

(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
23. Juni 2016 (23.06.2016)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2016/096199 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
G01S 7/03 (2006.01) *G01S 7/40* (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2015/074138
- (22) Internationales Anmeldedatum:
19. Oktober 2015 (19.10.2015)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2014 225 830.8
15. Dezember 2014 (15.12.2014) DE
- (71) Anmelder: **ROBERT BOSCH GMBH** [DE/DE];
Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).
- (72) Erfinder: **HASCH, Juergen**; Alte Stuttgarter Str. 12,
70195 Stuttgart (DE). **SOERGEL, Werner**; Auf Der
Hoehe 57 B, 75181 Pforzheim (DE). **GIRMA, Mekdes**;
Gartenstrasse 58, 70839 Gerlingen (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,

BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

(54) Title: METHOD FOR CALIBRATING A RADAR SYSTEM

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUM KALIBRIEREN EINES RADARSYSTEMS

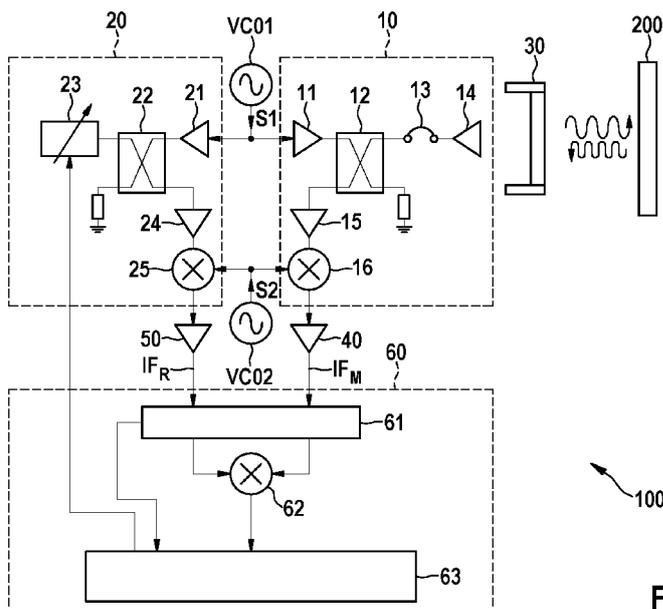


Fig. 2

(57) Abstract: The invention relates to a radar system (100) comprising a main channel (10) and a reference channel (20) formed symmetrically in relation to the main channel (10), wherein a first input signal (S1) can be generated by a first oscillator (VCO1), which first input signal can be supplied to an antenna (14) in the main channel (10), wherein a reflected portion of the first input signal (S1) can be supplied to a first mixer (16), wherein, in the reference channel (20), the first input signal (S1) can be supplied to a second mixer (25) via a second directional coupler (22), wherein a second input signal (S2) with a defined different frequency to the first input signal (S1) can be generated by a second oscillator (VCO2), which second input signal can be supplied to the first mixer (16) and the second mixer (25), wherein the signal coming from the mixer (16) of the main channel (10) and the signal coming from the mixer (25) of the reference channel (20) can be compared to one another, and wherein, depending on the comparison, a terminating impedance of the reference channel (20) can be dimensioned in such a way that the output signals of the main channel (10) and the reference channel (20) have identical characteristics.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2016/096199 A1



Radarsystem (100), aufweisend: einen Hauptkanal (10); und einen symmetrisch zum Hauptkanal (10) ausgebildeten Referenzkanal (20); wobei mittels eines ersten Oszillators (VCO1) ein erstes Eingangssignal (S1) generierbar ist, das im Hauptkanal (10) einer Antenne (14) zuführbar ist, wobei ein reflektierter Anteil des ersten Eingangssignals (S1) einem ersten Mischer (16) zuführbar ist; - wobei das erste Eingangssignal (S1) im Referenzkanal (20) über einen zweiten Richtkoppler (22) einem zweiten Mischer (25) zuführbar ist; - wobei mittels eines zweiten Oszillators (VCO2) ein zweites Eingangssignal (S2) mit einer definiert unterschiedlichen Frequenz zum ersten Eingangssignal (S1) generierbar ist, das dem ersten Mischer (16) und dem zweiten Mischer (25) zuführbar ist; - wobei das vom Mischer (16) Hauptkanals (10) abgehende Signal des und das vom Mischer (25) des Referenzkanals (20) abgehende Signal miteinander vergleichbar sind; und - wobei abhängig vom Vergleich eine Abschlussimpedanz des Referenzkanals (20) derart dimensionierbar ist, dass die Ausgangssignale des Hauptkanals (10) und des Referenzkanals (20) identische Eigenschaften aufweisen.

5 Beschreibung

Titel

Verfahren zum Kalibrieren eines Radarsystems

10 Die Erfindung betrifft ein Radarsystem und ein Verfahren zum Kalibrieren eines Radarsystems.

Stand der Technik

15 In bekannten Radarsystemen hängen einige Probleme mit systematischen Fehlern im Hochfrequenz-Frontend zusammen. Insbesondere resultiert ein DC-Offset Problem in einer Leistungsverminderung eines Empfängers und kann dadurch eine Detektierbarkeit eines empfangenen Signals vermindern.

20 Mögliche Quellen von Hochfrequenz-Beeinträchtigung in einem heterodynen Radarsystem sind prinzipiell in Fig. 1 dargestellt. Ein Streusignal t_L eines ersten Oszillators VCO1 kann zu einem ersten Mischer 16 streuen, ferner kann ein Streusignal t_{Ant} von einer Antenne 14 und von einem Verbindungselement 13 aufgrund von Fehlanpassung generiert werden. Ferner sind Störsignale t_R
25 aufgrund von Reflexion durch ein vor der Antenne 14 angeordnetes Kappenelement bzw. Radom 30 und/oder aufgrund von Schaltungsungenauigkeiten denkbar.

30 Alle genannten systematischen Fehler können zu einer beträchtlichen Leistungsverminderung des Radarsensors führen, insbesondere im Falle von Nahbereichsmessungen. Um diese systematischen Beeinträchtigungen zu kompensieren, wurden bereits einige Studien durchgeführt.

35 „A fundamental frequency 143-152 GHz Radar Transceiver with Built-In Calibration and Self-Test“ CSICS, 2013 offenbart einen heterodynen Radar-

Transceiver, der einige Selbsttest- und Kalibrationsmerkmale enthält, um einen einfachen Produktionstest zu ermöglichen sowie eine Korrektur von analogen Frontend-Beeinträchtigungen.

5 DE 10 2009 029 052 A1 offenbart ein heterodynes Radarsystem, bei dem ein Reflexionssignal als ein Zwischenfrequenzsignal ausgebildet ist.

10 „A Digital Leakage Cancellation Scheme for Monostatic FMCW-Radar“, IEEE MTT-S Digest, 2004, offenbart zur Auslöschung von Leakage-Effekten ein heterodynes Schaltschema, welches auf digitaler Echtzeit-Signalprozessierung beruht. Vorgeschlagen wird die Erzeugung eines Signals mit gleicher Amplitude und entgegengesetzter Phasenlage zu den auszulöschenden Leakage-Signalen. Allerdings werden systematische Fehler aufgrund von Antennen- oder Verbindungs-Fehlanpassung, sowie unerwünschte Reflexionen im Falle eines
15 Vorhandenseins eines Radoms nicht berücksichtigt.

DE 10 2012 202 007 A1 offenbart einen Radarsensor, der eine Offset-Kompensationseinheit umfasst, die ein Kompensationssignal erzeugt, um mit dem empfangenen Signal zum Receiver gesendet zu werden.

20

Offenbarung der Erfindung

Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein verbessertes Radarsystem bereit zu stellen.

25

Gemäß einem ersten Aspekt wird die Aufgabe gelöst mit einem Radarsystem, aufweisend:

- einen Hauptkanal; und
- einen symmetrisch zum Hauptkanal ausgebildeten Referenzkanal; wobei
30 - mittels eines ersten Oszillators ein erstes Eingangssignal generierbar ist, das im Hauptkanal einer Antenne zuführbar ist, wobei ein reflektierter Anteil des ersten Eingangssignals einem ersten Mischer zuführbar ist;
- wobei das erste Eingangssignal im Referenzkanal über einen zweiten Richtkoppler einem zweiten Mischer zuführbar ist;

- 3 -

- wobei mittels eines zweiten Oszillators ein zweites Eingangssignal mit einer definiert unterschiedlichen Frequenz zum ersten Eingangssignal generierbar ist, das dem ersten Mischer und dem zweiten Mischer zuführbar ist;
- 5 - wobei das vom Mischer des Hauptkanals abgehende Signal und das vom Mischer des Referenzkanals abgehende Signal miteinander vergleichbar sind; und
- wobei abhängig vom Vergleich eine Abschlussimpedanz des Referenzkanals derart dimensionierbar ist, dass die Ausgangssignale des Hauptkanals und des Referenzkanals identische Eigenschaften aufweisen.

Mit dem symmetrischen Aufbau des Radarsystems wird die Tatsache ausgenutzt, dass systematische Fehler in beiden Kanälen auftreten und dadurch
15 gemeinsam analog auskalibriert werden können. Im Ergebnis wird dadurch ein komfortables analoges Kalibrieren eines heterodynen Radarsystems bereitgestellt.

Gemäß einem zweiten Aspekt wird die Aufgabe gelöst mit einem Verfahren zum
20 Kalibrieren eines Radarsystems, das Radarsystem aufweisend:

- einen Hauptkanal und einen symmetrisch zum Hauptkanal ausgebildeten Referenzkanal; wobei
 - mittels eines ersten Oszillators ein erstes Eingangssignal generierbar ist, das im Hauptkanal einer Antenne zuführbar ist, wobei ein reflektierter Anteil des ersten Eingangssignals einem ersten Mischer zuführbar ist;
 - 25 - wobei das erste Eingangssignal im Referenzkanal über einen zweiten Richtkoppler einem zweiten Mischer zuführbar ist;
 - wobei mittels eines zweiten Oszillators ein zweites Eingangssignal mit einer definiert unterschiedlichen Frequenz zum ersten Eingangssignal generierbar ist, das dem ersten Mischer und dem zweiten Mischer
 - 30 zuführbar ist;
- wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist:
- Ausrichten des Radarsystems auf einen Bereich ohne ein detektierbares Ziel;

- wenigstens dreimaliges Ermitteln eines Verhältnisses zwischen dem Ausgangssignal des Hauptkanals und dem Ausgangssignal des Referenzkanals bei jeweils unterschiedlichen Abschlussimpedanzen des Referenzkanals;
- 5 - Ermitteln von resultierenden Reflexionskoeffizienten aus den ermittelten Verhältnissen;
- Ermitteln eines Kalibrationskoeffizienten der Antenne aus den Reflexionskoeffizienten; und
- 10 - Einstellen der Abschlussimpedanz des Referenzkanals mittels der Impedanz-Einstelleinrichtung auf eine Impedanz, die dem Kalibrationskoeffizienten entspricht.

Bevorzugte Weiterbildungen des Radarsystems und des Verfahrens sind Gegenstand von abhängigen Ansprüchen.

15

Eine vorteilhafte Weiterbildung des Radarsystems zeichnet sich dadurch aus, dass der Referenzkanal eine Impedanz-Einstelleinrichtung aufweist, mittels der die Abschlussimpedanz des Referenzkanals einstellbar ist. Auf diese Weise kann auf komfortable Weise eine Abschlussimpedanz des Referenzkanals eingestellt werden, bei der alle systematischen Fehler des gesamten Radarsystems auskalibriert sind.

20

Eine weitere vorteilhafte Weiterbildung des Radarsystems zeichnet sich dadurch aus, dass zur Einstellung der Abschlussimpedanz des Referenzkanals ein aus den Ausgangssignalen des Hauptkanals und des Referenzkanals ermittelter Korrekturkoeffizient verwendbar ist. Auf diese Weise werden Fehlervektoren ermittelt, wodurch ein Prinzip, das einem Kalibrierprinzip eines Ein-Port-Netzwerkanalysators ähnlich ist, angewendet wird.

25

Eine weitere vorteilhafte Weiterbildung des Radarsystems sieht vor, dass der Korrekturkoeffizient mittels einer digitalen Steuerungseinrichtung ermittelbar ist, wobei der Korrekturkoeffizient in ein Steuersignal für die Impedanz-Einstelleinrichtung umgerechnet wird, wobei das Steuersignal mittels der Steuerungseinrichtung an die digitale Einstelleinrichtung zuführbar ist. Auf diese

30

Weise kann der Kalibrier- bzw. Korrekturkoeffizient des heterodynen Radarsystems mit bekannten Prinzipien auf einfache Weise berechnet werden. Die Erfindung wird im Folgenden mit weiteren Merkmalen und Vorteilen anhand von mehreren Figuren im Detail beschrieben. Dabei bilden alle Merkmale,
5 unabhängig von ihrer Darstellung in der Beschreibung und in den Figuren, sowie unabhängig von ihrer Rückbeziehung in den Patentansprüchen den Gegenstand der Erfindung. Die Figuren sind insbesondere dazu gedacht, die erfindungswesentlichen Prinzipien zu verdeutlichen. Gleiche bzw. funktionsgleiche Elemente haben gleiche Bezugsziffern.

10

In den Figuren zeigt:

Fig. 1 ein prinzipielles Blockschaltbild eines herkömmlichen heterodynen Radarsystems;

15

Fig. 2 eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Radarsystems;

Fig. 3 eine Darstellung eines Prinzips zur erfindungsgemäßen Kalibration des Radarsystems;

20

Fig. 4 eine Modell zur Darstellung eines Prinzips der erfindungsgemäßen Kalibration; und

Fig. 5 einen prinzipiellen Ablauf einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens.

25

Beschreibung von Ausführungsformen

Fig. 2 zeigt ein Blockschaltbild einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Radarsystems 100. Man erkennt einen symmetrischen Aufbau eines heterodynen Radarsystems 100 mit einem Hauptkanal 10 und einem zum Hauptkanal 10 symmetrisch ausgebildeten Referenzkanal 20. „Symmetrisch“ bedeutet in diesem Zusammenhang, dass im Hauptkanal 10 und im Referenzkanal 20 gleiche Elemente mit gleichen systematischen Fehlern verwendet werden. Die Symmetrie des Hauptkanals 10 und Referenzkanals 20 werden zu einem
30
35

Selbsttest bzw. zu einem nachfolgend beschriebenen Kalibrationsprozess verwendet.

5 Mittels eines ersten Oszillators bzw. Frequenzgenerators VCO1 wird ein erstes Signal S1 in den Hauptkanal 10 und in den Referenzkanal 20 eingespeist. Dabei wird das Signal S1 im Hauptkanal über einen ersten Leistungsverstärker 11, einen ersten Richtkoppler 12, ein Verbindungselement 13 an eine Antenne 14 übertragen. Von der Antenne 14 wird das Signal S1 als elektromagnetische Strahlung abgestrahlt und trifft auf ein Radom 30, welches zu einem Schutz der
10 Antenne 14 des Radarsystems 100 vorgesehen ist.

Das Radarsystem 100 kann z.B. als ein elektronisches Bauelement implementiert sein. Von einem Ziel 200 wird die elektromagnetische Strahlung reflektiert und gelangt als elektrisches Signal über die Antenne 14, das
15 Verbindungselement 13 und den ersten Richtkoppler 12 zu einem ersten Kleinsignalverstärker 15. Vom ersten Kleinsignalverstärker 15 gelangt das Signal in einen ersten Mischer 16.

20 Der erste Mischer 16 mischt das Signal zusammen mit einem zweiten Signal S2 eines zweiten Oszillators VCO2, dessen Frequenz geringfügig von der Frequenz des ersten Signals S1 des ersten Oszillators VCO1 verschieden ist, in ein Basisband, z.B. in ein Signal mit einer Frequenz von 100 MHz, das nachfolgend besser auswertbar ist.

25 Im Referenzkanal 20 ist der Signalfluss analog wie im Hauptkanal 10 mit dem Unterschied, dass statt der Antenne 14 als Abschluss des Referenzkanals 20 eine digitale Impedanz-Einstelleinrichtung 23 (engl. digital impedance tuner) zur Einstellung einer komplexen Abschlussimpedanz des Referenzkanals 20 vorgesehen ist. Mittels der digitalen Impedanz-Einstelleinrichtung 23 können
30 verschiedene komplexe Abschlussimpedanzen am Referenzkanal 20 eingestellt werden, wodurch sich ein elektrisches Ausgangssignal IF_R des Referenzkanals 20 beeinflussen lässt.

35 Das zweite Signal S2 wird jeweils dem Mischer 16, 25 des Hauptkanals 10 und des Referenzkanals 20 zugeführt, wobei die Mischer 16, 25 das zweite Signal S2

den von den Richtkopplern 12, 22 abgehenden und mittels der Kleinsignalverstärker 15, 24 verstärkten Signalen beimischen.

Das vom ersten Mischer 16 des Hauptkanals 10 abgehende Signal wird einem A/D-Wandler 40 zugeführt, wodurch ein digitales Signal IF_M gebildet wird, das einer Recheneinrichtung 61 einer Steuerungseinrichtung 60 zugeführt wird. Das vom zweiten Mischer 25 des Referenzkanals 20 abgehende Signal wird einem A/D-Wandler 50 zugeführt, der das Signal in einen Digitalwert IF_R umsetzt, der ebenfalls der Recheneinrichtung 61 zugeführt wird.

Die Steuerungseinrichtung 60 ist dazu vorgesehen, ein Verhältnis aus den beiden Ausgangssignalen IF_M , IF_R zu berechnen. Zu diesem Zweck ermittelt die Recheneinrichtung 61 wenigstens drei Reflexionskoeffizienten- bzw. -faktoren, aus denen ein Kalibrationskoeffizient Γ_{Kal} für das Radarsystem 100 ermittelt wird. Der Kalibrationskoeffizient Γ_{Kal} wird in ein Steuersignal umgerechnet, das von einem Steuerungselement 63 der Steuerungseinrichtung 60 an die digitale Impedanz-Einstelleinrichtung 23 zugeführt wird. Auf diese Weise wird im Ergebnis erreicht, dass das Ausgangssignal IF_R des Referenzkanals 20 in seinen elektrischen Eigenschaften dem Ausgangssignal IF_M des Hauptkanals 10 entspricht, was einem kalibrierten Zustand des Radarsystems 100 entspricht.

Auf diese Art und Weise kann das kalibrierte heterodyne Radarsystem 100 in einem Normalbetrieb ohne Beeinträchtigung durch systematische Fehler unter Nutzung seiner vollen Bandbreite arbeiten.

Eine Funktionsweise der erfindungsgemäßen Kalibration, welches die systematischen Fehler des Radarsystems 100 herauskalibriert, wird im Folgenden genauer beschrieben.

Der monostatische Aufbau des heterodyn Radarsystems 100 mit nur einer Antenne 14 im Sende- und Empfangspfad hat als Problem, dass die Isolation zwischen Sende- und Empfangspfad nicht unendlich ist, wodurch es zu einer ungewollten Ableitung bzw. einem Schwund (engl. leakage) aus den vorgesehenen Signalpfaden kommen kann.

Beide Oszillatoren VCO1, VCO2 weisen ein bestimmtes Phasenrauschen auf, das durch Überlagerung in einem Mischprozess korreliert wird, wodurch die Systemgenauigkeit auf signifikante Weise gesteigert sein kann.

5 Fig. 3 zeigt ein prinzipielles Schaltbild zur Darstellung des symmetrischen Aufbaus des Radarsystems 100. Man erkennt eine Fehlerzelle 70 für den Hauptkanal 10 und eine Fehlerzelle 80 für den Referenzkanal 20. Die Fehlerzellen 70, 80, die symmetrisch zueinander ausgebildet sind, werden für das erfindungsgemäße Kalibrationsprinzip verwendet.

10 In Fig. 4 ist ein schaltungstechnisches Modell mit einer Fehlerzelle 90 dargestellt, welches beispielsweise aus einem Kalibrationsprozess von Vektor-Netzwerkanalysatoren bekannt ist. Die Fehlerzellen 70, 80 von Fig. 3 können als Fehlerzelle 90 von Fig. 4 angesehen werden.

15 Das Modell von Fig. 4 umfasst ein System, welches als einem Eingang und an einem Ausgang Reflexionskoeffizienten umfasst, die bestimmte Lastsituationen repräsentieren. In der Fehlerzelle 90 sind systematische Fehler anhand von Parametern dargestellt, die im Zusammenhang mit dem zu kalibrierenden Radarsystem 100 die nachfolgenden Bedeutungen haben:

20

e_{00}	.....	Fehler des Richtfaktors (engl. directivity error)
e_{11}	.....	Quellenfehlانpassung
e_{10}, e_{01}	.....	Frequenzgangfehler (engl. reflection tracking error)
Γ_M	.....	gemessener Reflexionskoeffizient einer Last
25 Γ_L	.....	aktueller Reflexionskoeffizient einer Last

Der Reflexionskoeffizient Γ_M repräsentiert dabei gemessene Informationen, die die systematischen Fehler und Informationen über die Last, d.h. das Ziel 200, umfassen, wobei im kalibrierten Zustand des Radarsystems 100 nur die
30 Informationen über die Last ohne die systematischen Fehler erwünscht sind. Der Reflexionskoeffizient Γ_L der Last enthält Informationen über das gemessene Ziel 200.

Mathematisch lässt sich das Modell von Fig. 4 nachfolgend darstellen:

35

- 9 -

$$\Gamma_{\text{Kal}} = \begin{bmatrix} \epsilon_{00} & 1 \\ \epsilon_{10} & \epsilon_{11} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Fig. 5 zeigt einen prinzipiellen Ablauf des erfindungsgemäßen Verfahrens.

5 In einem Schritt 300 wird das zu kalibrierende heterodyne Radarsystem 100 in einen Kalibrationsmodus versetzt. Dies kann beispielsweise bei der Montage eines Radarsensors mit dem Radarsystem 100 in ein Kraftfahrzeug durchgeführt werden. Alternativ ist es auch möglich, das Radarsystem 100 zu gewünschten, definierten Zeitpunkten in den Kalibrationsmodus zu versetzen, zum Beispiel
10 mittels eines von einem Fahrzeuglenker initiierten Steuersignals.

In einem Schritt 310 wird das Radarsystem 100 auf einen freien Raum ohne detektierbare Ziele 200 ausgerichtet. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass für die Kalibration lediglich systematische Fehler des Radarsystems 100
15 berücksichtigt werden.

In einem Schritt 320 wird der Wert der digitalen Impedanz-Einstelleinrichtung 23 auf bekannte Werte verstellt, wobei Amplituden und Phasendifferenzen der elektrischen Ausgangsspannungen am Referenzkanal 20 und am Hauptkanal 10
20 nach den A/D-Wandlern 40, 50 ermittelt werden. Zu diesem Zweck wird die digitale Impedanz-Einstelleinrichtung 23 wenigstens dreimal auf bekannte Werte verstellt, wodurch sich nur das Ausgangssignal IF_R des Referenzkanals 20 ändert, weil nur dieser mit der digitalen Impedanz-Einstelleinrichtung 23 verbunden ist. Dies wird wenigstens dreimal nacheinander durchgeführt,
25 wodurch ein lineares Gleichungssystem mit drei Unbekannten bestimmt ist und gelöst werden kann. Optional ist es auch möglich, mehr als drei Messungen durchzuführen, wobei dadurch die ermittelten Fehlerparameter robuster werden.

In einem Schritt 330 werden Fehlerkoeffizienten durch Lösen des erhaltenen linearen Gleichungssystems berechnet, ähnlich wie bei einer Ein-Port-Netzwerkvektoranalysator-Prozedur. Dabei können die Ausgangssignale des Hauptkanals 10 und des Referenzkanals 20 durch folgende mathematische Beziehungen dargestellt werden:

$$35 \quad IF_R = A_R \times \sin(2 \pi f t + \Phi_1) \quad (2)$$

$$IF_M = A_M \times \sin(2 \pi f t + \Phi_1) \quad (2)$$

mit den Parametern:

IF_M Ausgangssignal Hauptkanal

5 IF_R Ausgangssignal Referenzkanal

A_R Amplitude des Ausgangssignals des Referenzkanals

A_M Amplitude des Ausgangssignals des Hauptkanals

Φ₁.... Phase des Ausgangssignals des Referenzkanals

Φ₂ Phase des Ausgangssignals des Hauptkanals

10

Der Reflexionskoeffizient Γ_M kann aus folgender Gleichung berechnet werden:

$$\Gamma_M = IF_M / IF_R = \Delta A e^{j\Delta\Phi} \quad (4)$$

15

Die Reflexionskoeffizienten können durch Lösen der folgenden linearen Gleichung ermittelt werden:

$$\begin{bmatrix} 1 & \Gamma_{L1}\Gamma_{M1} & -\Gamma_{L1} \\ 1 & \Gamma_{L2}\Gamma_{M2} & -\Gamma_{L2} \\ 1 & \Gamma_{L3}\Gamma_{M3} & -\Gamma_{L3} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} e_{00} \\ e_{11} \\ e_{\Delta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Gamma_{M1} \\ \Gamma_{M2} \\ \Gamma_{M3} \end{bmatrix} \quad (5)$$

20

wobei gilt:

$$e_{\Delta} = e_{00}e_{11} - e_{10}e_{01} \quad (6)$$

Nach durchgeführter Kalibration kann ein Reflexionskoeffizient einer Last, die entweder mit dem Referenzkanal 20 oder mit dem Hauptkanal 10 verbunden wird, aus dem gemessenen Reflexionskoeffizienten Γ_M unter Verwendung der nachfolgenden mathematischen Beziehung berechnet werden:

25

$$\Gamma_L = (\Gamma_M - e_{11}) / (e_{00} - e_{\Delta}\Gamma_M) \quad (7)$$

30

Wenn kein Ziel 200 vorhanden ist, ist Γ_M = 1, wobei dann der Kalibrationskoeffizient Γ_{Kal} aus folgender mathematischer Beziehung ermittelt werden kann:

$$\Gamma_{Kal} = \frac{1 - e_{00}}{e_{11} - e_{\Delta}} \quad (8)$$

In einem Schritt 340 wird der komplexe Kalibrationskoeffizient Γ_{Kal} des Radarsystems 100 aus der Gleichung (8) ermittelt.

5 In einem Schritt 350 wird schließlich der Wert der digitalen Einstelleinrichtung 23 auf den Wert des Kalibrationskoeffizienten Γ_{Kal} eingestellt, wodurch nunmehr sichergestellt ist, dass das Radarsystem 100 ohne Berücksichtigung der systematischen Fehler arbeitet und daher kalibriert ist.

10 Für normale betriebliche Messungen des Radarsystems 100 mit Zielen 200 wird die Abschlussimpedanz des Referenzkanals 20 auf den Wert, der dem Kalibrationskoeffizient Γ_{Kal} entspricht, eingestellt, wodurch der Referenzkanal 20 für den Hauptkanal 10 zu einer Art „Kalibrationskanal“ wird. Um den Wert der digitalen Impedanz-Einstelleinrichtung 23 auf den berechneten Wert Γ_{Kal} einzustellen, kann zum Beispiel eine Tabelle mit einander entsprechenden Daten
15 von Kalibrationskoeffizienten und Impedanzwerten verwendet werden.

Nach erfolgter Kalibration, wenn die Messung nicht geändert wird, ist die Phasen- und Amplitudendifferenz der beiden Kanäle 10, 20 Null. Auf diese Weise ist der systematische Fehler vollständig kompensiert.

20 In einem Schritt 360 wird abgefragt, ob sich irgendwelche Umgebungseinflüsse geändert haben, z.B. ob sich eine Temperatur, eine Einstellung, eine Integration, usw. geändert haben. Falls dies nicht der Fall ist, beispielsweise im Falle, dass der Radartransceiver in einen Chip integriert ist, gibt es keine Prozessvariation
25 zwischen dem Referenzkanal 20 und dem Hauptkanal 10, wodurch beide Kanäle 10, 20 vollständig symmetrisch sind. Danach wird das Radarsystem 100 in einem Schritt 370 in einen operationellen Normalbetriebsmodus geschaltet. Andernfalls wird die Prozedur wieder mit Schritt 300 von vorne begonnen.

30 Vorteilhaft können mit dem erfindungsgemäßen Verfahren systematische Fehler des Radarsystems 100 unter voller Beibehaltung der dynamischen Bandbreite des Radarsystems eliminiert werden.

Die erfindungsgemäße Radarkalibration kann auf diese Weise einen bedeutsamen Zeitgewinn ermöglichen und ist sehr gut zu einer iterativen Implementation unter aktuellen Betriebsbedingungen geeignet.

5 Zusammenfassend werden mit der vorliegenden Erfindung ein selbst-
kalibrierendes, heterodynes Radarsystem und ein Verfahren zu einem
Kalibrieren eines derartigen Radarsystems vorgeschlagen, wobei zur Kalibration
ein Kalibrierprinzip von Netzwerk-Analysatoren angewendet wird. Vorteilhaft
kann auf diese Weise ein exaktes Betriebsverhalten des Radarsystems,
10 beispielsweise in einem Radarsensor eines Kraftfahrzeugs bereitgestellt werden.

Obwohl die Erfindung vorgehend anhand einer konkreten Ausführungsform
beschrieben wurde, ist sie nicht darauf beschränkt. Der Fachmann wird also
vorgehend auch nicht dargestellte Ausführungsformen der Erfindung realisieren
15 können, ohne vom Kern der Erfindung abzuweichen.

5 Ansprüche

1. Radarsystem (100), aufweisend:
 - einen Hauptkanal (10); und
 - einen symmetrisch zum Hauptkanal (10) ausgebildeten Referenzkanal (20); wobei
 - 10 - mittels eines ersten Oszillators (VCO1) ein erstes Eingangssignal (S1) generierbar ist, das im Hauptkanal (10) einer Antenne (14) zuführbar ist, wobei ein reflektierter Anteil des ersten Eingangssignals (S1) einem ersten Mischer (16) zuführbar ist;
 - 15 - wobei das erste Eingangssignal (S1) im Referenzkanal (20) über einen zweiten Richtkoppler (22) einem zweiten Mischer (25) zuführbar ist;
 - wobei mittels eines zweiten Oszillators (VCO2) ein zweites Eingangssignal (S2) mit einer definiert unterschiedlichen Frequenz zum ersten Eingangssignal (S1) generierbar ist, das dem ersten Mischer (16) und dem zweiten Mischer (25) zuführbar ist;
 - 20 - wobei das vom Mischer (16) des Hauptkanals (10) abgehende Signal und das vom Mischer (25) des Referenzkanals (20) abgehende Signal miteinander vergleichbar sind; und
 - wobei abhängig vom Vergleich eine Abschlussimpedanz des Referenzkanals (20) derart dimensionierbar ist, dass die Ausgangssignale des Hauptkanals (10) und des Referenzkanals (20) identische Eigenschaften aufweisen.
 - 25
2. Radarsystem (100) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Referenzkanal (20) eine Impedanz-Einstelleinrichtung (23) aufweist, mittels der die Abschlussimpedanz des Referenzkanals (20) einstellbar ist.
- 30
3. Radarsystem (100) nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass zur Einstellung der Abschlussimpedanz des Referenzkanals (20) ein aus den

Ausgangssignalen des Hauptkanals (10) und des Referenzkanals (20) ermittelter Korrekturkoeffizient (Γ_{Kal}) verwendbar ist.

4. Radarsystem (100) nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Korrekturkoeffizient (Γ_{Kal}) mittels einer digitalen Steuerungseinrichtung (63) ermittelbar ist, wobei der Korrekturkoeffizient (Γ_{Kal}) in ein Steuersignal für die Impedanz-Einstelleinrichtung (23) umgerechnet wird, wobei das Steuersignal mittels der Steuerungseinrichtung (63) an die digitale Einstelleinrichtung (23) zuführbar ist.
5. Radarsensor aufweisend ein Radarsystem (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche.
6. Radarsensor nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Radarsensor mittels eines Radoms (30) schützbar ist.
7. Verfahren zum Kalibrieren eines Radarsystems (100), das Radarsystem aufweisend: einen Hauptkanal (10) und einen symmetrisch zum Hauptkanal (10) ausgebildeten Referenzkanal (20); wobei mittels eines ersten Oszillators (VCO1) ein erstes Eingangssignal (S1) generierbar ist, das im Hauptkanal (10) einer Antenne (14) zuführbar ist, wobei ein reflektierter Anteil des ersten Eingangssignals (S1) einem ersten Mischer (16) zuführbar ist; wobei das erste Eingangssignal (S1) im Referenzkanal (20) über einen zweiten Richtkoppler (22) einem zweiten Mischer (25) zuführbar ist; wobei mittels eines zweiten Oszillators (VCO2) ein zweites Eingangssignal (S2) mit einer definiert unterschiedlichen Frequenz zum ersten Eingangssignal (S1) generierbar ist, das dem ersten Mischer (16) und dem zweiten Mischer (25) zuführbar ist; wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist:
- Ausrichten des Radarsystems (100) auf einen Bereich ohne ein detektierbares Ziel (200):
 - wenigstens dreimaliges Ermitteln eines Verhältnisses zwischen dem Ausgangssignal (IF_M) des Hauptkanals (10) und dem Ausgangssignal (IF_R) des Referenzkanals (20) bei jeweils unterschiedlichen Abschlussimpedanzen (Γ_{L1} , Γ_{L2} , Γ_{L3}) des Referenzkanals (20);

- 15 -

- Ermitteln von resultierenden Reflexionskoeffizienten (Γ_{M1} , Γ_{M2} , Γ_{M3}) aus den ermittelten Verhältnissen;
 - Ermitteln eines Kalibrationskoeffizienten (Γ_{Kal}) der Antenne (14) aus den Reflexionskoeffizienten (Γ_{M1} , Γ_{M2} , Γ_{M3}); und
 - 5 - Einstellen der Abschlussimpedanz des Referenzkanals (20) mittels der Impedanz-Einstelleinrichtung (23) auf eine Impedanz, die dem Kalibrationskoeffizienten (Γ_{Kal}) entspricht.
8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei das Verfahren zu definierten
- 10 Zeitpunkten durchgeführt wird.

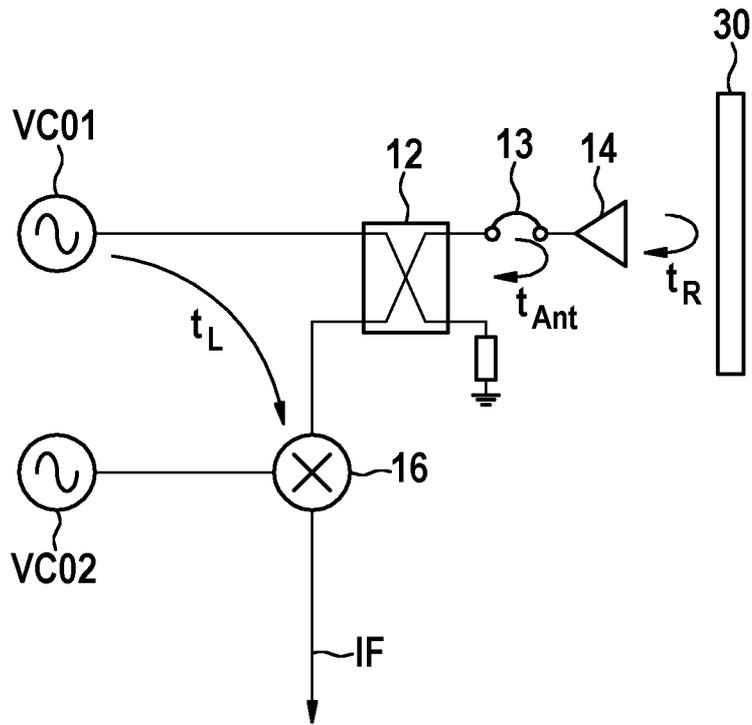


Fig. 1

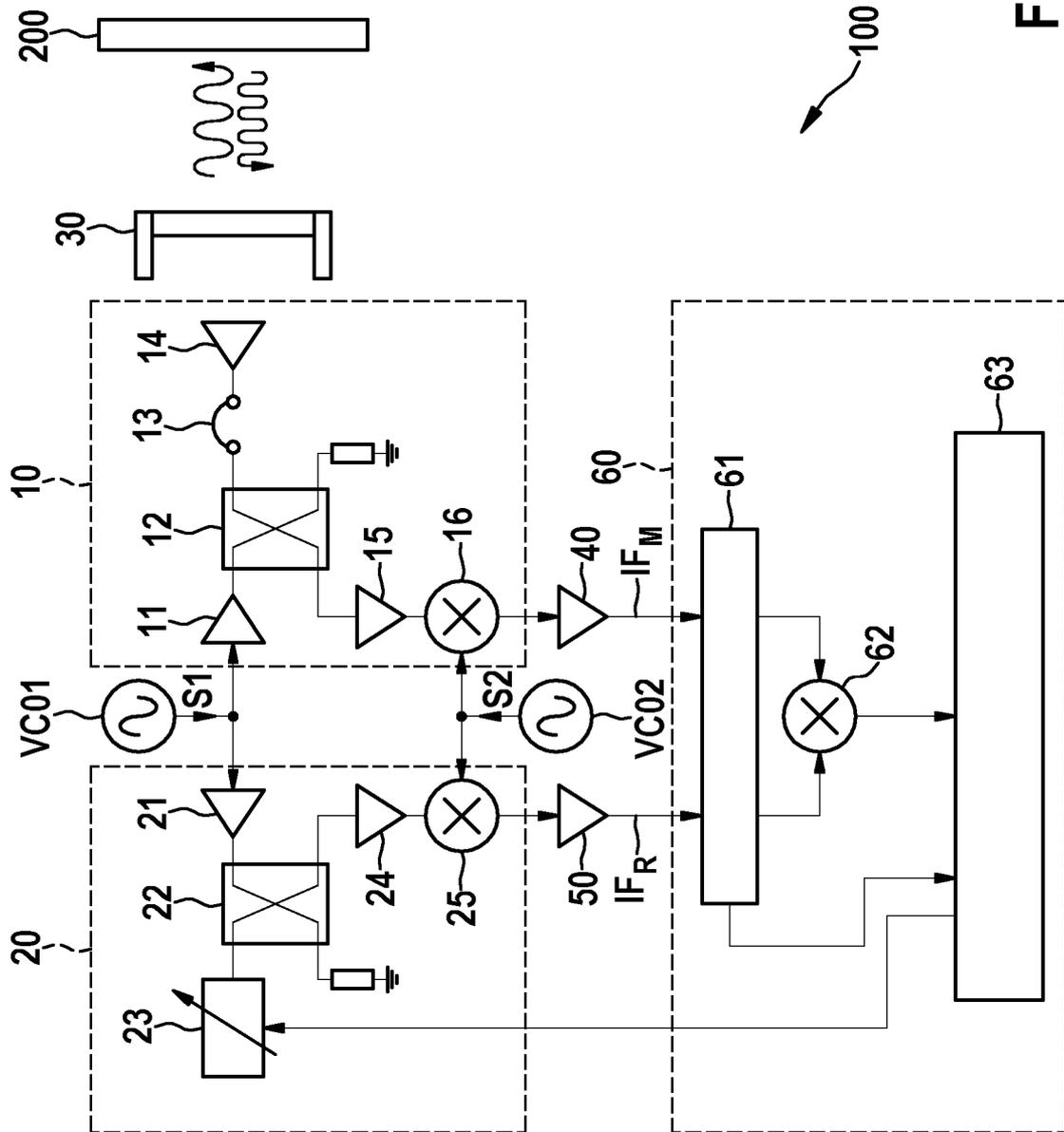


Fig. 2

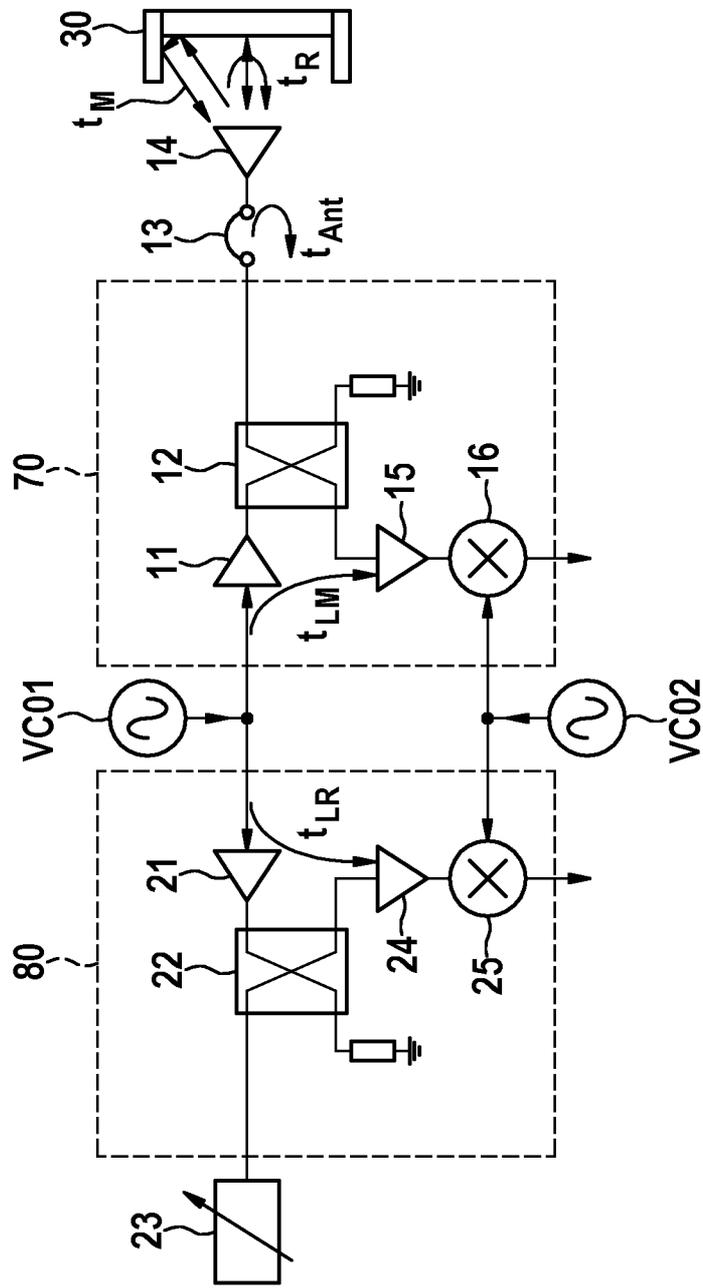


Fig. 3

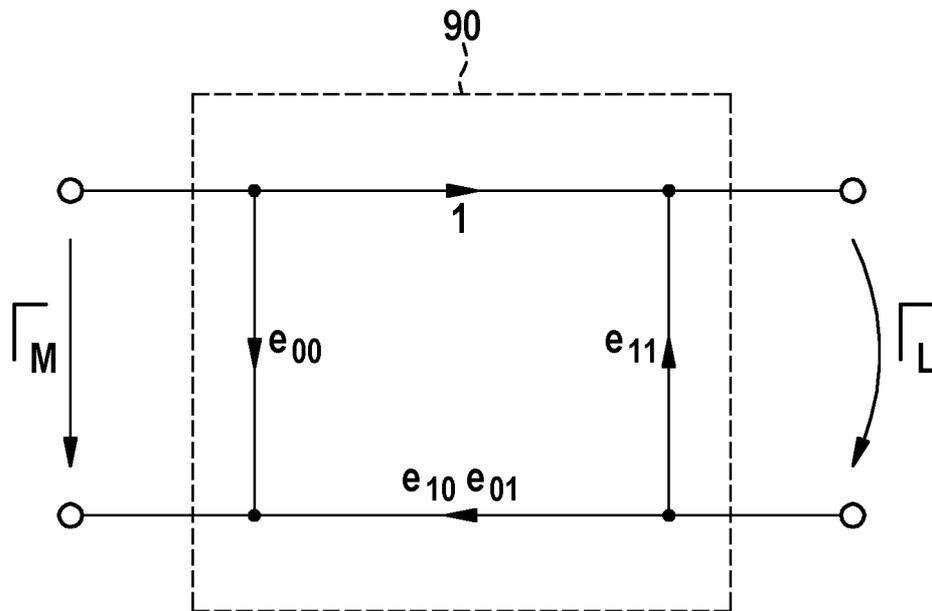


Fig. 4

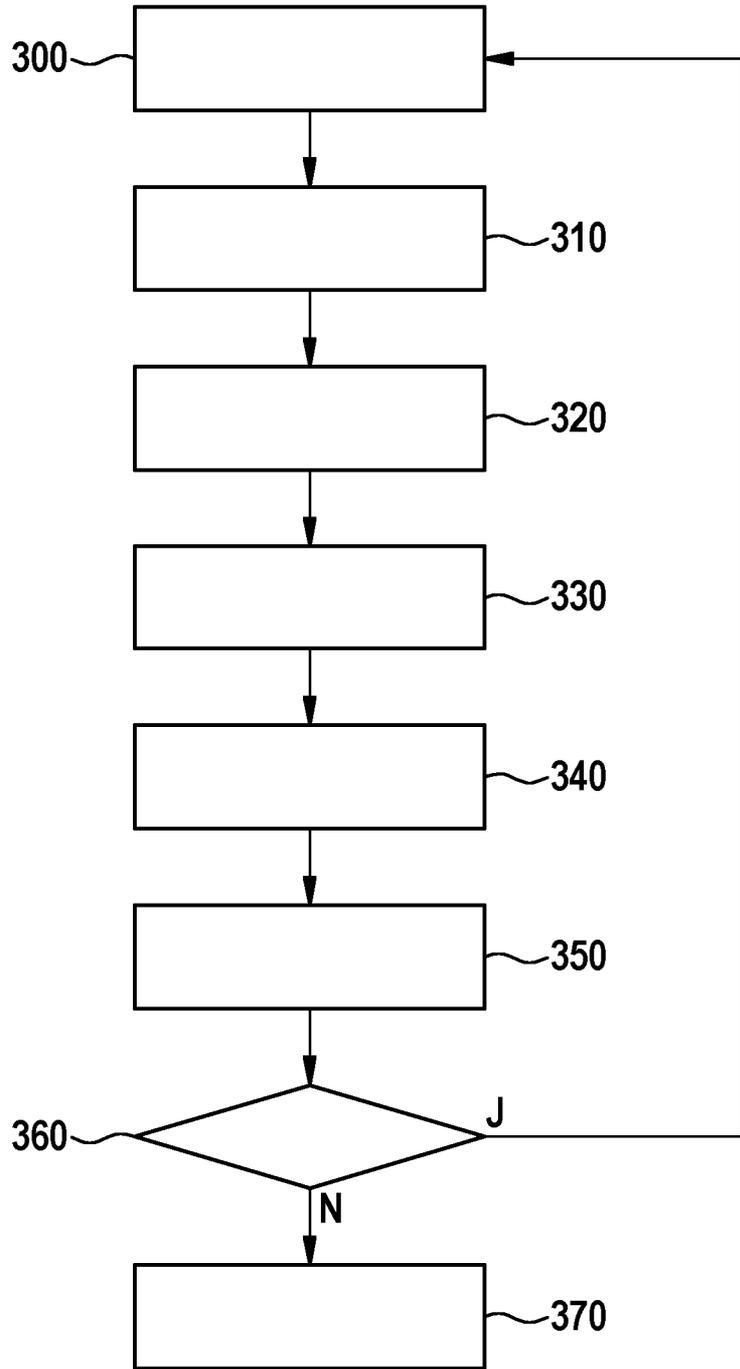


Fig. 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No PCT/EP2015/074138

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 INV. G01S7/03 G01S7/40
 ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 G01S

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
 EPO-Internal, INSPEC, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	IOANNIS SARKAS ET AL: "A Fundamental Frequency 143-152 GHz Radar Transceiver with Built-In Calibration and Self-Test", 2012 IEEE COMPOUND SEMICONDUCTOR INTEGRATED CIRCUIT SYMPOSIUM (CSICS 2012) : LA JOLLA, CALIFORNIA, USA, 14 - 17 OCTOBER 2012, IEEE, PISCATAWAY, NJ, 14 October 2012 (2012-10-14), pages 1-4, XP032266279, DOI: 10.1109/CSICS.2012.6340072 ISBN: 978-1-4673-0928-8 the whole document -----	1-8

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&" document member of the same patent family
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 10 December 2015	Date of mailing of the international search report 16/12/2015
---	--

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Köppe, Maro
--	---------------------------------------

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2015/074138

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. G01S7/03 G01S7/40 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) G01S		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, INSPEC, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	IOANNIS SARKAS ET AL: "A Fundamental Frequency 143-152 GHz Radar Transceiver with Built-In Calibration and Self-Test", 2012 IEEE COMPOUND SEMICONDUCTOR INTEGRATED CIRCUIT SYMPOSIUM (CSICS 2012) : LA JOLLA, CALIFORNIA, USA, 14 - 17 OCTOBER 2012, IEEE, PISCATAWAY, NJ, 14. Oktober 2012 (2012-10-14), Seiten 1-4, XP032266279, DOI: 10.1109/CSICS.2012.6340072 ISBN: 978-1-4673-0928-8 das ganze Dokument -----	1-8
<input type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche 10. Dezember 2015		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts 16/12/2015
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Köppe, Maro