

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
8. Mai 2003 (08.05.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 03/038455 A2

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **G01R 27/06**,
27/28

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE02/04042

(22) Internationales Anmeldedatum:
30. Oktober 2002 (30.10.2002)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
101 53 090.0 30. Oktober 2001 (30.10.2001) DE
101 61 399.7 13. Dezember 2001 (13.12.2001) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): **T-MOBILE DEUTSCHLAND GMBH** [DE/DE];
Langrabengweg 151, 53227 Bonn (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **NOWOK, Gregor**
[DE/DE]; Eichenlöhlein 22a, 90455 Nürnberg (DE). **POS-
PIECH, Peter** [DE/DE]; Mühlweg 6a, 91330 Eggolsheim
(DE).

(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT,
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR,
CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH,
GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC,
LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW,
MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG,
SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,
VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (regional): ARIPO-Patent (GH,
GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW),
eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ,
TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE,
DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT,
SE, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA,
GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Erklärung gemäß Regel 4.17:

— hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, die Priorität einer früheren Anmeldung zu beanspruchen (Regel 4.17 Ziffer iii) für die folgenden Bestimmungsstaaten AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW, ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG)

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR PHASE CALCULATION FROM ATTENUATION VALUES USING A HILBERT TRANSFORM FOR REFLECTOMETRIC MEASUREMENTS IN THE FREQUENCY DOMAIN

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR PHASENBERECHNUNG AUS DEN DÄMPFUNGSWERTEN MITTELS HILBERTTRANSFORMATION BEI FDR-MESSUNGEN

(57) Abstract: The invention concerns a method and a device for phase calculation from attenuation values using a Hilbert transform for reflectometric measurements in the frequency domain. The invention is characterized in that the measuring system comprises a signal source for a measurement signal, a coupling element connected to the signal source, and an object to be measured connected to the coupling element. The part of the measurement signal reflected by the object to be measured is uncoupled via the coupling element and measured at a collector. The invention is further characterized in that an attenuator is mounted in the signal path, between the coupling element and the object to be measured. The attenuator can also be comprised in the coupling element.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Phasenberechnung aus den Dämpfungswerten mittels Hilberttransformation bei FDR-Messungen, wobei das Messsystem eine Signalquelle für ein Messsignal, ein mit der Signalquelle verbundenes Kopplungsglied und ein mit dem Kopplungsglied verbundenes Messobjekt aufweist. Der vom Messobjekt reflektierte Anteil des Messsignals wird über das Kopplungsglied ausgekoppelt und an einer Senke gemessen. Erfindungsgemäß ist zwischen dem Kopplungsglied und dem Messobjekt ein Dämpfungsglied in den Signalpfad geschaltet. Das Dämpfungsglied kann auch im Kopplungsglied enthalten sein.

WO 03/038455 A2

Verfahren und Vorrichtung zur Phasenberechnung aus den Dämpfungswerten mittels Hilberttransformation bei FDR-Messungen

Die Erfindung betrifft das Gebiet der sogenannten FDR-Messung (Frequency Domain Reflectometry) und bezieht sich insbesondere auf ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Phasenberechnung aus den Dämpfungswerten mittels Hilberttransformation bei FDR-Messungen nach dem Oberbegriff der unabhängigen Patentansprüche.

FDR-Messungen werden mit Hilfe von Netzwerkanalysatoren, die den Reflexionsfaktor nach Betrag und Phase bestimmen können, oder durch Spektrumanalysatoren, die nur den Betrag des Reflexionsfaktors messen können, vorgenommen. Bei den zur Zeit gängigen Messverfahren mit Hilfe von Spektrumanalysatoren mit Trackinggenerator wird die Berechnung der Phase durch Hilberttransformation vorgenommen. Wichtig für die numerische Qualität der Hilberttransformation ist die Tatsache, dass sich alle Polstellen der logarithmierten Dämpfungsfunktion möglichst weit links der imaginären Achse im Pol-Nullstellen-Diagramm befinden. Bei den zur Zeit existierenden Messsystemen wird dies durch eine vollsymmetrische Parallelverzweigung in der Messschaltung realisiert, die durch den Einsatz eines Koppelgliedes (Koppler) realisiert wird. Derartige Koppler haben allerdings einen sehr hohen Eigenreflexionsfaktor zum Messobjekt und eine geringe Einfügedämpfung von der Quelle zum Messobjekt und wieder zurück vom Messobjekt zum Leistungsmesser. Diese Schaltung gewährleistet nur die Voraussetzungen zur Durchführung der Hilberttransformation, das heißt alle Pole der Dämpfungsfunktion liegen in der linken komplexen Halbebene. Dennoch treten in der Regel unerwünschte und relativ große Fehler bei der Berechnung der Phase auf.

Die Aufgabe der Erfindung liegt darin, ein Verfahren aufzuzeigen, mittels dem eine Genauigkeitssteigerung der Phasenberechnung aus den Dämpfungswerten mittels Hilberttransformation erreicht wird. Eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens soll ebenfalls angegeben werden.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die in den unabhängigen Patentansprüchen angegebenen Merkmale gelöst.

Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der abhängigen Patentansprüche.

Erfindungsgemäß wird der Koppler so gestaltet, dass er eine hohe Einfügedämpfung zwischen Quelle und Messobjekt und zwischen Messobjekt und Senke aufweist. Dadurch werden die Pole der Dämpfungsfunktion weiter in die linke komplexe Halbebene des Pol-Nullstellen-Diagramms verschoben, was eine qualitativ bessere Phasenberechnung nach sich zieht. Dieselbe Wirkung wird erzielt, indem ein Dämpfungsglied zwischen Koppler und Messobjekt eingefügt wird.

Im folgenden wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand der Zeichnungen beschrieben. Aus den Zeichnungen und ihrer Beschreibung ergeben sich weitere Merkmale, Vorteile und Anwendungsgebiete der Erfindung.

Es zeigen:

- Figur 1: das Blockschaltbild der erfindungsgemäßen Messanordnung;
- Figur 2: Darstellung eines gemessenen Phasenverlaufs ohne Dämpfungsglied;
- Figur 3: Darstellung eines berechneten Phasenverlaufs ohne Dämpfungsglied;
- Figur 4: Darstellung des absoluten Phasenfehlers über der Frequenz ohne Dämpfungsglied;
- Figur 5: Darstellung eines gemessenen Phasenverlaufs mit Dämpfungsglied;
- Figur 6: Darstellung eines berechneten Phasenverlaufs mit Dämpfungsglied;
- Figur 7: Darstellung des absoluten Phasenfehlers über der Frequenz mit Dämpfungsglied.

Zunächst wird die Systemfunktion für die Beschaltung des Messsystems mit dem Dämpfungsglied angegeben. Danach wird auf den Fall ohne Dämpfungsglied spezialisiert und für beide Fälle die entsprechende Phase (Hilberttransformierte der Dämpfung) und deren Abweichungen zur Originalphase angegeben.

Figur 1 zeigt das Blockschaltbild der Messanordnung. Von einer Signalquelle 1, wird ein Messsignal über einen Koppler 3 und ein Dämpfungsglied 4 zu einem Messobjekt 5 gesendet. Der im Messobjekt reflektierte Anteil des Messsignals wird im Koppler 3 ausgekoppelt und zur Senke 2 (Empfänger) geführt. Gemessen wird die auf den Empfänger 2 zulaufende, also vom Messobjekt 5 reflektierte Leistungswelle b_2 . Die zugehörige Systemfunktion für die Beschaltung mit dem Dämpfungsglied 4 am Tor 3 lautet:

$$b_2 = \left[K_{21} + \frac{K_{23} \cdot K_{31} \cdot (D_{11} + \frac{D_{12} \cdot D_{21} \cdot R}{1 - D_{22} \cdot R})}{1 - K_{33} \cdot (D_{11} + \frac{D_{12} \cdot D_{21} \cdot R}{1 - D_{22} \cdot R})} \right] \cdot a_1 \quad , \text{ mit den folgenden Matrizen:}$$

$$\vec{K} = \begin{pmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} \end{pmatrix} \quad \text{und} \quad \vec{D} = \begin{pmatrix} D_{11} & D_{12} \\ D_{21} & D_{22} \end{pmatrix}.$$

Wird das Dämpfungsglied 4 entfernt, so wird $D_{11} = D_{22} = 0$ und $D_{12} = D_{21} = 1$ und die obige Systemfunktion vereinfacht sich zu:

$$b_2 = \left[K_{21} + \frac{K_{23} \cdot K_{31} \cdot R}{1 - K_{33} \cdot R} \right] \cdot a_1$$

R liegt jetzt am Tor 3'.

Die Berechnung der Phase aus dem Betrag der Leistungswerte erfolgt durch Hilberttransformation, die ihrerseits numerisch durch schnelle Faltung realisiert wird:

$$\Phi_2 = FFT \left\{ FFT^{-1} \left[-1 \cdot \ln |b_2|(f) \right] \cdot \frac{1}{2} \cdot \text{sign}(t) \right\}$$

Die nachfolgenden Figuren 2 bis 4 zeigen die Unterschiede zwischen der gemessenen und berechneten Phase und die Fehlerfunktionen ohne Dämpfungsglied 4. Auf der Abszisse ist jeweils die Frequenz in MHz angegeben, während auf der Ordinate die Phase in rad aufgetragen ist.

Die Kurve gemäß Figur 2 ist die gemessene Originalphase, während die Kurve in Figur 3 die durch Hilberttransformation bestimmte Phase darstellt.

In Figur 4 ist zwischen den Figuren 2 und 3 bestimmte absolute Phasenfehler über der Frequenz dargestellt. Man erkennt deutlich, dass gerade im mittleren Frequenzbereich ein sehr großer Phasenfehler bei den berechneten Werten auftritt.

Die Figuren 5 bis 7 zeigen im Vergleich die Unterschiede von gemessener und berechneter Phase sowie die Fehlerfunktionen bei Einsatz eines Dämpfungsglieds 4 von -6 dB, das zwischen Koppler 3 und Messobjekt 5 geschaltet wurde. Der Eigenreflexionsfaktor D11 des Dämpfungsglieds 4 beträgt im gezeigten Beispiel 12%. Auch hier ist auf der Abszisse jeweils die Frequenz in MHz angegeben, während auf der Ordinate die Phase in rad aufgetragen ist.

Man erkennt, dass die Phasenkurven der Figuren 5 und 6 nahezu identisch sind, und praktisch kein Phasenfehler auftritt, was auf den Einfluss der zusätzlichen Dämpfung zurückzuführen ist.

In Figur 7 ist wieder der absolute Phasenfehler über der Frequenz aufgetragen. Aus der Darstellung ist zu erkennen, dass nur in der Mitte des Datensatzes ein Phasenfehler auftritt, dagegen wird beim Messsystem ohne Dämpfungsglied 4 gemäß den Figuren 2 bis 4 die Phase über den gesamten Bereich falsch berechnet.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Phasenberechnung aus den Dämpfungswerten mittels Hilberttransformation bei FDR-Messungen, bei dem ein Messsignal über ein Kopplungsglied (3) auf ein Messobjekt (5) geführt wird und der vom Messobjekt reflektierte Anteil am Kopplungsglied (3) ausgekoppelt und gemessen wird,
dadurch gekennzeichnet,
dass zwischen dem Kopplungsglied (3) und dem Messobjekt (5) ein Dämpfungsglied (4) in den Signalpfad geschaltet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Koppler selbst als Dämpfungsglied wirkt.
3. Vorrichtung zur Phasenberechnung aus den Dämpfungswerten mittels Hilberttransformation bei FDR-Messungen,
mit einer Signalquelle (1) für ein Messsignal, einem mit der Signalquelle (1) verbundenen Kopplungsglied (3) und einem mit dem Kopplungsglied (3) verbundenen Messobjekt, wobei das Messsignal über das Kopplungsglied (3) auf das Messobjekt (5) geführt wird und der vom Messobjekt (5) reflektierte Anteil des Messsignals über das Kopplungsglied (3) ausgekoppelt und an einer Senke (2) gemessen wird,
dadurch gekennzeichnet,
dass zwischen dem Kopplungsglied (3) und dem Messobjekt (5) ein Dämpfungsglied (4) in den Signalpfad geschaltet ist.
4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Dämpfungsglied im Kopplungsglied enthalten ist.

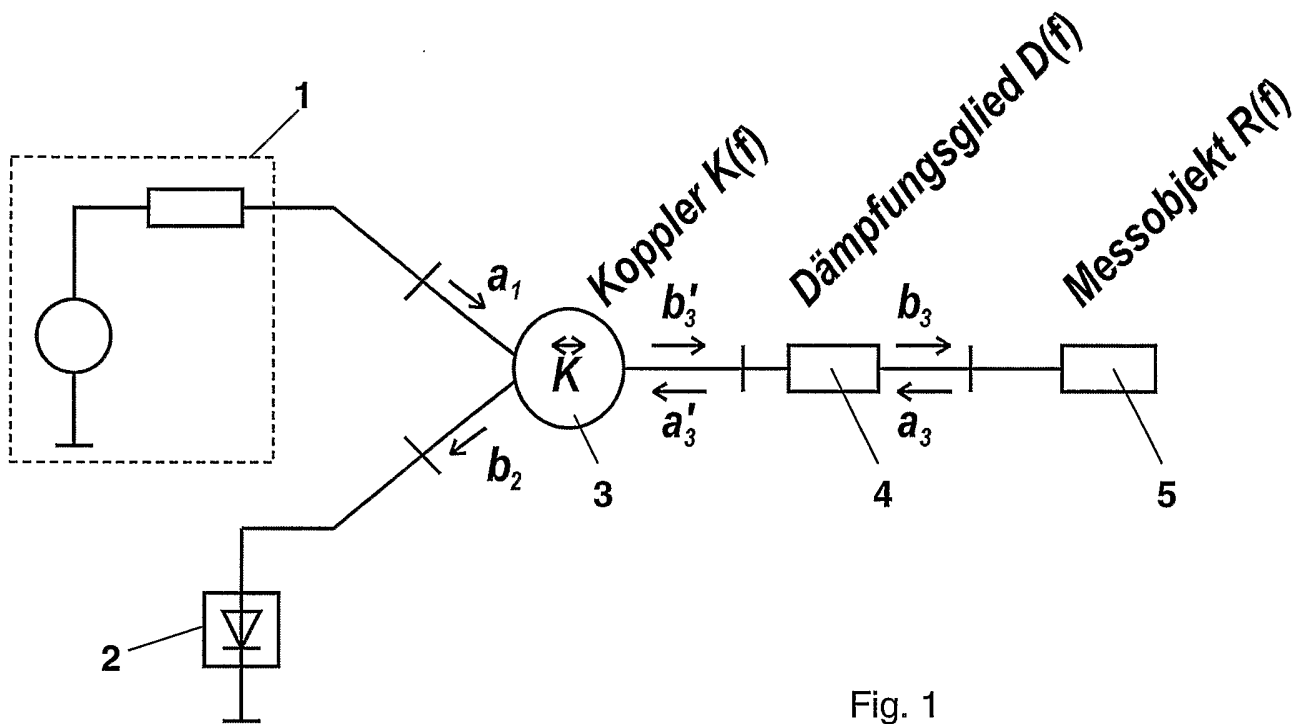


Fig. 1

2 / 3

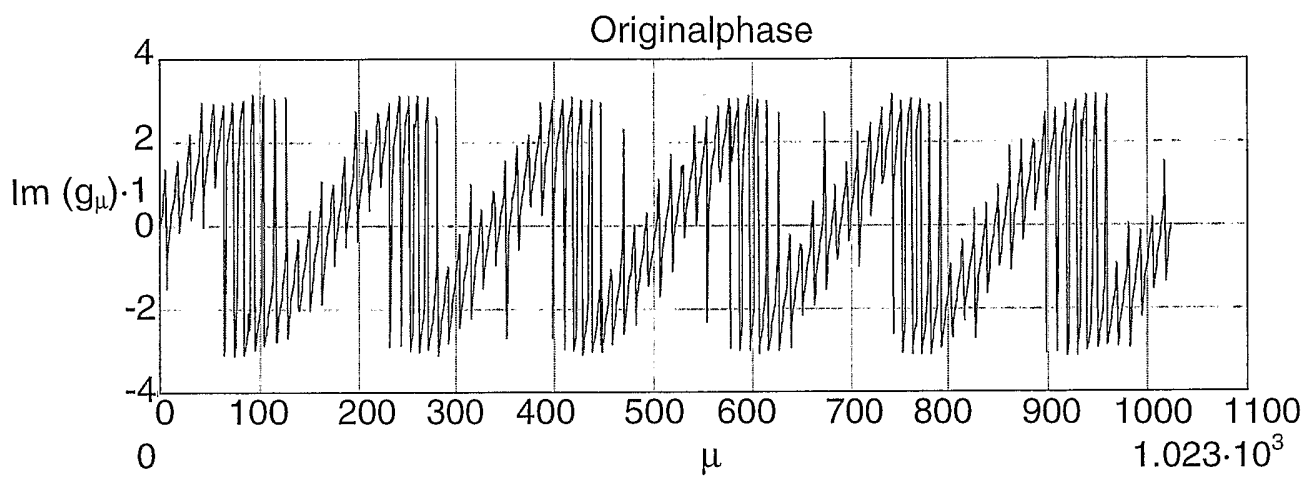


Fig. 2

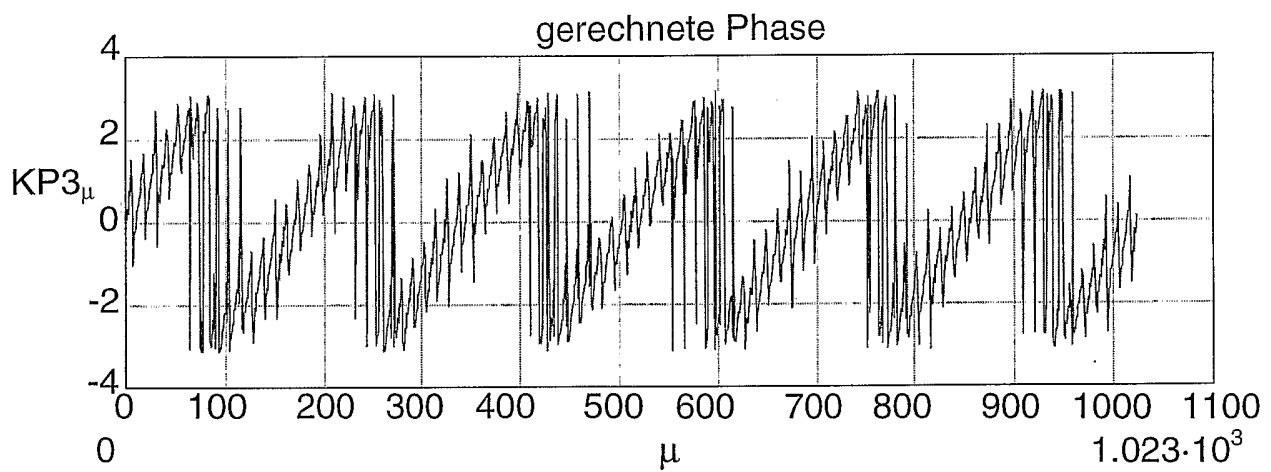


Fig. 3

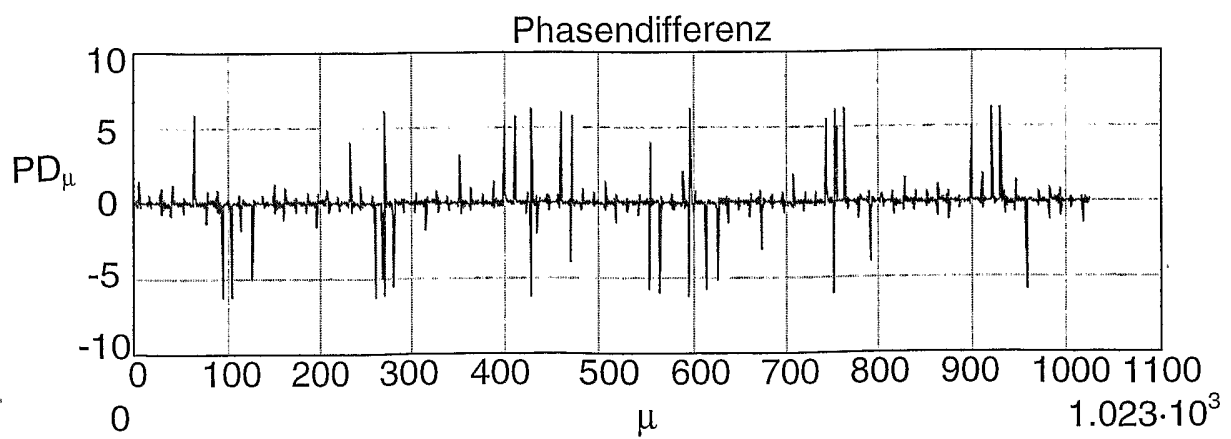


Fig. 4

3 / 3

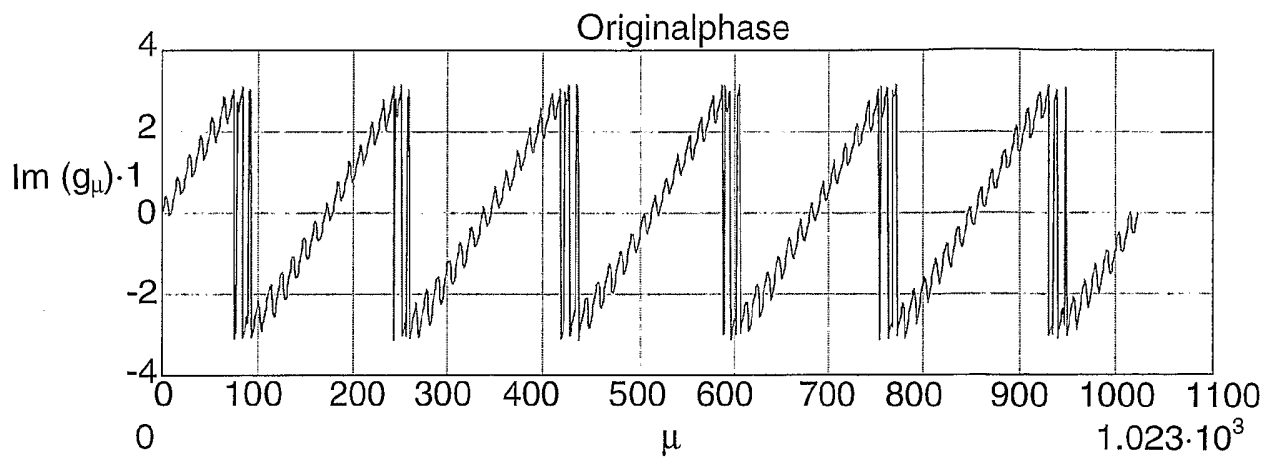


Fig. 5

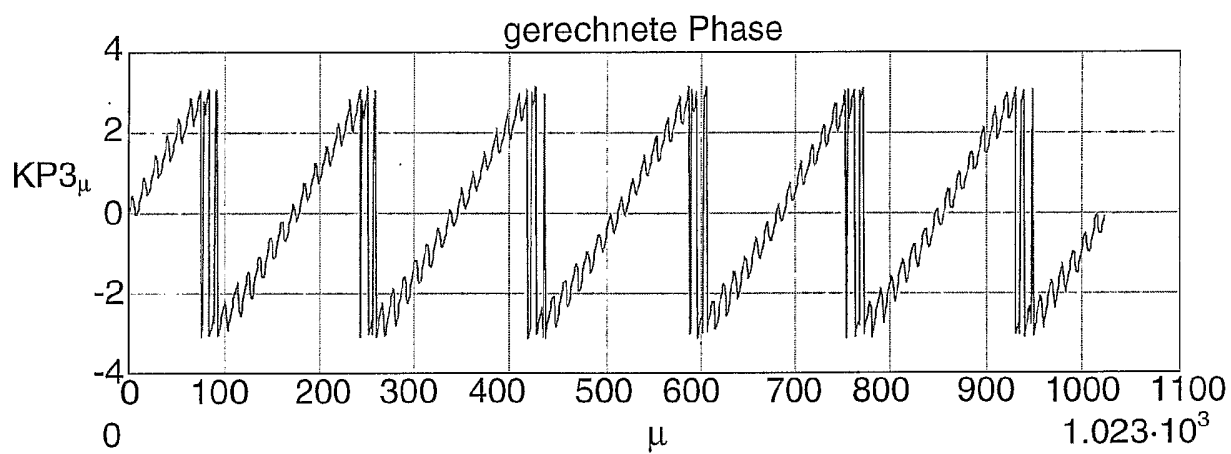


Fig. 6

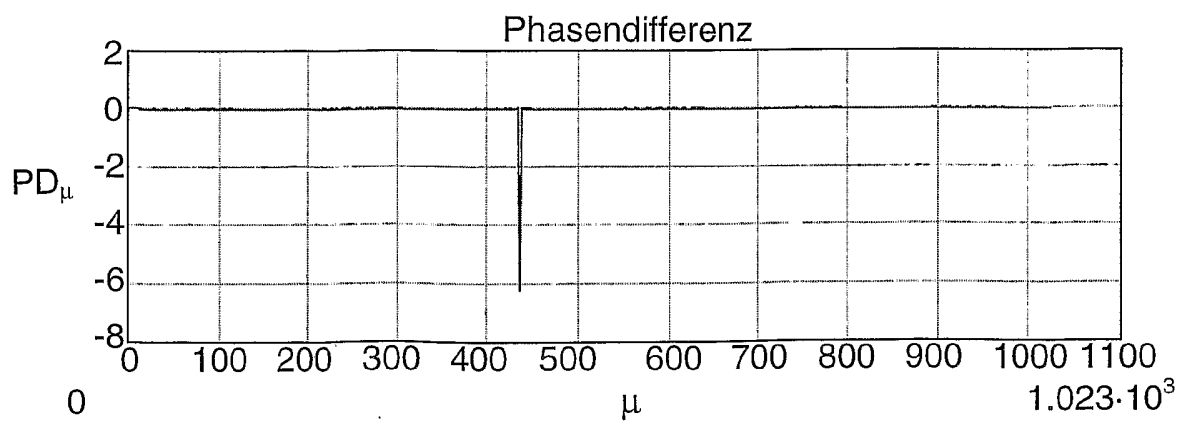


Fig. 7