



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 101 63 504 B4** 2005.07.07

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **101 63 504.4**  
(22) Anmeldetag: **21.12.2001**  
(43) Offenlegungstag: **10.07.2003**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **07.07.2005**

(51) Int Cl.7: **G01D 5/244**  
**G01B 7/30, G01D 3/02**

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden.

(71) Patentinhaber:  
**Siemens AG, 80333 München, DE**

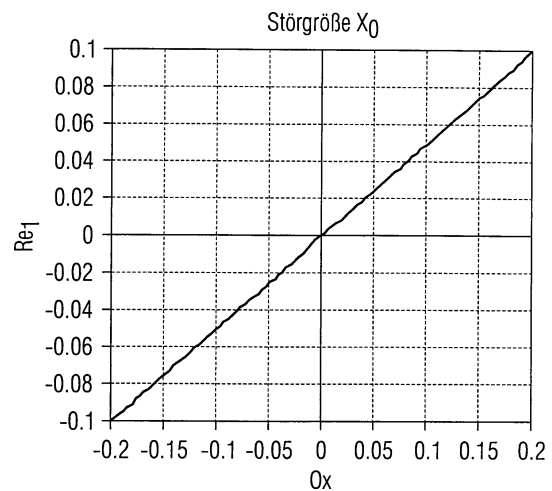
(72) Erfinder:  
**Walter, Andreas, 90411 Nürnberg, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:  
**DE 199 14 447 A1**  
**DE 101 12 772 A1**  
**Tagungsband SPS/IPC/DRIVES, Elektrische**  
**Automati-**  
**sierungstechnik - Systeme und Komponenten,**  
**Fach-**  
**messe & Kongress, 23.-25. November 1999,**  
**Nürnberg,**  
**S. 617-626;**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur iterativen Fehlerkompensation von sin/cos-Lagemesssystemen nach Offset-, Amplituden- und Phasenfehler**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Auswertung von sin/cos-Lagemesssystemen mit iterativer Fehlerkompensation mit den folgenden Verfahrensschritten:

- Ermitteln von Messwerten der Cosinus-Spur (x) und der Sinus-Spur (y) pro Signalperiode, wobei eine Anzahl von  $n=2^Z$  Messwerten pro Signalperiode ermittelt wird und wobei eine Anzahl von möglichst äquidistanten Messwerten pro Signalperiode ermittelt wird,
- Schätzen von Offsetfehler ( $x_0$ ,  $y_0$ ) und/oder Amplitudenfehler (a/b) und/oder Phasenfehler ( $\Delta\varphi$ ) oder von dazu proportionalen Größen aus den ermittelten Messwerten mit einer Fourieranalyse, wobei
- Fourierkoeffizienten für die Grundschiwingung und für die erste Oberschiwingung ermittelt werden und
- Offsetfehler ( $x_0$ ,  $y_0$ ) im wesentlichen aus den Fourierkoeffizienten der Grundschiwingung bestimmt werden und,
- Amplitudenfehler (a/b) und/oder Phasenfehler ( $\Delta\varphi$ ) im wesentlichen aus den Fourierkoeffizienten der ersten Oberschiwingung bestimmt werden, wobei
- jeweilige geschätzte Fehlerparameter durch iterative Anwendung der Fourieranalyse zu annähernd exakten Korrekturwerten verfeinert werden und wobei
- die Kompensation der bestimmten Fehlerparameter ( $x_0$ ,  $y_0$ , a/b,...



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Auswertung von sin/cos-Lagemesssystemen mit iterativer Fehlerkompensation auf der Basis der Ermittlung von Messwerten der Cosinus-Spur und der Sinus-Spur.

**[0002]** Lagemesssysteme werden beispielsweise als Läuferlage-Gebersysteme eingesetzt. Dabei unterscheidet man zwischen den Typen Kodierer (Encoder) und Resolver. Beide Systeme erfüllen die Aufgabe, eine Winkelgröße in eine in der Regel digitale Ausgangsgröße zu übertragen, z.B. ein digitales Lagesignal zur Steuerung eines Wechselrichters. Neben den sogenannten absoluten Lagemesssystemen sind heute die inkrementellen Lagemesssysteme im Einsatz, die häufig über einen Sinus-/Cosinus-Ausgang verfügen.

**[0003]** Dabei wird die Lageinformation über die Signalperioden gezählt (im folgenden als Groblage bezeichnet). Außerdem kann man durch Auswerten der Sinus- und Cosinus-Spur die Lage innerhalb einer Signalperiode (im folgenden als Feinlage bezeichnet) noch genauer bestimmen. Dazu existieren bereits eine Reihe bekannter Verfahren. Diese Verfahren können umso genauer arbeiten, wie die Fehler der Sinus- und Cosinus-Spur bezüglich Offset-, Amplituden- und Phasenfehler korrigiert werden. Für die Korrektur sind verschiedene Verfahren bekannt.

## Stand der Technik

**[0004]** Aus der deutschen Offenlegungsschrift DE 101 12 772 A1 ist ein Verfahren zum Kompensieren periodischer Signale an einem Sensorausgang bekannt. Das Verfahren umfasst das Ermitteln eines Summensignals aus Sensor-Ausgangsgrößen von M Sensorelementen, das Ermitteln von Amplitude und Phase von N Frequenzkomponenten in dem Summensignal und das Berechnen eines Sensor-Ausgangssignal-Verstärkungseinstellkoeffizienten für jeden Sensorausgang.

**[0005]** Aus der deutschen Offenlegungsschrift DE 199 14 447 A1 ist ein selbst kalibrierendes Positionsmesswandlersystem und ein diesbezügliches Verfahren bekannt. Das Positionsmesswandlersystem bzw. das Verfahren benutzt den Positionsmesswandler selbst als Positionsreferenz während der Kalibrierung, wodurch die Verwendung einer äußeren Referenz während der Kalibrierung eliminiert wird.

**[0006]** Aus der Druckschrift "iee Automatisierung-Tagungsband", SPS/IPC/DRIVES, Elektrische Automatisierungstechnik - Systeme und Komponenten, Fachmesse & Kongress, 23.-25. November 1999 Nürnberg, Seiten 617-626, ist ein Verfahren zur Erhöhung der Genauigkeit bei Wegmeßsystemen durch selbstlernende Kompensation systematischer Fehler bekannt. Bei dem Verfahren werden über eine Modellbildung des Weggebers sämtliche deterministischen Fehler erfasst, in geeigneter Form abgespeichert und anschließend zur Korrektur weiterer Messwerte herangezogen.

**[0007]** Bisher gibt es analoge oder quasianaloge Regler, die die Amplituden und Offsetfehler ermitteln und kompensieren. Der Phasenfehler wird bislang vom Benutzer über einen parametrierbaren festen Wert abgeglichen. Der Abgleich erfolgt dabei jedoch nicht exakt, sondern es wird ein Signal mit der doppelten Frequenz der Sinus/Cosinus-Spur phasenrichtig abgezogen. Daneben existieren zwei weitere Verfahren: Ein von der Anmelderin vorgeschlagenes und bisher noch nicht veröffentlichtes Verfahren besteht darin, dass in aufwändiger Rechnung die Offset-, Amplituden- und Phasenfehler aus einer beliebigen Anzahl nicht unbedingt äquidistanter Messwerte errechnet werden. Ein anderes bereits bekanntes Verfahren besteht darin, dass die Fehler mittels einer Fouriertransformation aus einer Anzahl von  $2^n$  möglichst äquidistanten Werten abgeschätzt werden und der Winkel über eine Tabelle korrigiert wird. Die Fourieranalyse liefert die Fehler jedoch nur näherungsweise, was von Nachteil und daher unerwünscht ist.

## Aufgabenstellung

**[0008]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein Verfahren zur Fehlerkompensation vorzuschlagen, mit dem im Rahmen einer Fourieranalyse ein nahezu exaktes Ergebnis für Korrekturwerte erreicht werden kann.

**[0009]** Gemäß der vorliegenden Erfindung wird diese Aufgabe durch ein Verfahren zur Auswertung von sin/cos-Lagemesssystemen mit iterativer Fehlerkompensation mit den folgenden Verfahrensschritten:

- Ermitteln von Messwerten der Cosinus-Spur und der Sinus-Spur pro Signalperiode, wobei eine Anzahl von  $n=2^z$  Messwerten pro Signalperiode ermittelt wird und wobei eine Anzahl von möglichst äquidistanten Messwerten pro Signalperiode ermittelt wird,

- Schätzen von Offsetfehler und/oder Amplitudenfehler und/oder Phasenfehler oder von dazu proportionalen Größen aus den ermittelten Messwerten mit einer Fourieranalyse, wobei
- Fourierkoeffizienten für die Grundschiwingung und für die erste Oberschiwingung ermittelt werden und
- Offsetfehler im wesentlichen aus den Fourierkoeffizienten der Grundschiwingung bestimmt werden und,
- Amplitudenfehler und/oder Phasenfehler im Wesentlichen aus den Fourierkoeffizienten der ersten Oberschiwingung bestimmt werden, wobei
- jeweilige geschätzte Fehlerparameter durch iterative Anwendung der Fourieranalyse zu annähernd exakten Korrekturwerten verfeinert werden und wobei
- die Kompensation der bestimmten Fehlerparameter für eine Auswertung der Feinlage des Lagemesssystems nach

$$\varphi = \arctan\left(\frac{\hat{y}}{\hat{x}}\right) \quad \text{falls } \hat{x} > 0$$

$$\varphi = \arctan\left(\frac{\hat{y}}{\hat{x}}\right) + \pi \quad \text{falls } \hat{x} < 0$$

$$\varphi = \frac{\pi}{2} \cdot \text{sign}(\hat{y}) \quad \text{falls } \hat{x} = 0$$

$$\text{mit } \hat{y} = \frac{a}{b} \cdot (y - y_0)$$

$$\text{und } \hat{x} = \frac{x - x_0 + \hat{y} \cdot \sin(\Delta\varphi)}{\cos(\Delta\varphi)}$$

erfolgt.

**[0010]** Dabei empfiehlt es sich, dass eine Anzahl von  $n=2^Z$  Messwerten pro Signalperiode ermittelt wird. Außerdem sollte eine Anzahl von möglichst äquidistanten Messwerten pro Signalperiode ermittelt werden.

**[0011]** Weiter hat es sich als vorteilhaft erwiesen, wenn eine Kompensation der bestimmten Fehlerparameter  $x_0, y_0, a/b, \Delta\varphi$  für eine Auswertung der Feinlage  $\varphi$  des Lagemesssystems nach

$$\varphi = \arctan\left(\frac{\hat{y}}{\hat{x}}\right) \quad \text{falls } \hat{x} > 0$$

$$\varphi = \arctan\left(\frac{\hat{y}}{\hat{x}}\right) + \pi \quad \text{falls } \hat{x} < 0$$

$$\varphi = \frac{\pi}{2} \cdot \text{sign}(\hat{y}) \quad \text{falls } \hat{x} = 0$$

$$\text{mit } \hat{y} = \frac{a}{b} \cdot (y - y_0)$$

$$\text{und } \hat{x} = \frac{x - x_0 + \hat{y} \cdot \sin(\Delta\varphi)}{\cos(\Delta\varphi)}$$

erfolgt.

**[0012]** Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird als Startbedingung ein fehlerfreies Signal gemäß

$$x_0 = 0; y_0 = 0; \Delta\varphi = 0; \frac{a}{b} = 1$$

angenommenen und

- aus den Messwerten damit ein Winkel  $\varphi$  für die Feinlage errechnet, wobei
- eine Periode der Feinlage in  $n=2^Z$  gleichgroße Winkelbereiche aufgeteilt wird, wobei
- zu jedem Winkelbereich ein Messwert  $r$  gemäß

$$r = \sqrt{\hat{x}^2 + \hat{y}^2}$$

abgespeichert wird.

**[0013]** Dabei können eventuelle Winkelbereiche, für die kein Messwert vorliegt, durch Interpolation benachbarter Messwerte mit einem zugeordneten Messwert versehen werden.

**[0014]** Im weiteren hat es sich als günstig erwiesen, wenn die Fourierkoeffizienten getrennt nach Realteil und Imaginärteil wie folgt bestimmt werden:

$$c_k = \frac{1}{n} \cdot \sum_{m=0}^{n-1} r(m) \cdot e^{j \cdot 2\pi \cdot k \cdot \frac{m}{n}}$$

$$re_k = \frac{1}{n} \cdot \sum_{m=0}^{n-1} r(m) \cdot \cos\left(2\pi \cdot k \cdot \frac{m}{n}\right)$$

$$im_k = \frac{1}{n} \cdot \sum_{m=0}^{n-1} r(m) \cdot \sin\left(2\pi \cdot k \cdot \frac{m}{n}\right)$$

mit  $k=1$  für die Grundschwingung und  $K=2$  für die erste Oberschwingung.

**[0015]** Die Fehlerparameter aus den ermittelten Fourierkoeffizienten werden dann gemäß der Erfindung vorzugsweise wie folgt bestimmt:

$$re_1 \approx \frac{1}{2} \cdot x_0$$

$$im_1 \approx \frac{1}{2} \cdot y_0$$

$$re_2 \approx \frac{1}{4} \cdot (a - 1) \approx -\frac{1}{4} \cdot (b - 1)$$

$$im_2 \approx -\frac{1}{4} \cdot \Delta\varphi$$

**[0016]** Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung werden verfeinerte Fehlerparameter im Rahmen einer Iteration gemäß

$$x_0(t) = x_0(t-1) + 2 \cdot re_1$$

$$y_0(t) = y_0(t-1) + 2 \cdot im_1$$

$$\frac{a}{b}(t) = \frac{a}{b}(t-1) \cdot (1 + 4 \cdot re_2)$$

$$\Delta\varphi(t) = \Delta\varphi(t-1) - 4 \cdot im_2$$

ermittelt.

**[0017]** Eine besonders effektive Auswertung der Feinlage  $\varphi$  des Lagemesssystems erhält man durch:

$$\frac{\hat{y}}{\hat{x}} = \frac{(y - y_0) \cdot d}{x - x_0 + (y - y_0) \cdot q} \quad \text{mit} \quad d = \frac{a}{b} \cdot \cos(\Delta\varphi) \quad q = \frac{a}{b} \cdot \sin(\Delta\varphi)$$

**[0018]** In dem erfindungsgemäßen Verfahren wird also ein geschlossener Regelkreis aufgebaut, der nach ei-

nigen Iterationen einer Fourieranalyse ein annähernd exaktes Ergebnis für die gewünschten Korrekturwerte liefert.

**[0019]** Ein entscheidender Vorteil der Erfindung ist, dass die wenig aufwändige Abschätzung durch eine Fourieranalyse schließlich doch zu einer vollständigen Korrektur der Fehler führt.

#### Ausführungsbeispiel

**[0020]** Weitere Vorteile und Details, insbesondere im Hinblick auf die mathematischen Hintergründe der Berechnungen, ergeben sich anhand der folgenden Ausführungen und in Verbindung mit den Figuren. Diese zeigen in Prinzipdarstellung:

**[0021]** [Fig. 1](#) bis [Fig. 20](#) eine graphische Übersicht von ermittelten Real- und Imaginärteilen gemäß der Erfindung für die einzelnen Fehlerparameter bzw. Störgrößen im Arbeitspunkt eines fehlerfreien Signals.

**[0022]** Aufbauend auf dem oben genannten bekannten Verfahren einer näherungsweise Ermittlung von Korrekturwerten mittels einer Fourieranalyse werden zunächst die Offset-, Amplituden- und Phasenfehler aus einer Anzahl von  $2^Z$  möglichst äquidistanten Messwerten pro Signalperiode mit einer Fourieranalyse geschätzt.

**[0023]** In dem erfindungsgemäßen Verfahren wird nun ergänzend ein geschlossener Regelkreis aufgebaut, der einen iterativen Prozess zur Ermittlung eines nahezu exakten Ergebnisses für die gewünschten Korrekturwerte liefert, der im Folgenden näher erläutert wird.

**[0024]** Zur weiteren Verdeutlichung der Erfindung wird zunächst das folgende Signalmodell des Lagemesssystems zugrunde gelegt:

$$x = a \cdot \cos(\varphi + \Delta\varphi) + x_0$$

$$y = b \cdot \sin(\varphi) + y_0$$

**[0025]** Dabei steht  $x$  für die Cosinus-Spur,  $y$  für die Sinusspur. Die Bezeichnungen  $a$  und  $b$  sind die jeweiligen Amplituden der Spuren,  $x_0$  und  $y_0$  ist der jeweilige Signal-offset und  $\Delta\varphi$  ist der Phasenfehler,  $\varphi$  entspricht der Feinlage.

**[0026]** Idealerweise sollte  $a=b$  sein. Die Abweichung  $a/b$  wird als Amplitudenfehler bezeichnet. Sind die Fehlerparameter  $a/b$ ,  $x_0$ ,  $y_0$  und  $\Delta\varphi$  bekannt, so kann man die gesuchte Feinlage nach folgender Formel ermitteln:

$$\hat{y} = \frac{a}{b} \cdot (y - y_0)$$

$$\hat{x} = \frac{x - x_0 + \hat{y} \cdot \sin(\Delta\varphi)}{\cos(\Delta\varphi)}$$

$$\varphi = \arctan\left(\frac{\hat{y}}{\hat{x}}\right) \quad \text{falls } \hat{x} > 0$$

$$\varphi = \arctan\left(\frac{\hat{y}}{\hat{x}}\right) + \pi \quad \text{falls } \hat{x} < 0$$

$$\varphi = \frac{\pi}{2} \cdot \text{sign}(\hat{y}) \quad \text{falls } \hat{x} = 0$$

**[0027]** Die Fehlerparameter sollen aus den korrigierten Messwerten  $\hat{x}$  und  $\hat{y}$  ermittelt werden.

**[0028]** Dabei wird zunächst als Startbedingung ein fehlerfreies Signal

$$x_0 = 0; y_0 = 0; \Delta\varphi = 0; \frac{a}{b} = 1$$

angenommenen.

**[0029]** Aus den Messwerten  $x$  und  $y$  wird damit der Winkel  $\varphi$  errechnet. Eine Periode der Feinlage ( $\varphi = 0..360^\circ$ ) wird in  $n=2^2$  gleichgroße Winkelbereiche aufgeteilt. Zu jedem dieser Winkelbereiche, im Folgenden als „Winkelfächer“  $0..n-1$  bezeichnet, wird ein Messwert  $r$  gemäß

$$r = \sqrt{\hat{x}^2 + \hat{y}^2}$$

abgespeichert.

**[0030]** Wenn die Winkelfächer weitgehend mit Messwerten gefüllt sind, können eventuelle Lücken auch aus den Messwerten der benachbarten Winkelfächer interpoliert werden.

**[0031]** Für die gesammelten Daten werden Fourierkoeffizienten für die Grundschwingung und für die erste Oberschwingung ( $k=1$  bzw.  $k=2$ ) getrennt nach Real- und Imaginärteil wie folgt berechnet:

$$c_k = \frac{1}{n} \cdot \sum_{m=0}^{n-1} r(m) \cdot e^{j \cdot 2\pi \cdot k \cdot \frac{m}{n}}$$

$$re_k = \frac{1}{n} \cdot \sum_{m=0}^{n-1} r(m) \cdot \cos\left(2\pi \cdot k \cdot \frac{m}{n}\right)$$

$$im_k = \frac{1}{n} \cdot \sum_{m=0}^{n-1} r(m) \cdot \sin\left(2\pi \cdot k \cdot \frac{m}{n}\right)$$

**[0032]** Die Offsetfehler  $x_0$  und  $y_0$  bilden sich im wesentlichen in den Koeffizienten der Grundschwingung ( $re_1$  und  $im_1$ ) ab. Der Amplituden- und Phasenfehler erscheint im wesentlichen in den Koeffizienten der ersten Oberschwingung ( $re_2$  und  $im_2$ ).

**[0033]** Diese wesentliche Erkenntnis der Erfinder lässt sich anhand der Figuren [Fig. 1](#) bis [Fig. 20](#) gut nachvollziehen. Dabei ist für jede Störgröße der Verlauf der Koeffizienten der Grundschwingung ( $re_1$  und  $im_1$ ) sowie der Koeffizienten der ersten Oberschwingung ( $re_2$  und  $im_2$ ) in einem

Arbeitspunkt:  $x_0=0$   $y_0=0$   $a=1$   $b=1$   $\Delta\phi=0$   
graphisch aufgetragen.

**[0034]** Die Bezeichnungen sind wie folgt:

$x_0, y_0$	Störgröße Offsetfehler
$a/b$	Störgröße Amplitudenfehler
$\Delta\varphi$	Störgröße Phasenfehler
$re_1$	Realteil der Grundschwingung
$im_1$	Imaginärteil der Grundschwingung
$re_2$	Realteil der ersten Oberschwingung
$im_2$	Imaginärteil der ersten Oberschwingung

**[0035]** Die einzelnen Diagramme zeigen die Zusammenhänge für eine Berechnung mit  $n=64$  Winkelfächern und eine Variation der jeweiligen Störgröße um  $-0,2..+0,2$  ausgehend vom ungestörten Arbeitspunkt ( $x_0 = 0$ ;  $y_0 = 0$ ;  $\Delta\varphi = 0$ ;  $a = 1$ ;  $b = 1$ ). Man kann den Diagrammen entnehmen, dass in diesem Arbeitspunkt näherungsweise folgende Abhängigkeiten gelten:

$$re_1 \approx \frac{1}{2} \cdot x_0$$

$$im_1 \approx \frac{1}{2} \cdot y_0$$

$$re_2 \approx \frac{1}{4} \cdot (a-1) \approx -\frac{1}{4} \cdot (b-1)$$

$$im_2 \approx -\frac{1}{4} \cdot \Delta\varphi$$

**[0036]** Da diese Abhängigkeiten nur näherungsweise gelten und auch vom gewählten Arbeitspunkt abhängig sind, ist eine iterative Berechnung erforderlich um die Fehler exakt zu korrigieren. Da für die Berechnung des korrekten Winkels  $\varphi$  nur das Verhältnis von  $a/b$  erforderlich ist, stört es auch nicht, dass man in  $re_2$  nicht unterscheiden kann, welche der beiden Größen gestört ist.

**[0037]** Die Korrekturwerte für die nächste Iteration ergeben sich damit zu:

$$x_0(t) = x_0(t-1) + 2 \cdot re_1$$

$$y_0(t) = y_0(t-1) + 2 \cdot im_1$$

$$\frac{a}{b}(t) = \frac{a}{b}(t-1) \cdot (1 + 4 \cdot re_2)$$

$$\Delta\varphi(t) = \Delta\varphi(t-1) - 4 \cdot im_2$$

**[0038]** Da für die Ermittlung der neuen Korrekturwerte immer die bereits korrigierten Messwerte  $\hat{x}$  und  $\hat{y}$  verwendet werden, nähert sich das Verfahren bereits nach wenigen Iterationsschritten der exakten Lösung.

**[0039]** Betrachtet man das Argument des Arcustangens, dann kann man bei der Berechnung von  $\hat{y}/\hat{x}$  auch direkt auf folgende Formel zu rückgreifen:

$$\frac{\hat{y}}{\hat{x}} = \frac{(y - y_0) \cdot \frac{a}{b} \cdot \cos(\Delta\varphi)}{x - x_0 + (y - y_0) \cdot \frac{a}{b} \cdot \sin(\Delta\varphi)} \quad \text{mit} \quad \frac{a}{b} \cdot \cos(\Delta\varphi) = \frac{\sqrt{4 \cdot k_0 \cdot k_2 - k_1^2}}{2 \cdot k_0} \quad \frac{a}{b} \cdot \sin(\Delta\varphi) = \frac{k_1}{2 \cdot k_0}$$

**[0040]** Anders ausgedrückt erhält man so:

$$\frac{\hat{y}}{\hat{x}} = \frac{(y - y_0) \cdot d}{x - x_0 + (y - y_0) \cdot q} \quad \text{mit} \quad d = \frac{a}{b} \cdot \cos(\Delta\varphi) \quad q = \frac{a}{b} \cdot \sin(\Delta\varphi)$$

**[0041]** Ein neuer Satz von Korrektur-Koeffizienten  $x_0, y_0, d, q$  kann vom Mikroprozessor in einer langsamen Task (Zeitscheibe) ermittelt werden. Bei der Verwendung der Korrektur-Koeffizienten in der schnellen Task (Zeitscheibe) sind dann nur Multiplikationen und Additionen/Subtraktionen erforderlich, die ein Mikroprozessor schnell ausführen kann. Auf diese Weise erhält man somit eine besonders effektive Realisierung der Erfindung.

**[0042]** Ein Gebersystem besitzt häufig mehrere Signalperioden. Die Fehler in den einzelnen Signalperioden können sich dabei mehr oder weniger unterscheiden. Nach einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung werden die Signalperioden von einem Groblage-Zähler gezählt. Mit dem Zählerstand des Groblage-Zählers kann man daher einzelne Signalperioden identifizieren.

**[0043]** Dadurch ist es möglich, die Ermittlung von Korrektur-Koeffizienten selektiv für einzelne Signalperioden oder auch für Gruppen von Signalperioden durchzuführen. Es entstehen jeweils Sätze von Korrektur-Koeffizienten  $x_0, y_0, d, q$ , die im Mikroprozessor gespeichert werden. In der schnellen Task (Zeitscheibe) kann anhand des Groblage-Zählers entschieden werden, welcher Satz von Korrektur-Koeffizienten aktuell verwendet

werden muss.

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Auswertung von sin/cos-Lagemesssystemen mit iterativer Fehlerkompensation mit den folgenden Verfahrensschritten:

- Ermitteln von Messwerten der Cosinus-Spur ( $x$ ) und der Sinus-Spur ( $y$ ) pro Signalperiode, wobei eine Anzahl von  $n=2^z$  Messwerten pro Signalperiode ermittelt wird und wobei eine Anzahl von möglichst äquidistanten Messwerten pro Signalperiode ermittelt wird,
- Schätzen von Offsetfehler ( $x_0, y_0$ ) und/oder Amplitudenfehler ( $a/b$ ) und/oder Phasenfehler ( $\Delta\varphi$ ) oder von dazu proportionalen Größen aus den ermittelten Messwerten mit einer Fourieranalyse, wobei
- Fourierkoeffizienten für die Grundschwingung und für die erste Oberschwingung ermittelt werden und
- Offsetfehler ( $x_0, y_0$ ) im wesentlichen aus den Fourierkoeffizienten der Grundschwingung bestimmt werden und,
- Amplitudenfehler ( $a/b$ ) und/oder Phasenfehler ( $\Delta\varphi$ ) im wesentlichen aus den Fourierkoeffizienten der ersten Oberschwingung bestimmt werden, wobei
- jeweilige geschätzte Fehlerparameter durch iterative Anwendung der Fourieranalyse zu annähernd exakten Korrekturwerten verfeinert werden und wobei
- die Kompensation der bestimmten Fehlerparameter ( $x_0, y_0, a/b, \Delta\varphi$ ) für eine Auswertung der Feinlage ( $\varphi$ ) des Lagemesssystems nach

$$\varphi = \arctan\left(\frac{\hat{y}}{\hat{x}}\right) \quad \text{falls} \quad \hat{x} > 0$$

$$\varphi = \arctan\left(\frac{\hat{y}}{\hat{x}}\right) + \pi \quad \text{falls} \quad \hat{x} < 0$$

$$\varphi = \frac{\pi}{2} \cdot \text{sign}(\hat{y}) \quad \text{falls} \quad \hat{x} = 0$$

$$\text{mit} \quad \hat{y} = \frac{a}{b} \cdot (y - y_0)$$

$$\text{und} \quad \hat{x} = \frac{x - x_0 + \hat{y} \cdot \sin(\Delta\varphi)}{\cos(\Delta\varphi)}$$

erfolgt.

2. Verfahren zur Auswertung von sin/cos-Lagemesssystemen mit iterativer Fehlerkompensation nach Anspruch 1, wobei

- als Startbedingung ein fehlerfreies Signal gemäß

$$x_0 = 0; y_0 = 0; \Delta\varphi = 0; \frac{a}{b} = 1$$

angenommenen wird und

- aus den Messwerten ( $x, y$ ) damit ein Winkel  $\varphi$  für die Feinlage errechnet wird, wobei
- eine Periode der Feinlage in  $n=2^z$  gleichgroße Winkelbereiche aufgeteilt wird, wobei
- zu jedem Winkelbereich ein Messwert  $r$  gemäß

$$r = \sqrt{\hat{x}^2 + \hat{y}^2}$$

abgespeichert wird.

3. Verfahren zur Auswertung von sin/cos-Lagemesssystemen mit iterativer Fehlerkompensation nach Anspruch 2, wobei

- die Fourierkoeffizienten getrennt nach Realteil und Imaginärteil wie folgt bestimmt werden:



$$c_k = \frac{1}{n} \cdot \sum_{m=0}^{n-1} r(m) \cdot e^{j \cdot 2\pi \cdot k \cdot \frac{m}{n}}$$

$$re_k = \frac{1}{n} \cdot \sum_{m=0}^{n-1} r(m) \cdot \cos(2\pi \cdot k \cdot \frac{m}{n})$$

$$im_k = \frac{1}{n} \cdot \sum_{m=0}^{n-1} r(m) \cdot \sin(2\pi \cdot k \cdot \frac{m}{n})$$

mit  $k=1$  für die Grundschwingung und  $K=2$  für die erste Oberschwingung.

4. Verfahren zur Auswertung von sin/cos-Lagemesssystemen mit iterativer Fehlerkompensation nach Anspruch 3, wobei

– die Fehlerparameter aus den ermittelten Fourierkoeffizienten wie folgt bestimmt werden:

$$re_1 \approx \frac{1}{2} \cdot x_0$$

$$im_1 \approx \frac{1}{2} \cdot y_0$$

$$re_2 \approx \frac{1}{4} \cdot (a-1) \approx -\frac{1}{4} \cdot (b-1)$$

$$im_2 \approx -\frac{1}{4} \cdot \Delta\varphi$$

5. Verfahren zur Auswertung von sin/cos-Lagemesssystemen mit iterativer Fehlerkompensation nach Anspruch 3 oder 4, wobei

– verfeinerte Fehlerparameter im Rahmen einer Iteration gemäß

$$x_0(t) = x_0(t-1) + 2 \cdot re_1$$

$$y_0(t) = y_0(t-1) + 2 \cdot im_1$$

$$\frac{a}{b}(t) = \frac{a}{b}(t-1) \cdot (1 + 4 \cdot re_2)$$

$$\Delta\varphi(t) = \Delta\varphi(t-1) - 4 \cdot im_2$$

ermittelt werden.

6. Verfahren zur Auswertung von sin/cos-Lagemesssystemen mit iterativer Fehlerkompensation nach einem der Ansprüche 2 bis 5, wobei

– eventuelle Winkelbereiche, für die kein Messwert ( $r$ ) vorliegt, durch Interpolation benachbarter Messwerte mit einem zugeordneten Messwert versehen werden.

7. Verfahren zur fehlerkompensierten Auswertung von sin/cos-Lagemesssystemen nach Anspruch 5, wobei eine Auswertung der Feinlage ( $\varphi$ ) des Lagemesssystems nach

$$\frac{\hat{y}}{\hat{x}} = \frac{(y - y_o) \cdot d}{x - x_o + (y - y_o) \cdot q} \quad \text{mit} \quad d = \frac{a}{b} \cdot \cos(\Delta\varphi) \quad q = \frac{a}{b} \cdot \sin(\Delta\varphi)$$

erfolgt.

Es folgen 10 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG 1 Störgröße  $X_0$

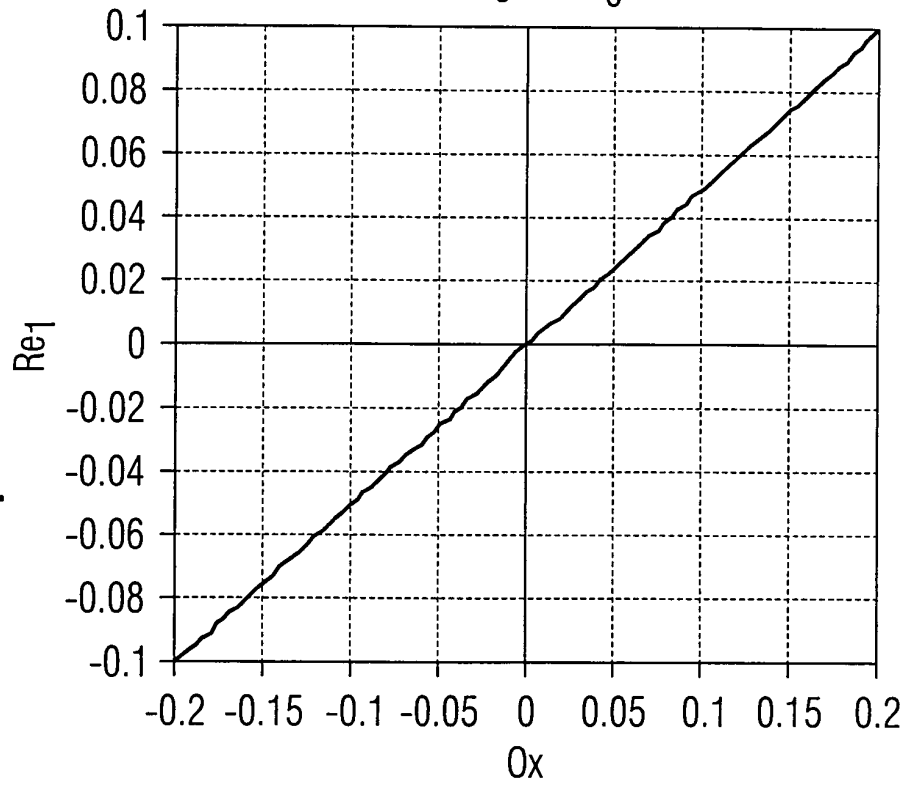
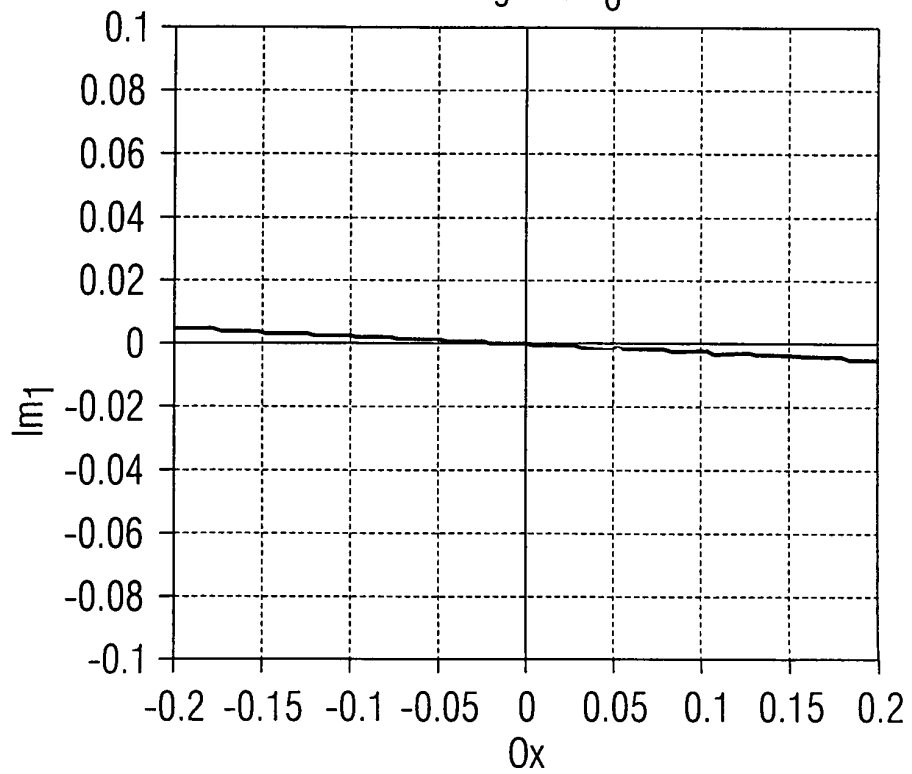
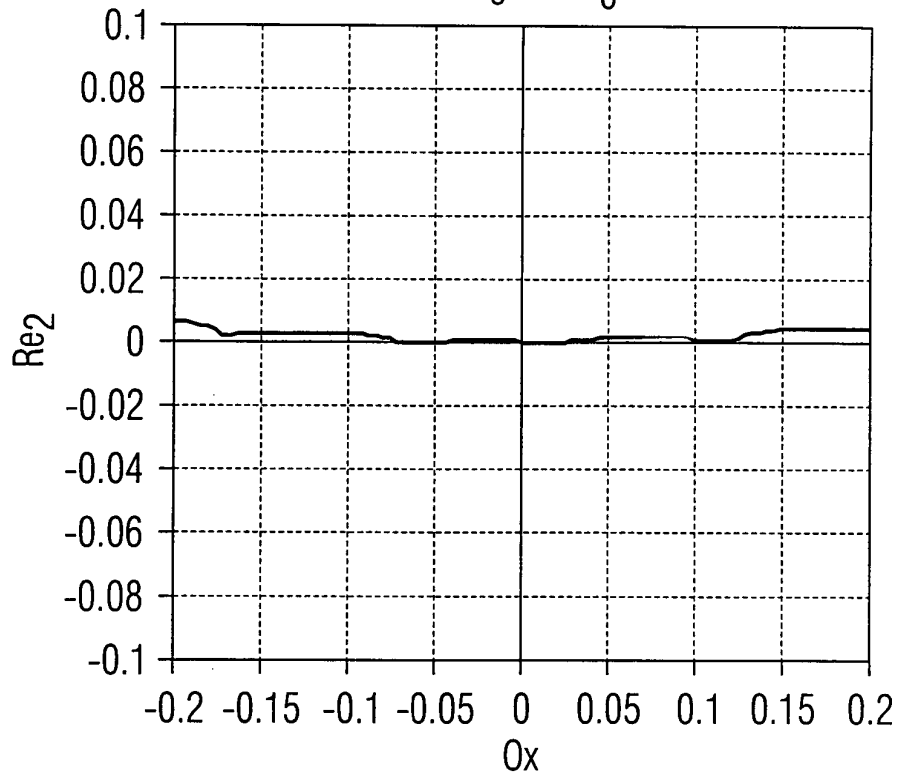


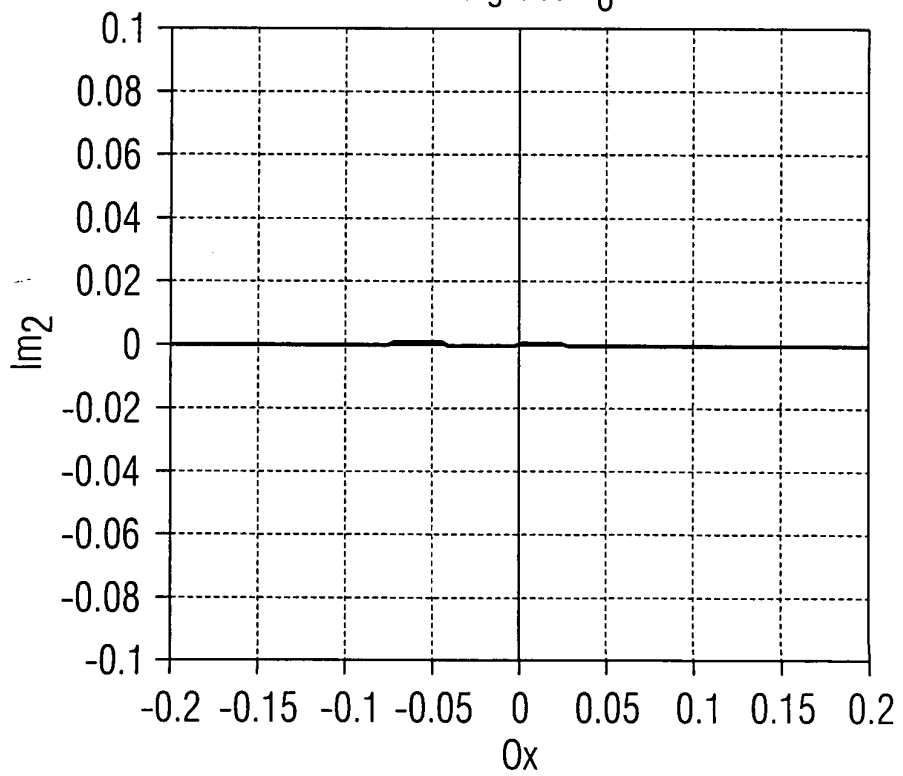
FIG 2 Störgröße  $X_0$



**FIG 3** Störgröße  $X_0$

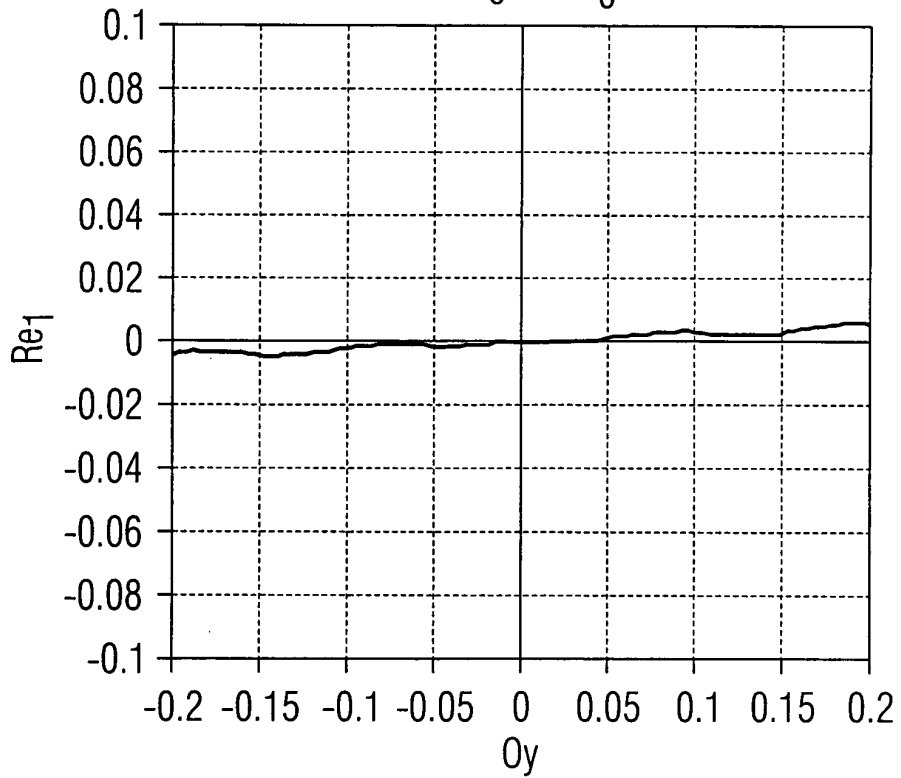


**FIG 4** Störgröße  $X_0$



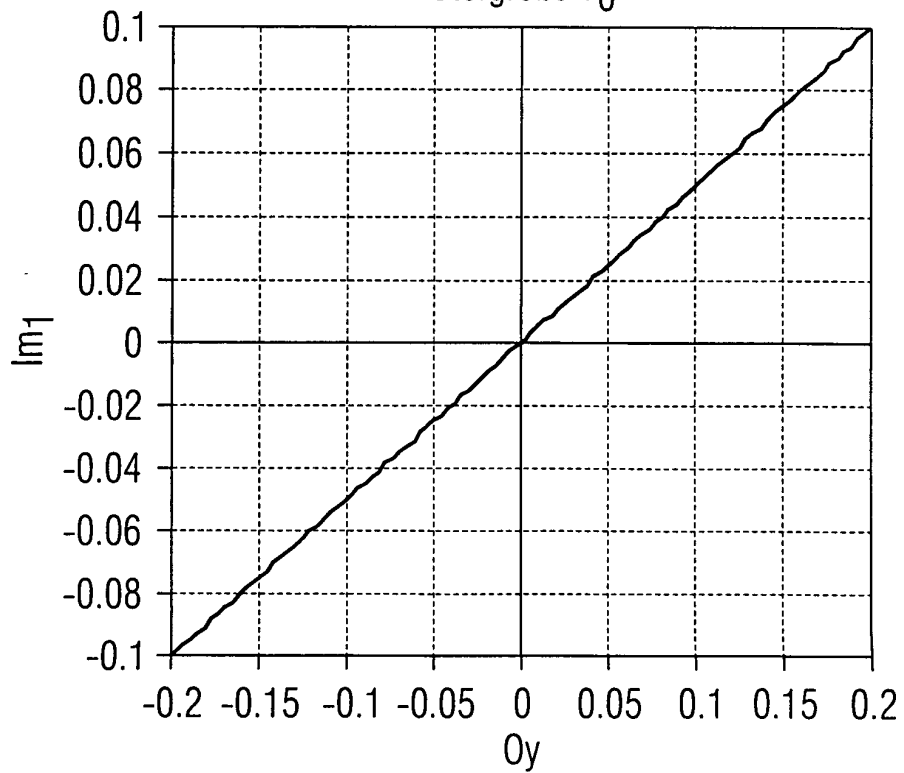
**FIG 5**

Störgröße  $Y_0$

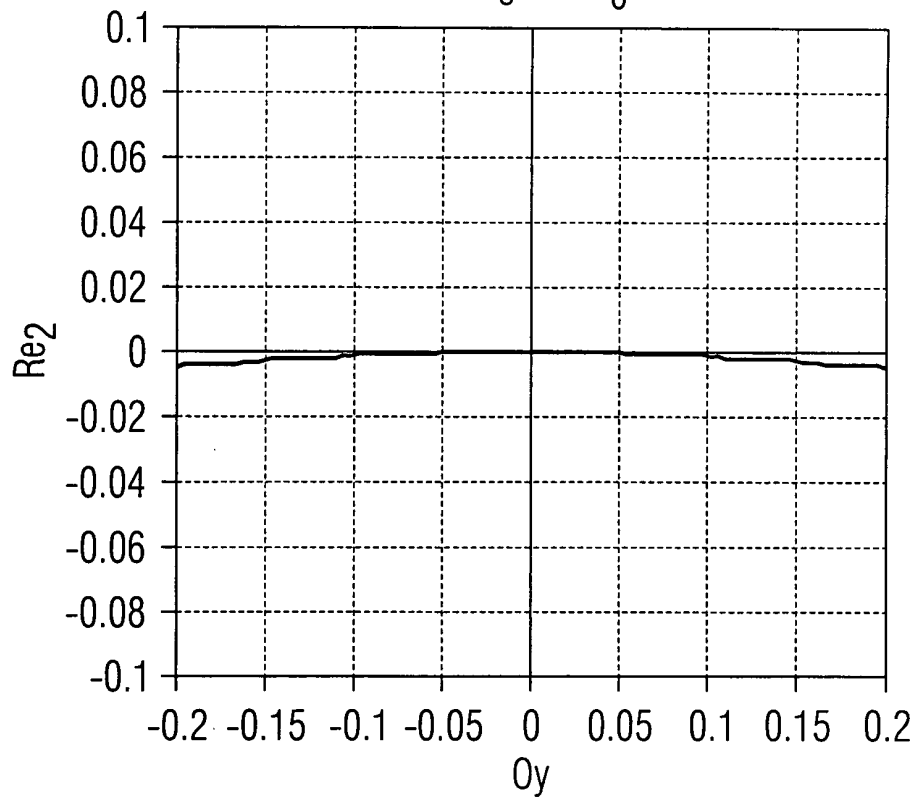


**FIG 6**

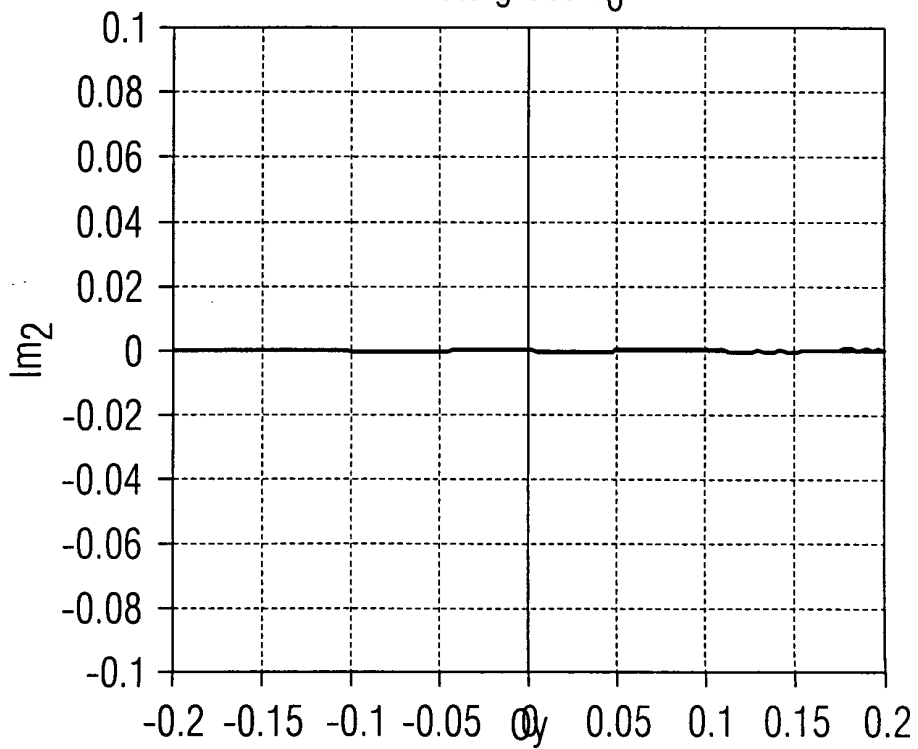
Störgröße  $Y_0$



**FIG 7** Störgröße  $Y_0$

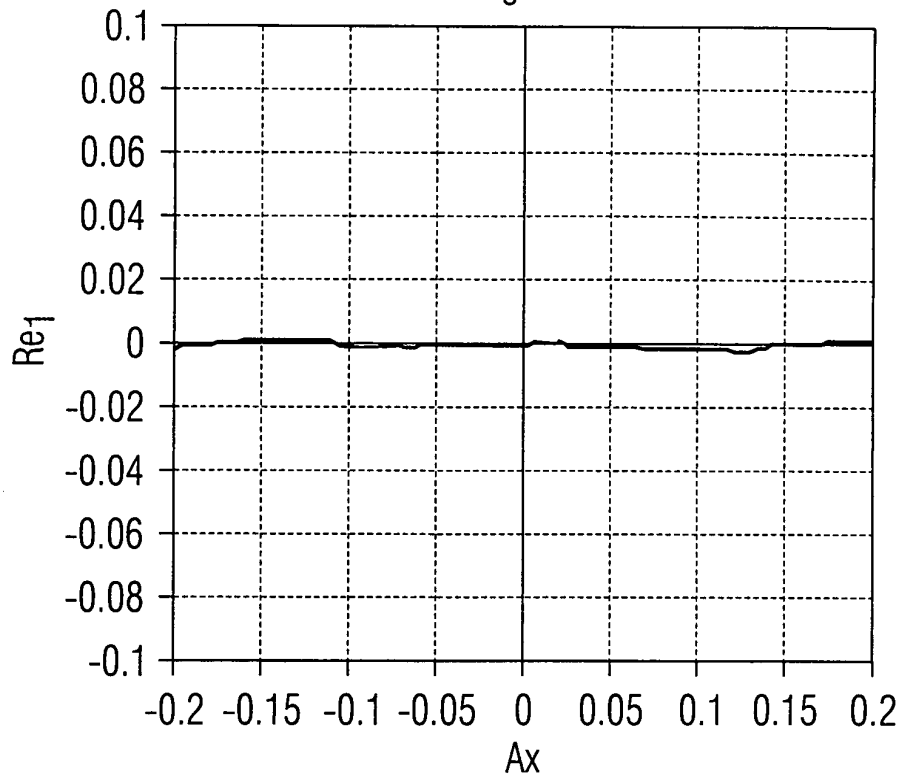


**FIG 8** Störgröße  $Y_0$



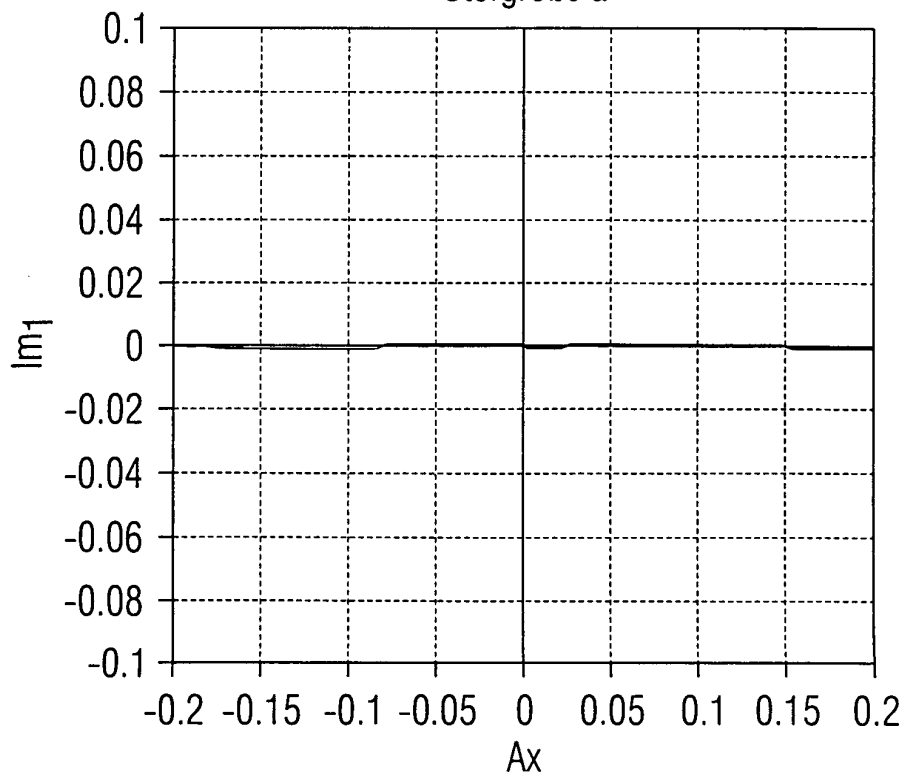
**FIG 9**

Störgröße a

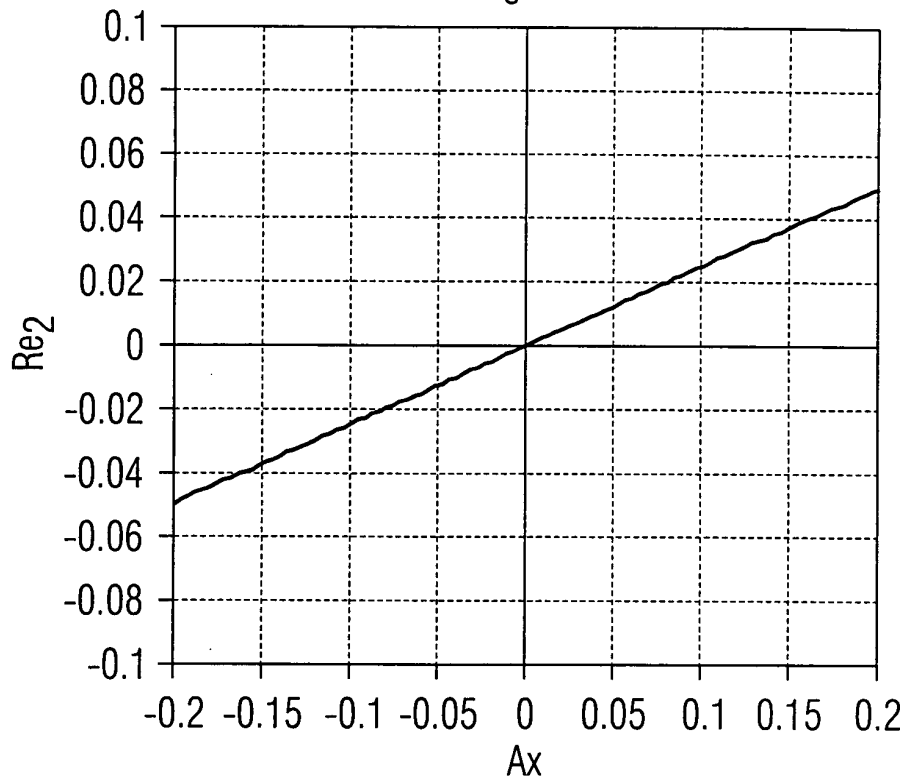


**FIG 10**

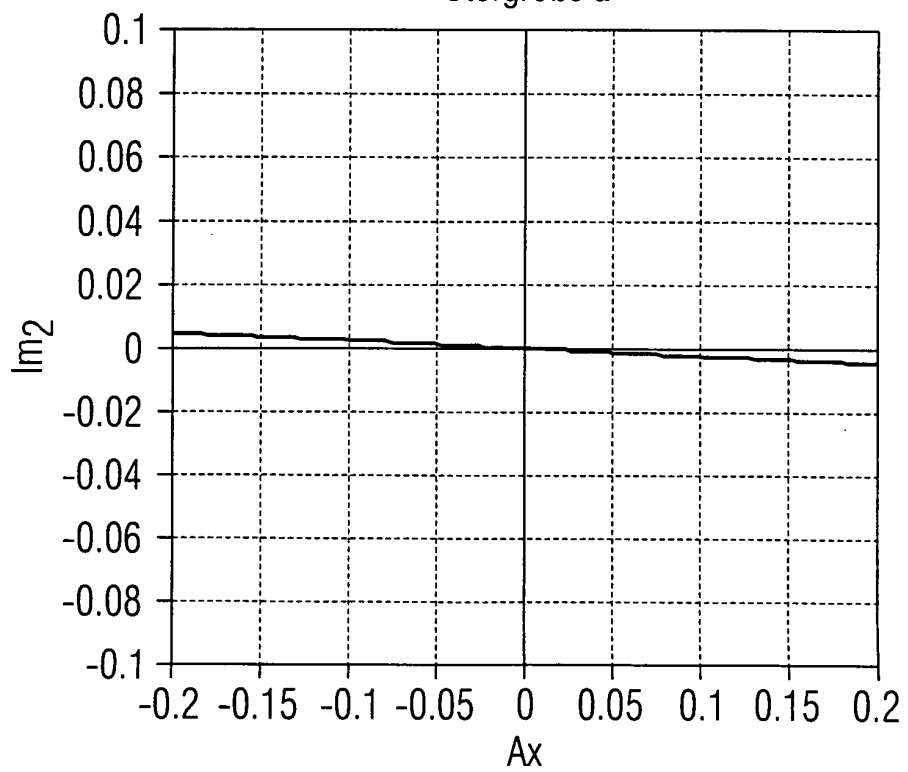
Störgröße a



**FIG 11** Störgröße a

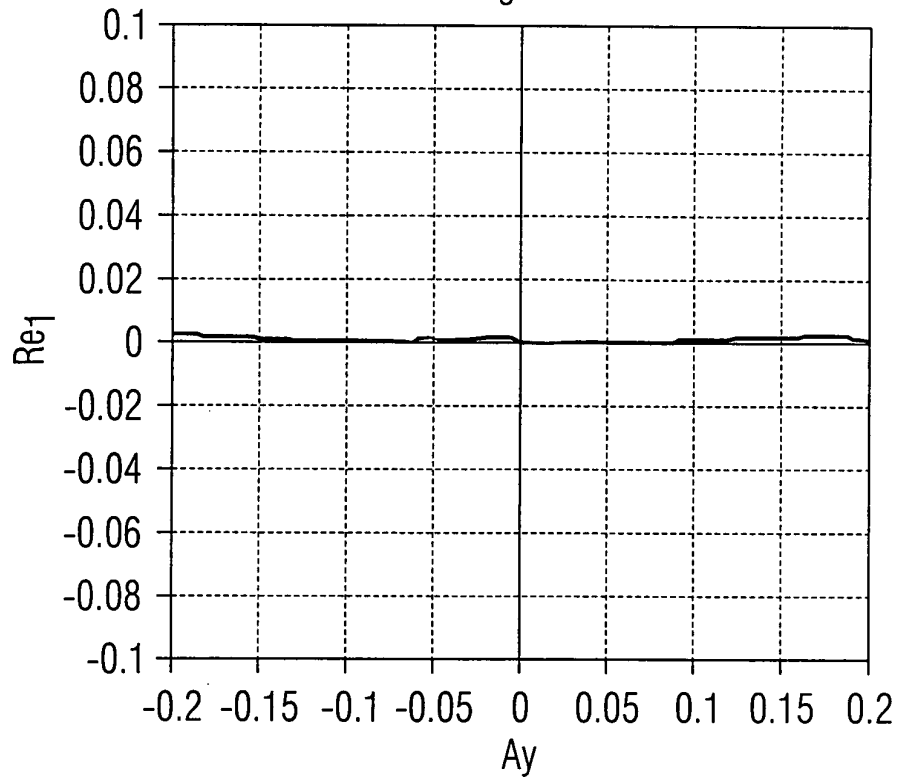


**FIG 12** Störgröße a



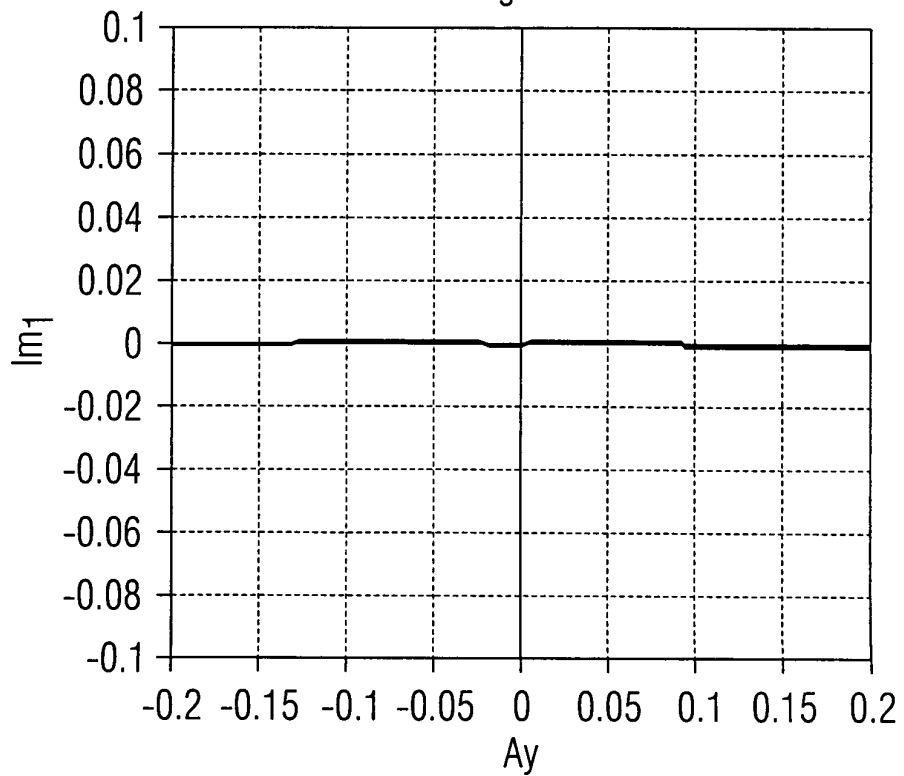
**FIG 13**

Störgröße b



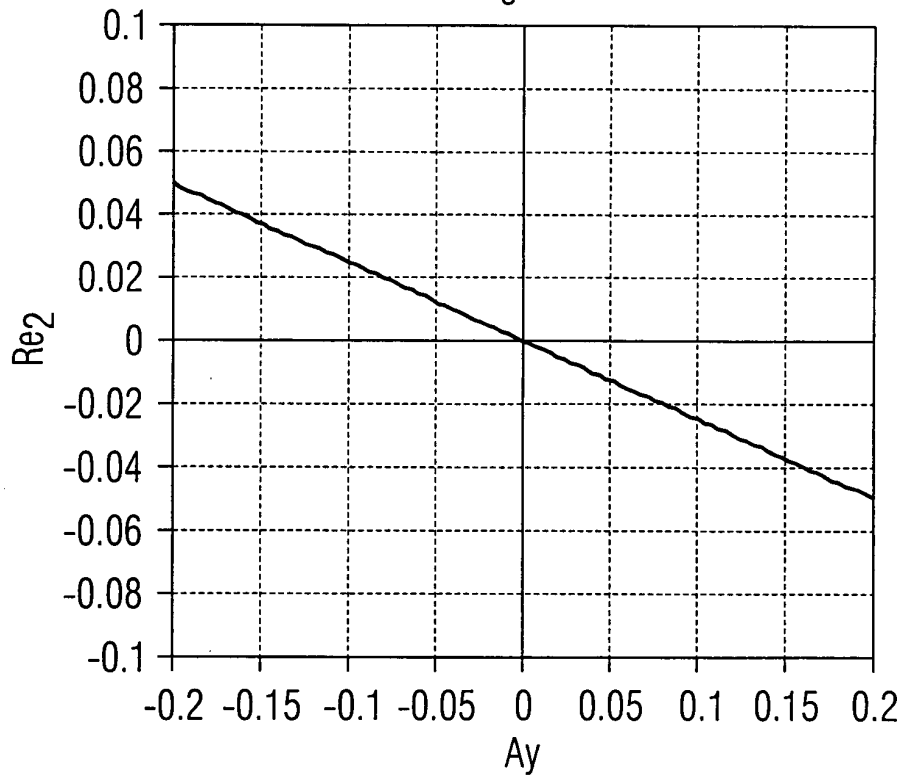
**FIG 14**

Störgröße b

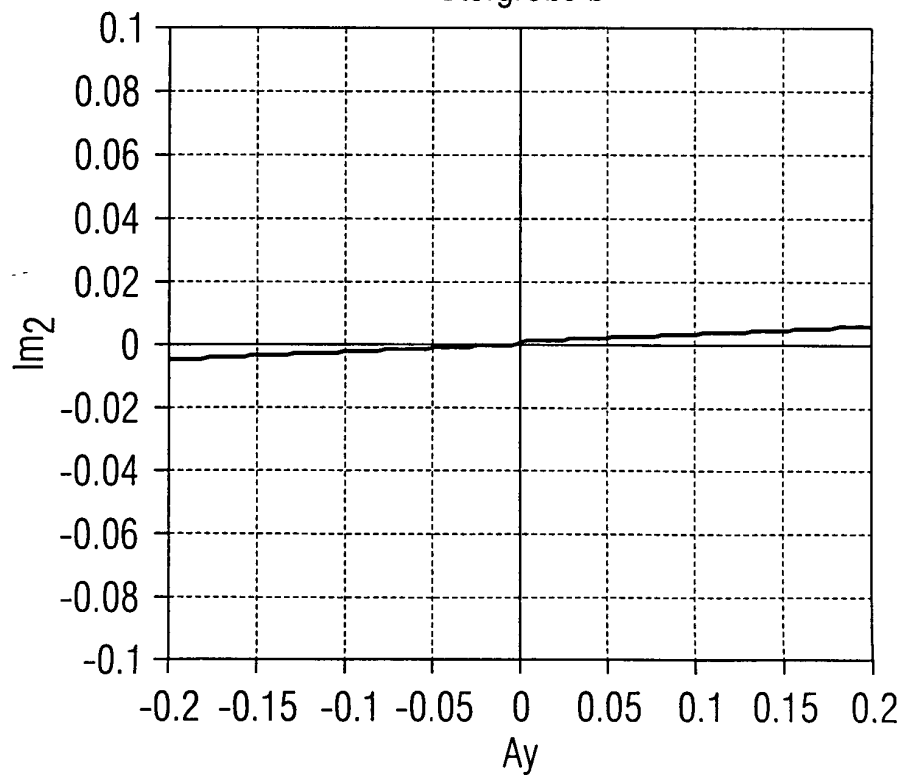




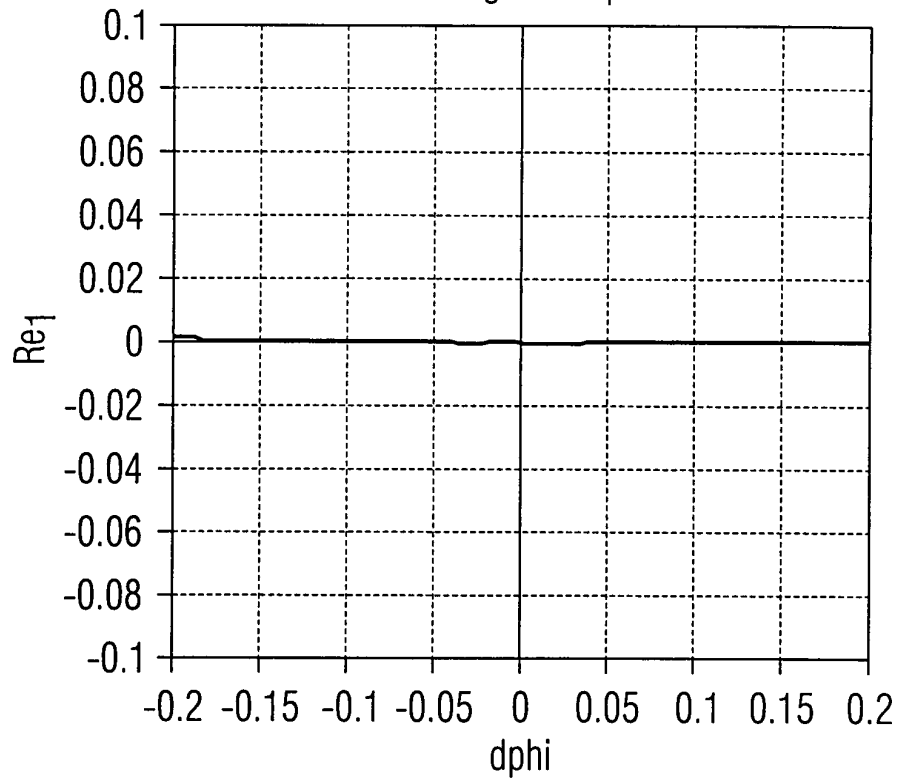
**FIG 15** Störgröße b



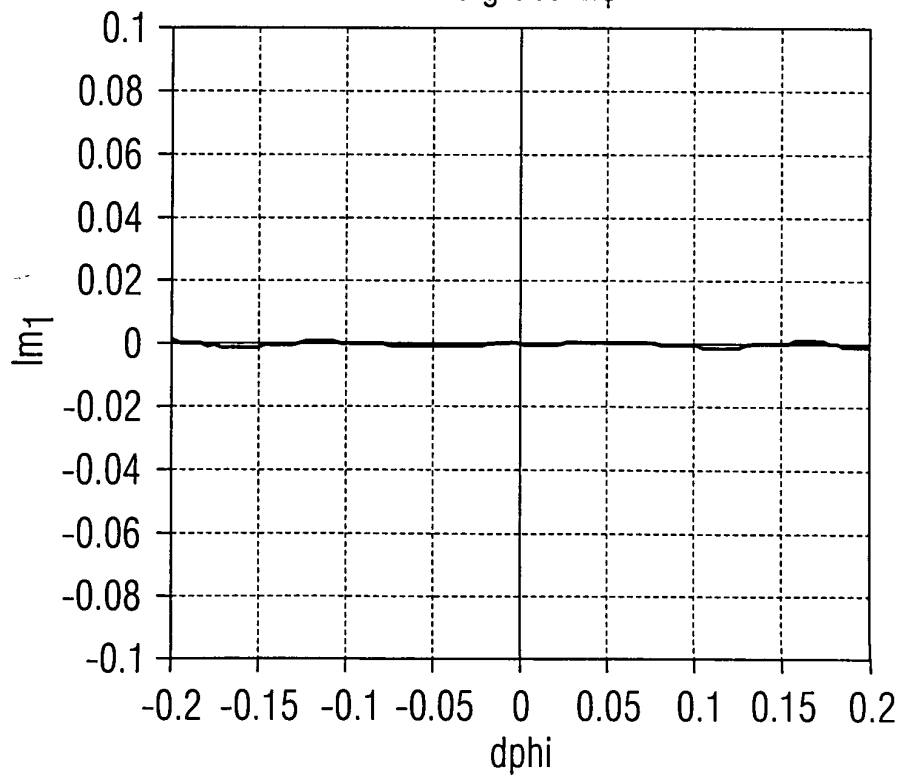
**FIG 16** Störgröße b



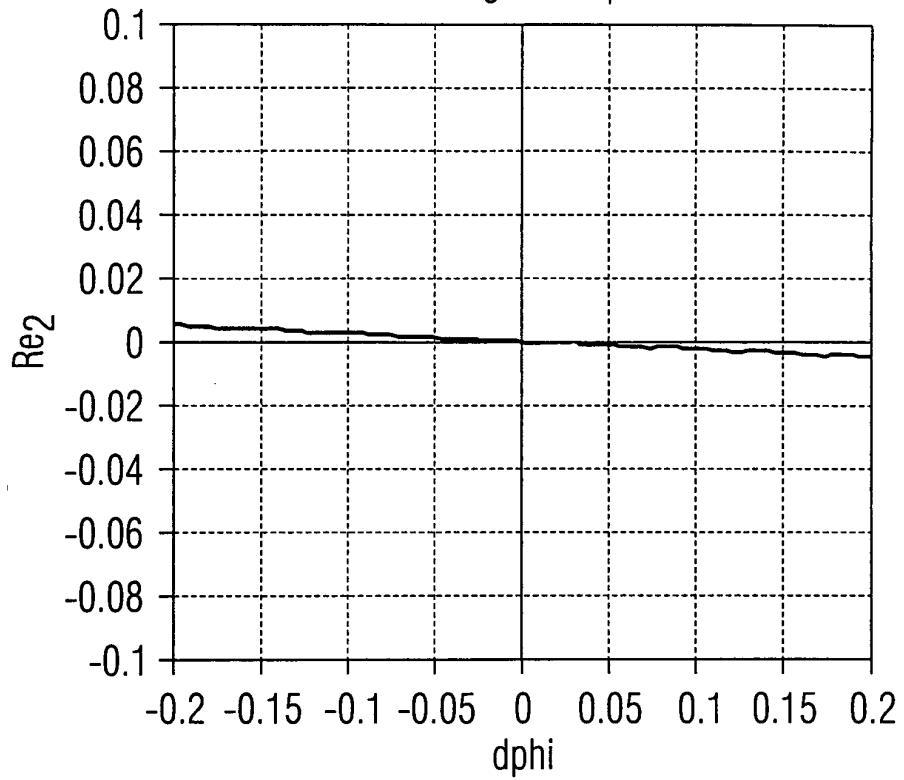
**FIG 17** Störgröße  $\Delta\varphi$



**FIG 18** Störgröße  $\Delta\varphi$



**FIG 19** Störgröße  $\Delta\phi$



**FIG 20** Störgröße  $\Delta\phi$

