum momentanen Wert liefert, nicht größer als die gewünschte Meßgenauigkeit bzw. Auflösung ist.

[0057] Statt der vorher aufgeführten Gleichungen (1) bis (3) gelten dann etwas andere Beziehungen:

[0058] Es sei angenommen, daß das System zu einem Zeitpunkt T_0 mit einem gemessenen Wert $\alpha_{T_0} = 0$ beginnt. Für einen zu einem Zeitpunkt T_1 vorliegenden neuen gemessenen Wert α_{T_1} gilt dann:

$$\alpha_{T_1} = \frac{\varepsilon_{01}}{2} \Delta t_{01}^2 \quad (4)$$

wobei Δt_{01} die Zeitdifferenz zwischen den beiden Zeitpunkten T_0 und T_1 ist. Nach den Gleichungen

$$\varepsilon_{01} = \frac{2\alpha_{T_1}}{\Delta t_{01}^2} \quad (4a)$$

und

$$\omega_1 = \varepsilon_{01} \Delta t_{01} \quad (4b)$$

berechnet der Sender dann die im Zeitraum Δt_{01} aufgetretene mittlere Beschleunigung ε_{01} sowie die zum Zeitpunkt T_1 herrschende Geschwindigkeit ω_1 und sendet als erste Werte α_{T_1} und ein den Zeitpunkt T_1 kennzeichnendes Zeitstempelsignal (siehe unten) an den Empfänger, der hieraus einerseits Δt_{01} und andererseits nach den obigen Gleichungen (4a) und (4b) die mittlere Beschleunigung ε_{01} sowie die Geschwindigkeit ω_1 berechnen kann.

[0059] Hat dann der Sender zu einem Zeitpunkt T_2 einen neuen gemessenen Wert α_{T_2} so sendet er nicht diesen Wert sondern nur das den Zeitpunkt T_2 kennzeichnende Zeitstempelsignal, das den Empfänger in die Lage versetzt, den Zeitabstand Δt_{12} zwischen den Zeitpunkten T_2 und T_1 zu berechnen.

[0060] Auf der Grundlage dieser Werte können dann sowohl der Sender als auch der Empfänger einen exakten Wert $\alpha_{T_{2b}}$ für den gerade erst eingetretenen Zeitpunkt T_2 nach folgender Gleichung berechnen:

$$\alpha_{T_{2b}} = \alpha_{T_1} + \omega_1 \Delta t_{12} + \frac{\varepsilon_{01}}{2} \Delta t_{12}^2 \quad (5)$$

[0061] Es sei an dieser Stelle nochmals ausdrücklich betont, daß alle gemäß der Erfindung vorzunehmenden Berechnungen in einer so kurzen Zeit durchgeführt werden können, daß diese Rechenzeit im Vergleich zu den Übertragungszeiten vernachlässigbar klein sind.

[0062] Da der Sender bereits über den neuen gemessenen Wert α_{T_2} verfügt, kann er aus der Differenz Δt_{12} zwischen den Zeitpunkten T_1 und T_2 und dem gemessenen Wert α_{T_2} , der zum Zeitpunkt T_2 gewonnen wurde, die zu diesem Zeitpunkt herrschende Geschwindigkeit ω_2 , die im Zeitraum Δt_{12} herrschende mittlere Beschleunigung ε_{12} sowie den ersten Korrekturwert

$$\delta \alpha_{T_2} = \alpha_{T_2} - \alpha_{T_{2b}} \quad (6)$$

berechnen und diesen an den Empfänger übertragen, der mit Hilfe dieses Korrekturwertes $\delta \alpha_{T_2}$ aus dem bisher für den Zeitpunkt T_2 verwendeten berechneten exakten Wert $\alpha_{T_{2b}}$ den gemessenen Wert α_{T_2} berechnen kann.

[0063] Sender und Empfänger haben nun alle Parameter, um aus der Gleichung für den tatsächlichen gemessenen Wert

$$\alpha_{T_2} = \alpha_{T_1} + \omega_1 \Delta t_{12} + \frac{\varepsilon_{12}}{2} \Delta t_{12}^2 \quad (7)$$

die in dem Zeitraum zwischen T_1 und T_2 herrschende mittlere Beschleunigung ε_{12} zu berechnen.

[0064] Für einen später eintretenden Zeitpunkt T_3 ,

in welchem dem Sender ein neuer gemessener Wert α_{T3} vorliegt, überträgt der Sender zunächst wieder das zugehörige Zeitstempelsignal, so daß beide Seiten die Zeitdifferenz Δt_{23} berechnen können.

[0065] Aus dieser Zeitdifferenz Δt_{23} und der zum Zeitpunkt T_1 herrschenden Geschwindigkeit ω_1 sowie der nach Gleichung (7) ermittelten mittleren Beschleunigung ε_{12} berechnet der Empfänger nach der Gleichung

$$\omega_2 = \omega_1 + \varepsilon_{12} \Delta t_{23} \quad (8)$$

die im Zeitpunkt T_2 herrschende Geschwindigkeit ω_2 , so daß ihm nun mit Ausnahme des neuesten gemessenen Wertes α_{T3} bzw. des zugehörigen Korrekturwertes $\delta\alpha_{T3}$ die gleichen Informationen vorliegen, wie dem Sender und er nach einer der Gleichung (5) entsprechenden Gleichung einen neuen berechneten exakten Wert α_{T3b} für den Zeitpunkt T_3 berechnen kann.

[0066] Wenn an den Empfänger von einem Verwender eine Anfrage nach einem Meßwert kommt, der beispielsweise einem beliebigen zwischen den Zeitpunkten T_2 und T_3 liegenden Zeitpunkt T_{2x} zugeordnet ist, so kann der Empfänger für diesen Zwischenzeitpunkt T_{2x} mit Hilfe der ihm bereits zur Verfügung stehenden Daten einen exakten Wert nach folgender Gleichung berechnen:

$$\alpha_{T_{2xb}} = \alpha_{T_2} + \omega_2 \Delta t_{22x} + \frac{\varepsilon_{12}}{2} \Delta t_{22x}^2 \quad (9)$$

wobei Δt_{22x} der Zeitabstand zwischen den Zeitpunkten T_2 und T_{2x} ist.

[0067] Auch dieser berechnete exakte Wert α_{T2b} entspricht dem zu dem betreffenden Zeitpunkt T_{2x} tatsächlich vorhandenen Wert der zu überwachenden physikalischen Größe mit einer hoher Genauigkeit.

[0068] Für weitere Zeitpunkte T_4 , T_5 , T_6 usw. kann das eben beschriebene Verfahren in entsprechender Weise fortgesetzt werden.

[0069] Wichtig ist, daß die Übertragungen des Zeitstempelsignals und des Änderungswertes in einer wesentlich kürzeren Zeit erfolgen können, als sie für die Übertragung des vollständigen Meßwertes erforderlich wäre. Tatsächlich ist die gemäß der Erfindung benötigte Übertragungszeit so kurz, daß auch bei dieser Variante der Empfänger dem tatsächlichen Verlauf der zu überwachenden physikalischen Größe durch Vorausberechnung in Echtzeit folgen kann.

[0070] Von wesentlicher Bedeutung ist dabei, daß das Zeitstempelsignal den jeweiligen Zeitpunkt in so komprimierter Form darstellt, daß eine Übertragung innerhalb kürzester Zeit möglich ist.

[0071] Um dies zu realisieren, ist bei einer bevorzugten Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens vorgesehen, daß sowohl dem Sender als auch dem Empfänger ein als Zeitnormal dienendes, periodisches,

quarzgenaues Referenzsignal zur Verfügung steht, daß vorzugsweise vom Empfänger an den Sender gegeben wird. Auf beiden Seiten werden die Perioden bzw. Halbperioden dieses Referenzsignals ausgehend von einem Nullpunktsignal gezählt, das der Empfänger in der gleichen Weise an den Sender übermittelt, wie dies im folgenden für die Zeitsignalübermittlung vom Sender an den Empfänger erläutert wird.

[0072] Liegt dem Sender zu einem Zeitpunkt T_n ein neuer gemessener Wert vor, so sendet er als erstes an den Empfänger ein Signalbit, dessen Vorderflanke als Zeitmarke dient. Außerdem mißt der Sender den Zeitabstand Δt_{nS} dieser Zeitmarke zu einem vereinbarten signifikanten Punkt, beispielsweise zum nächsten Nulldurchgang des Referenzsignals und überträgt ihn als Zeitstempelsignal in codierter Form an den Empfänger.

[0073] Wenn der Empfänger die Zeitmarke erhält, mißt er ebenfalls deren Zeitabstand Δt_{nE} zu dem nächsten signifikanten Punkt, beispielsweise zum nächsten Nulldurchgang, des Referenzsignals. Aufgrund der Signallaufzeit auf der Übertragungsstrecke werden dabei die beiden eben erwähnten Nulldurchgänge im allgemeinen nicht identisch sein.

[0074] Unter der Voraussetzung, daß die Signallaufzeit auf der Übertragungsstrecke um nicht mehr als $\pm 1/4$ der Periodenlänge des Referenzsignals schwankt, kann der Empfänger aus dem übertragenen Zeitstempelsignal Δt_{nS} , dem von ihm selbst gemessenen Zeitabstand Δt_{nE} und der abgesehen von momentanen Schwankungen bekannten Signallaufzeit ermitteln, auf welchen Nulldurchgang sich das Zeitstempelsignal Δt_{nS} des Senders bezieht. Da dieses Zeitstempelsignal Δt_{nS} lediglich zur zeitlichen Auflösung einer Periodenlänge des Referenzsignals dient, kann es mit einigen wenigen Bits codiert und innerhalb kürzester Zeit übertragen werden.

[0075] Auch hier kommt wieder das erfindungsgemäße Prinzip zur Anwendung, daß sowohl auf Seiten des Senders als auch des Empfängers auf der Grundlage der gleichen mathematischen und physikalischen Gesetzmäßigkeiten Berechnungen durchgeführt werden, die es erlauben, auf Seiten des Empfängers Information mit maximaler Genauigkeit zu erhalten, obwohl nur ein Minimum an Information vom Sender übertragen wurde.

[0076] Im Gegensatz zu dem ersten der beiden geschilderten Verfahren, bei dem zur Übertragung zwischen Sender und Empfänger eine 2-Drahtleitung genügt, wird bei dem zuletzt erläuterten Verfahren vorzugsweise eine 3-Drahtleitung verwendet. Hier dient eine Leitung als Systemmasse. Die zweite überträgt die Versorgungsspannung und das Referenzsignal (z.B. 10 MHz). Die dritte wird zur bidirektionalen Datenübertragung herangezogen.

[0077] Man hat dann zwar eine Leitung mehr, dafür aber die Möglichkeit, große Datenmengen in beide Richtungen zu senden - und das wegen der extrem kurzen Zeitsschachtelung fast zeitgleich. Darunter ist zu

verstehen, daß für die Übertragung von Daten vom Sender an den Empfänger, die spätestens alle 32 μ s erfolgen muß, nur etwa 10 μ s benötigt werden. Die restliche Zeit kann für die Übertragung einer ähnlich großen Datenmenge in Gegenrichtung verwendet werden.

[0078] Dies bietet den Vorteil, daß auch vom Empfänger zum Sender eine große Menge von Daten mit hoher Frequenz übertragen werden kann, wobei eine ASSI-Schnittstelle (asynchron-synchron-serielles Interface) Verwendung finden kann.

[0079] Aus der vorausgehenden Beschreibung ergibt sich, daß die beschriebenen Verfahren nicht nur für Dreh- bzw. Winkelgeber sondern auch für Lineargeber und ganz allgemein Sensoren verwendet werden können, die andere physikalische Größen messend erfassen und verfolgen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur seriellen Übertragung von digitalen Meßdaten von einem Sender an einen entfernt liegenden Empfänger, wobei senderseitig wenigstens ein Absolutwert einer laufend gemessenen physikalischen Größe sowie Änderungen dieser Größe beschreibende Korrekturwerte in digitaler Form bereitgestellt und an den Empfänger übertragen werden, der aus den übertragenen Werten fortgeschriebene Meßwerte bildet, dadurch gekennzeichnet, daß sowohl auf seiten des Senders als auch auf Seiten des Empfängers fortlaufend für jeweils einen Zeitpunkt (T_x), für den auf seiten des Empfängers noch kein neuer gemessener Wert (α_{Tx}) vorliegt, unter Verwendung der mathematischen Gleichungen, die die physikalischen Änderungsgesetze der messend zu erfassenden Größe beschreiben, ein exakter Wert (α_{Txb}) vorausberechnet wird, der auf seiten des Empfängers den fortgeschriebenen Meßwert darstellt,

daß auf Seiten des Senders beim Vorliegen des zum jeweils betrachteten Zeitpunkt (T_x) gehörenden gemessenen Wertes (α_{Tx}) dessen Differenz zum exakten berechneten Wert (α_{Txb}) gebildet wird, und daß wenigstens ein eine solche Differenz darstellender Korrekturwert ($\delta\alpha_{Tx}$) an den Empfänger übertragen wird, wobei in die Berechnung des exakten Wertes (α_{Txb}) so viele bekannte gemessene Werte ($\alpha_{Tx-1}, \alpha_{Tx-2}, \dots$), von denen jeder für jeweils einen genau bekannten, früheren Zeitpunkt ($T_{x-1}, T_{x-2}, \dots$) ermittelt wurde, einbezogen werden, daß sich der die Differenz darstellende Korrekturwert ($\delta\alpha_{Tx}$) mit einer so kleinen Anzahl von zu übertragenden Bits kodieren läßt, daß die Abweichung zwischen dem berechneten und dem gemessenen Wert immer unterhalb der

geforderten Meßgenauigkeit bleibt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Zeitpunkte (T_{x-2}, T_{x-1}, T_x) gleiche zeitliche Abstände aufweisen, die sowohl auf seiten des Senders als auch auf seiten des Empfängers genau bekannt sind, und daß die Berechnung des zu einem betrachteten Zeitpunkt (T_x) gehörenden exakten Wertes (α_{Txb}) auf beiden Seiten bereits vor dem Eintreten des betrachteten Zeitpunkts (T_x) erfolgt.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorausberechnung des exakten Wertes (α_{Txb}) für einen betrachteten Zeitpunkt (T_x) durch vorzeichenrichtige Summation eines Änderungswertes ($\Delta\alpha_{Tx-1}$) und eines Zwischenwertes erfolgt, der durch Extrapolation aus den gemessenen Werten ($\alpha_{Tx-1}, \alpha_{Tx-2}$) ermittelt wurde, die zu den beiden dem betrachteten Zeitpunkt (T_x) vorausgehenden Zeitpunkten (T_{x-1}, T_{x-2}) gehören, wobei dieser Änderungswert ($\Delta\alpha_{Tx-1}$) gleich der Differenz zwischen dem zum vorausgehenden Zeitpunkt (T_{x-1}) gehörenden gemessenen Wert (α_{Tx-1}) und einem vorausgehenden Zwischenwert ist, der durch Extrapolation aus den gemessenen Werten ($\alpha_{Tx-2}, \alpha_{Tx-3}$) ermittelt wurde, die zu den beiden dem vorausgehenden Zeitpunkt (T_{x-1}) vorausgehenden Zeitpunkten (T_{x-2}, T_{x-3}) gehören,
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß nach der Übertragung des jeweiligen Korrekturwertes ($\delta\alpha_{Tx}$) auch der aktuelle Änderungswert ($\Delta\alpha_{Tx}$) übertragen wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Zeitpunkte (T_{x-2}, T_{x-1}, T_x) exakt mit einer, quarzgenauen, vom Empfänger erzeugten Übertragungsfrequenz synchronisiert sind.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Übertragung vom Sender zum Empfänger auf einer Zweidrahtleitung erfolgt, auf der vom Empfänger eine stehende elektrische Welle erzeugt wird, deren Frequenz die Übertragungsfrequenz ist.
7. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die zeitliche Lage der nicht notwendiger Weise gleiche zeitliche Abstände aufweisenden Zeitpunkte (T_{x-2}, T_{x-1}, T_x) messend erfaßt und durch ein entsprechendes Zeitstempelsignal gekennzeichnet wird, und daß die Berechnung des zu einem betrachteten Zeitpunkt (T_x) gehörenden exakten Wertes beim Sender unmittelbar nach Eintreten dieses Zeitpunktes (T_x) und beim Empfänger sofort dann erfolgt, wenn er vom Sender das den

betrachteten Zeitpunkt (T_x) markierende Zeitstempelsignal erhalten hat.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die messende Erfassung der zeitlichen Lage der Zeitpunkte (T_{x-2} , T_{x-1} , T_x) jeweils dadurch erfolgt, daß senderseitig der Zeitabstand des betreffenden Zeitpunktes (T_x) von einem vorgebbaren signifikanten Punkt einer definierten Periode eines sowohl auf seiten des Senders als auch auf seiten des Empfängers zur Verfügung stehenden, quartzgenau periodischen, elektrischen Referenzsignals gemessen und als Zeitstempelsignal (Δt_{sx}) an den Empfänger übertragen wird, der dieses unter Berücksichtigung der Signallaufzeit auf der Übertragungsstrecke verwertet. 5 10 15
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß als signifikanter Punkt der letzte dem betrachteten Zeitpunkt (T_x) unmittelbar nachfolgende Nulldurchgang des Referenzsignals verwendet wird. 20
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Berücksichtigung der Signallaufzeit auf der Übertragungsstrecke dadurch erfolgt, daß der Sender im betreffenden Zeitpunkt (T_x) ein Zeitmarkensignal an den Empfänger sendet, der dessen zeitlichen Abstand (Δt_{ex}) vom nächsten Nulldurchgang des elektrischen Referenzsignals mißt, und daß der Empfänger aus dem von ihm gemessenen zeitlichen Abstand (Δt_{ex}), dem Zeitstempelsignal (Δt_{sx}), der genau bekannten Periodendauer des elektrischen Referenzsignals und der in Einheiten dieser Periodendauer bekannten Signallaufzeit auf der Übertragungsstrecke, auf der das Zeitstempelsignal (Δt_{sx}) übertragen wird, den Nulldurchgang ermittelt, in bezug auf den der Sender das Zeitstempelsignal (Δt_{sx}) gemessen hat. 25 30 35 40
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Messungen der Zeitabstände (Δt_{sx} , Δt_{ex}) durch Zählen der Perioden eines quartzgenau periodischen Meßsignals erfolgen, dessen Frequenz eine entsprechend der gewünschten Auflösung der Referenzsignalperioden gewählte Größe besitzt. 45
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Messungen der Zeitabstände (Δt_{sx} , Δt_{ex}) auf analogem Weg erfolgen und die sich ergebenden Meßwerte digitalisiert werden. 50
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß das jeweilige Zeitstempelsignal (Δt_{sx}) in digitaler Form an den Empfänger übertragen wird. 55

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß für wenigstens einen Zeitpunkt, der zwischen einem betrachteten Zeitpunkt (T_x) und dem nächsten, in einem genau definierten Zeitabstand folgenden Zeitpunkt (T_{x+1}) liegt, ein exakter Wert durch Interpolation vorausberechnet wird.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Übertragung zwischen Sender und Empfänger auf einer 3-Drahtleitung erfolgt, wobei auf einem der Drähte die Systemmasse (V_{ss}) liegt, während auf dem zweiten Draht die Versorgungsspannung (V_{DD}) und das Referenzsignal liegen und der dritte Draht als bidirektionale Datenleitung dient.
16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die physikalische Größe die Position eines Körpers bezüglich seiner Umgebung ist.
17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Änderungswerte senderseitig durch Zählen von Inkrementen ermittelt werden, wobei für eine der beiden Bewegungsrichtungen eine Aufwärtszählung und für die andere eine Abwärtszählung erfolgt.
18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß senderseitig zunächst in analoger Form ermittelte Positions- und/oder Änderungswerte vor der Übertragung digitalisiert werden.
19. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Analogwerte, die für die Analog/Digitalwandlung bestimmt sind, zu Zeitpunkten festgehalten werden, die mit einer quartzgenauen Frequenz korreliert sind.
20. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die verschiedenen Werte darstellenden Bits verschachtelt übertragen werden.
21. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Bits gruppenweise verschachtelt übertragen werden.
22. Verfahren nach einem der Ansprüche 20 oder 21, dadurch gekennzeichnet, daß senderseitig die Inkremente über die Zeitpunkte (T_{x-1} , T_x , T_{x+1}) hinweg zumindest über den Zeitraum fortlaufend weitergezählt werden, der für die vollständige verschachtelte Übertragung eines Absolutwertes erforderlich ist.