

(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  
22. Mai 2014 (22.05.2014)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2014/075838 A1**

- (51) Internationale Patentklassifikation: *G01S 13/34* (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2013/069912
- (22) Internationales Anmeldedatum: 25. September 2013 (25.09.2013)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität: 102012220879.8  
15. November 2012 (15.11.2012) DE
- (71) Anmelder: **ROBERT BOSCH GMBH** [DE/DE]; Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).
- (72) Erfinder: **SCHROEDER, Christoph**; Kalkofenstr. 40, 71063 Sindelfingen (DE). **SCHOOR, Michael**; Chopinstrasse 9, 70195 Stuttgart (DE).
- (74) Gemeinsamer Vertreter: **ROBERT BOSCH GMBH**, Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, 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, 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,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: RAPID-CHIRPS-FMCW-RADAR

(54) Bezeichnung : RAPID-CHIRPS-FMCW-RADAR

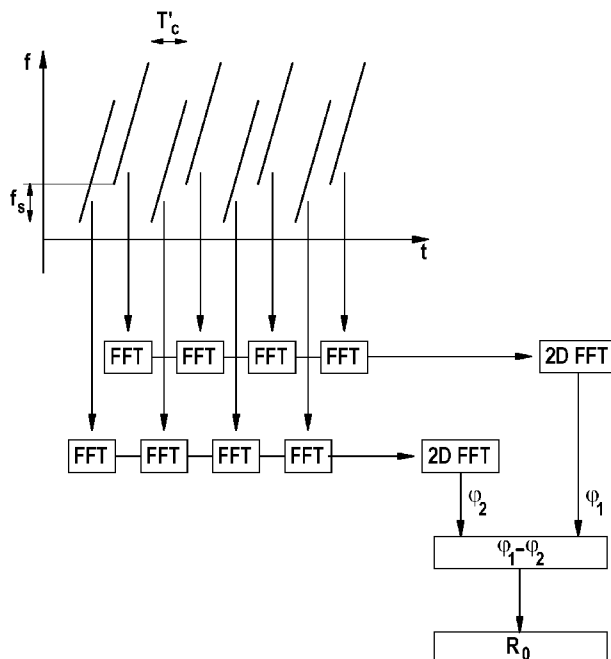


Fig. 7

(57) Abstract: The invention relates to a method for determining distances and relative speeds of a plurality of objects that are located at the same time by means of a FMCW radar, in which the frequency of an emitted signal in the form of ramps (24, 30) repeating in periodic intervals is modulated, the emitted signal combined with a received signal to an intermediate frequency signal and for determining the distance and/or the relative speed of the objects the modification of the phase of the intermediate frequency signal is evaluated from ramp to ramp, characterized in that the modulation pattern comprises at least two ramps (24, 30) which differ in one fixed frequency offset ( $f_s$ ) only and which are consecutive in a determined time distance ( $T_c$ ), and in that a unique approximate value ( $R_0$ ) for the object distance is calculated on the basis of the phase difference ( $\phi_1 - \phi_2$ ) the intermediate frequency signals for these two ramps.

(57) Zusammenfassung: Verfahren zur Bestimmung von Abständen und Relativgeschwindigkeiten mehrerer gleichzeitig georteter Objekte mit einem FMCW-Radar,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2014/075838 A1



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)

---

bei dem die Frequenz eines Sendesignals in der Form von sich periodisch wiederholenden Rampen (24, 30) moduliert wird, das Sendesignal mit einem empfangenen Signal zu einem Zwischenfrequenzsignal gemischt wird und zur Bestimmung des Abstands und/oder der Relativgeschwindigkeit der Objekte die Änderung der Phase des Zwischenfrequenzsignals von Rampe zu Rampe ausgewertet wird, dadurch gekennzeichnet, dass das Modulationsmuster mindestens zwei Rampen (24, 30) umfasst, die sich nur um einen festen Frequenzversatz ( $f_s$ ) unterscheiden und in einem bestimmten zeitlichen Abstand ( $T_c$ ) aufeinanderfolgen, und dass anhand der Phasendifferenz ( $\Delta\phi$ ) der Zwischenfrequenzsignale für diese beiden Rampen ein eindeutiger Näherungswert ( $R_0$ ) für den Objektabstand berechnet wird.

### Rapid-Chirps-FMCW-Radar

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung von Abständen und Relativgeschwindigkeiten mehrerer gleichzeitig georteter Objekte mit einem FMCW-Radar, bei dem die Frequenz eines Sendesignals in der Form von sich periodisch wiederholenden Rampen moduliert wird, das Sendesignal mit einem empfangenen Signal zu einem Zwischenfrequenzsignal gemischt wird, und zur Bestimmung des Abstands und/oder der Relativgeschwindigkeit der Objekte die Änderung der Phase des Zwischenfrequenzsignals von Rampe zu Rampe ausgewertet wird.

Weiterhin betrifft die Erfindung einen Radarsensor, insbesondere für Kraftfahrzeuge, der zur Durchführung dieses Verfahrens ausgebildet ist.

Bei Kraftfahrzeugen werden FMCW-Radarsensoren zur Erfassung des Verkehrsumfelds eingesetzt, insbesondere zur Ortung anderer Fahrzeuge. Die Ortungsergebnisse können für verschiedene Assistenzfunktionen genutzt werden, beispielsweise für eine automatische Abstandsregelung, eine automatische Kollisionswarnung oder auch die automatische Auslösung eines Notbremsvorgangs bei akuter Kollisionsgefahr.

Die Frequenz des Zwischenfrequenzsignals entspricht dem Frequenzunterschied zwischen dem zu einem gegebenen Zeitpunkt gesendeten Signal und dem zum selben Zeitpunkt empfangenen Signal. Aufgrund der Frequenzmodulation des Sendesignals ist dieser Frequenzunterschied von der Laufzeit des Signals vom Radarsensor zum Objekt und zurück und somit vom Abstand des Objekts abhängig. Aufgrund des Dopplereffektes enthält der Frequenzunterschied jedoch auch einen Anteil, der durch die Relativgeschwindigkeit des Objekts bedingt ist. Die Messung des Frequenzunterschieds auf einer einzelnen Rampe erlaubt deshalb noch keine Bestimmung des Abstands und der Relativgeschwindigkeit, sondern liefert nur eine lineare Beziehung zwischen diesen Größen. Diese Beziehung lässt sich in einem Abstands / Geschwindigkeits-Diagramm (R-v-Diagramm) als Gerade darstellen.

Um eindeutige Werte für den Abstand und die Relativgeschwindigkeit zu erhalten, wird bei einem gebräuchlichen Typ eines FMCW-Radars mit einander abwechselnden steigenden und fallenden Frequenzrampen gearbeitet. Im R-v-Diagramm erhält man dann für jede Rampe eine andere Gerade, und der Abstand und die Relativgeschwindigkeit  
5 des Objekts sind durch den Schnittpunkt dieser beiden Geraden gegeben.

Wenn jedoch mehrere Objekte gleichzeitig geortet werden, enthält das Frequenzspektrum des Zwischenfrequenzsignals auf jeder Rampe mehrere Peaks, je einen für jedes Objekt, und bei einem Vergleich der Peaks auf verschiedenen Rampen ist nicht mehr eindeutig feststellbar, welcher Peak zu welchem Objekt gehört. Beispielsweise erhält  
10 man bei gleichzeitiger Ortung von zwei Objekten ein R-v-Diagramm mit vier einander schneidenden Geraden. Nur zwei der vier Schnittpunkte geben die Abstände und Relativgeschwindigkeiten der beiden Objekte an, während die beiden anderen Schnittpunkte sogenannte "Scheinziele" repräsentieren.

Um diese Mehrdeutigkeit zu beseitigen, wird zumeist noch mit mindestens einer dritten  
15 Frequenzrampe gearbeitet, die eine andere Steigung hat und eine weitere Schar von Geraden im R-v-Diagramm liefert. Die echten Objekte sind dann daran zu erkennen, dass alle drei Geraden durch denselben Punkt gehen.

Bei zunehmender Anzahl von gleichzeitig georteten Objekten steigt jedoch die Wahrscheinlichkeit, dass drei Geraden sich zufällig in nahezu demselben Punkt schneiden,  
20 stark an, wodurch auch der Aufwand steigt, die Mehrdeutigkeiten aufzulösen. Oft werden weitere Frequenzrampen verwendet, um Mehrdeutigkeiten einfacher aufzulösen.

Das im einleitenden Absatz beschriebene Verfahren stellt einen alternativen Ansatz zur Lösung dieses Problems dar. Hier wird mit einer Folge von identischen, verhältnismäßig  
25 kurzen Frequenzrampen, sogenannten "Rapid Chirps" gearbeitet, die im Verhältnis zu ihrer Dauer einen hohen Frequenzhub haben und deshalb so steil sind, dass im Zwischenfrequenzsignal der abstandsabhängige Anteil dominiert, während der Dopplerteil nur eine kleine Korrektur darstellt. Diese Korrektur wird dadurch bestimmt, dass man die Phasenänderung des Zwischenfrequenzsignals von Rampe zu Rampe

verfolgt. Dabei wird der Umstand ausgenutzt, dass die Phase des Zwischenfrequenzsignals relativ empfindlich auf die geringe Änderung des Objektsabstands reagiert, die aus der Relativbewegung des Objektes während des kurzen Zeitintervalls von einer Frequenzrampe zur nächsten resultiert.

- 5 Da die Phasenänderung jedoch eine periodische Funktion der Relativgeschwindigkeit ist, lässt sich die Relativgeschwindigkeit nur dann eindeutig bestimmen, wenn sie so klein ist, dass die Phasenänderung weniger als eine halbe Periode (also weniger als  $\pi$ ) beträgt.

Bei einem Einsatz des FMCW-Radars in einem Kraftfahrzeug können die Relativgeschwindigkeiten jedoch so groß sein, dass diese Bedingung verletzt wird. Um dennoch eindeutige Ergebnisse zu erhalten, müsste man die Dauer und damit die Wiederholfrequenz der Chirps weiter verkürzen. Das würde jedoch nicht nur mehr Rechenleistung erfordern, sondern wegen der entsprechend kürzeren "Beobachtungsdauer" auch eine größere Unschärfe bei der Abstandsmessung mit sich bringen, und schließlich wäre  
10 eine Messung überhaupt nicht mehr möglich, wenn die Rampendauer kürzer ist als die  
15 Zeit, die das Radarsignal für den Weg zum Objekt und zurück benötigt.

Aufgabe der Erfindung ist es deshalb, ein Verfahren anzugeben, das es erlaubt, die Abstände und Relativgeschwindigkeiten eindeutig und mit hoher Genauigkeit zu messen.

20 Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass das Modulationsmuster mindestens zwei Rampen umfasst, die sich nur um einem festen Frequenzversatz unterscheiden und in einem bestimmten zeitlichen Abstand aufeinanderfolgen, und dass anhand der Phasendifferenz der Zwischenfrequenzsignale für diese beiden Rampen ein eindeutiger Näherungswert für den Objektabstand berechnet wird.

25 Die Erfindung nutzt den Umstand aus, dass die Phasendifferenz der Zwischenfrequenzsignale für die beiden frequenzversetzten Rampen bei kurzem zeitlichen Abstand der beiden Rampen nahezu unabhängig von der Relativgeschwindigkeit des Objekts ist und deshalb einen guten Näherungswert für den Objektabstand liefert. Ein genauere Wert für den Objektabstand kann dann gemäß einem der bekannten Verfahren be-

stimmt werden, die mehrdeutige Ergebnisse liefern. Der anhand der Phasendifferenz bestimmte Näherungswert erlaubt es dann, unter den mehreren in Frage kommenden genauen Werten für den Objektabstand den richtigen auszuwählen.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

5 Im folgenden wird ein Ausführungsbeispiel anhand der Zeichnung näher erläutert.

Es zeigen:

- |    |        |   |
|----|--------|---|
|    | Fig. 1 | ein Blockdiagramm eines FMCW-Radarsystems;  |
|    | Fig. 2 | ein Beispiel eines Frequenzmodulationsschemas;  |
| 10 | Fig. 3 | eine Folge von Zwischenfrequenz-Zeitsignalen sowie deren Fouriertransformierte;                       |
|    | Fig. 4 | einen Längsschnitt der Zeitsignale nach Fig. 3 sowie die Fouriertransformierte dieses Längsschnittes; |
|    | Fig. 5 | ein Diagramm zur Illustration des Ergebnisses einer zweidimensionalen Fouriertransformation;          |
| 15 | Fig. 6 | einen Längsschnitt analog zu Fig. 4 für eine andere Relativgeschwindigkeit; und                       |
|    | Fig. 7 | ein Diagramm zur Erläuterung des erfindungsgemäßen Verfahrens.  |

20 In Fig. 1 ist als vereinfachtes Blockdiagramm ein FMCW-Radarsensor 10 dargestellt, der beispielsweise vorn in einem Kraftfahrzeug eingebaut ist und dazu dient, Abstände  $R$  und Relativgeschwindigkeiten  $v$  von Objekten 12, 14 zu messen, beispielsweise von vorausfahrenden Fahrzeugen. Der Radarsensor 10 weist einen spannungsgesteuerten Oszillator 16 auf, der ein frequenzmoduliertes Sendesignal über einen Mischer 18 an

eine Sende- und Empfangseinrichtung 20 liefert, von der das Signal in Richtung auf die Objekte 12, 14 ausgesandt wird. Das an den Objekten reflektierte Signal wird von der Sende- und Empfangseinrichtung 20 empfangen und im Mischer 18 mit einem Anteil des Sendesignals gemischt. Auf diese Weise erhält man ein Zwischenfrequenzsignal s,  
 5 das in einer elektronischen Auswerte- und Steuereinrichtung 22 weiter ausgewertet wird.

Fig. 2 zeigt ein Beispiel für ein Modulationsschema des vom Oszillator 16 gelieferten Sendesignals. Die Frequenz  $f$  des Sendesignals ist hier als Funktion der Zeit  $t$  aufgetragen. Die Frequenz wird in der Form von aufeinanderfolgenden identischen Rampen  
 10 24 moduliert. Die Rampen 24 sind in Fig. 2 fortlaufend mit einem Index  $j$  numeriert. Die mittlere Frequenz des Sendesignals liegt in der Größenordnung von 76 GHz, und der Frequenzhub  $f_h$ , um den sich die Frequenz im Verlauf jeder Rampe ändert, liegt in der Größenordnung von einigen MHz. Der zeitliche Abstand  $T_C$ , in dem die Rampen 24 aufeinanderfolgen, liegt in der Größenordnung von einigen Mikrosekunden bis hin zu  
 15 wenigen Millisekunden. Da im gezeigten Beispiel die Rampen 24 ohne Pause aufeinanderfolgen, gibt  $T_C$  zugleich die Rampendauer an.

Die Frequenz des Zwischenfrequenzsignals  $s$  entspricht dem Frequenzunterschied zwischen dem Sendesignal, das vom Mischer 18 an die Sende- und Empfangseinrichtung 20 weitergeleitet wird, und dem Signal, das nach Reflexion an den Objekten 12,  
 20 14 von der Sende- und Empfangseinrichtung 20 empfangen wurde und wieder am Mischer 18 eintrifft. Dieser Frequenzunterschied setzt sich additiv zusammen aus einem abstandsabhängigen Anteil  $f_R$  und einem geschwindigkeitsabhängigen Anteil  $f_v$ . Der abstandsabhängige Anteil  $f_R$  resultiert aus der Frequenzmodulation und ist in dem hier gezeigten Beispiel gegeben durch:

$$25 \quad f_R = 2 R f_h / c T_C \quad (1)$$

wobei  $c$  die Lichtgeschwindigkeit ist. Der geschwindigkeitsabhängige Anteil resultiert aus dem Dopplereffekt und ist näherungsweise gegeben durch:

$$f_D = 2 f v / c. \quad (2)$$

In Fig. 3 (A) sind, unter der Annahme, dass nur ein einzelnes Objekt geortet wird, die Zwischenfrequenzsignale  $s$  für die ersten drei Rampen  $j = 1$  bis  $j = 3$  als Funktionen der Zeit  $t$  (Zeitsignale) dargestellt. In der Auswerte- und Steuereinrichtung 22 wird das als analoges Signal vom Mischer 18 gelieferte Zeitsignal periodisch, zu Abtastzeitpunkten  
 5  $t_1, t_2, \dots$ , abgetastet, digitalisiert und gespeichert. Die Abtastzeitpunkte sind mit den Modulationsrampen des Sendesignals synchronisiert und innerhalb jeder Rampe mit dem Index  $k$  numeriert. Die Abtastperiode, also der zeitliche Abstand zwischen den einzelnen Abtastzeitpunkten, ist mit  $T$  bezeichnet.

Durch schnelle Fouriertransformation (FFT) lässt sich das Zeitsignal für jede Rampe in  
 10 ein Spektrum umwandeln, das die (komplexe) Amplitude des Zwischenfrequenzsignals als Funktion der Frequenz  $f$  angibt. In Fig. 3 (B) und (C) sind für jede der drei Rampen zwei kleine Diagramme dargestellt, die den Absolutbetrag  $A$  und die Phase  $\varphi$  als Funktion der Frequenz  $f$  angeben.

Unter der Annahme, dass nur ein einzelnes Objekt vorhanden ist, weist das auf einer  
 15 einzelnen Rampe aufgenommene Spektrum einen scharfen Peak 26 bei der Frequenz  $f_R + f_D$  auf. Wegen des geringen zeitlichen Abstands  $T_c$  der Rampen bleiben die Frequenzen  $f_R + f_D$  praktisch unverändert, so dass der Peak 26 in allen drei in Fig. 3 (B) gezeigten Spektren an derselben Stelle liegt.

Wenn jedoch die Relativgeschwindigkeit des Objektes nicht gleich 0 ist, so führt die  
 20 geringfügige Abstandsänderung des Objektes, die innerhalb der Rampendauer  $T_c$  eintritt, zu einer Phasenverschiebung des Zwischenfrequenzsignals, wie in Fig. 3 dargestellt ist. Von Rampe zu Rampe nimmt die Phase jeweils um einen bestimmten Betrag  $x$  zu. Wenn mit  $\varphi_0$  die Phase auf der ersten Rampe ( $j = 1$ ) bezeichnet ist, so hat die Phase auf der zweiten Rampe ( $j = 2$ ) den Wert  $\varphi_0 + x$  und auf der dritten Rampe ( $j = 3$ )  
 25 den Wert  $\varphi_0 + 2x$ .

Allgemein lässt sich das Zwischenfrequenzsignal  $s$  als Funktion des Abtastindex  $k$  und des Rampenindex  $j$  wie folgt beschreiben:

$$s(k,j) = \text{Re}(\exp(i(\varphi_0 + 2\pi(f_R + f_D)kT + 2\pi f_D j T_c))) \quad (3)$$

Der Term  $(f_R + f_D) k T$  repräsentiert den Laufzeit- und Dopplereffekte innerhalb einer einzelnen Rampe. Der Term  $f_D j T_C$  repräsentiert den Effekt der leichten Änderung des Objektabstands von Rampe zu Rampe und ist nur von dem geschwindigkeitsabhängigen Anteil  $f_D$  (der Dopplerfrequenz) abhängig. Der Wert  $\varphi_0$  ist ein Phasen-Offset, der  
 5 gegeben ist durch

$$\varphi_0 = 4\pi R f_0 / c \quad (4)$$

wobei  $f_0$  die Mittenfrequenz der Frequenzrampen ist.

Wenn man, wie in Fig. 3, eine Fouriertransformation jeweils nur innerhalb einer einzelnen Rampe ausführt (über den Index  $k$  bei festem  $j$ ), so liefert der Term  $f_D j T_C$  in Gleichung (3) jeweils nur einen Beitrag  $x, 2x, \dots$  zur Phase.  
 10

Man kann jedoch auch eine Fouriertransformation über einen "Längsschnitt" der Zeitsignale ausführen, indem man den Abtastindex  $k$  festhält und die schnelle Fouriertransformation über den laufenden Rampenindex  $j$  ausführt. In Fig. 3 und 4 ist dies symbolisch für den Abtastindex  $k = 1$  dargestellt. In Fig. 3 sind die Funktionswerte zum Abtastzeitpunkt  $t_1$  als dicke Balken dargestellt. Die gleichen Balken sind auch in Fig. 4 (A) gezeigt. Sie sind hier jedoch gegen den Rampenindex  $j$  aufgetragen. Aufgrund des Phasenversatzes von Rampe zu Rampe erhält man wiederum eine periodische Funktion, die man einer Fouriertransformation unterziehen kann. Das Ergebnis ist in Fig. 4 (B) und (C) wiederum als Diagramm für den Betrag  $A$  und die Phase  $\varphi$  der  
 15 komplexen Amplitude dargestellt. Diese Fouriertransformationen, die man für jedes  $k$  ausführen kann, liefern bei einem einzelnen Objekt einen scharfen Peak bei der Dopplerfrequenz  $f_D$ . Die Phase setzt sich zusammen aus dem Phasen-Offset  $\varphi_0$  und einem Anteil  $y (= f_R + f_D) k T$ .  
 20

Für die Berechnung des Abstands  $R$  und der Relativgeschwindigkeit  $v$  des Objekts werden nur die Frequenzanteile  $f_R$  und  $f_D$  benötigt. Wie Fig. 4 zeigt, liefern die Spektren, die durch Fouriertransformation über den Rampenindex  $j$  gewonnen werden, den Frequenzanteil  $f_D$ , während die Fouriertransformation innerhalb jeder einzelnen Rampe  
 25

gemäß Fig. 3 die Summe  $f_R + f_D$  der Frequenzanteile liefert. Aus beiden Größen zusammen lässt sich dann der Frequenzanteil  $f_R$  und damit der Abstand  $R$  berechnen.

Ein besonders elegantes Auswertungsverfahren besteht darin, dass die oben beschriebenen Fouriertransformationen zu einer sogenannten zweidimensionalen  
 5 Fouriertransformation zusammengefasst werden. Dabei werden die auf mehreren aufeinanderfolgenden Rampen gewonnenen Zeitsignale in einen zweidimensionalen Frequenzraum transformiert dessen Koordinaten die Dopplerfrequenz  $f_D$  und die Summe  $f_R + f_D$  sind, wie in Fig. 5 gezeigt ist. In diesem zweidimensionalen Frequenzraum findet sich der Peak 26 dann bei einer Position  $f_{D,1}$  auf der waagerechten Achse, die der  
 10 Dopplerfrequenz und damit der Relativgeschwindigkeit  $v$  des Objekts entspricht, und seine Position auf der vertikalen Achse ist  $f_{R,1} + f_{D,1}$ . In diesem Diagramm liegen die Peaks von Objekten, die den gleichen Abstand ( $f_R$  konstant) aber unterschiedliche Relativgeschwindigkeiten ( $f_D$  variabel) haben, auf 45°-Geraden. Wo die 45°-Gerade, die durch den Peak 26 geht, die vertikale Achse schneidet, lässt sich der abstandsabhängigen Frequenzanteil  $f_{R,1}$  unmittelbar ablesen und in einen zugehörigen Abstand  $R_1$   
 15 umrechnen.

Allerdings setzt das bisher beschriebene Verfahren voraus, dass für die Dopplerfrequenz  $f_D$  die Eindeutigkeitsbedingung

$$|f_D| < 1 / 2T_C \quad (5)$$

20 nach dem Abtasttheorem von Shannon erfüllt ist. Bei größeren Relativgeschwindigkeiten und entsprechend größeren Dopplerfrequenzen  $f_D$  ist nämlich die periodische Funktion, die in Fig. 4 (A) durch die diskreten Funktionswerte bei  $j = 1, j = 2$  etc. gegeben ist, nicht mehr eindeutig bestimmbar. Als Beispiel zeigt Fig. 6 eine periodische Funktion, die bei  $j = 1, j = 2$  und  $j = 3$  die gleichen Funktionswerte hat wie in Fig. 4 (A), jedoch  
 25 eine wesentlich größere Frequenz aufweist und deshalb ein Objekt mit einer wesentlich größeren Relativgeschwindigkeit repräsentieren würde. Solange die wahre Relativgeschwindigkeit des Objekts nicht bekannt ist, muss deshalb mit der Möglichkeit gerechnet werden, dass das Objekt nicht durch den Peak 26 in Fig. 5 repräsentiert wird, sondern durch einen Peak 28 bei einer größeren Dopplerfrequenz  $f_{D,2}$ , die außerhalb des

Eindeutigkeitskorridor liegt. Zu diesem Peak würde dann auch ein anderer Objektabstand  $R_2$  gehören, der durch die Frequenz  $f_{R,2}$  in Fig. 5 bestimmt wird.

5 Ebenso könnte es sich bei dem Längsschnitt des Zwischenfrequenzsignals auch um jede höhere Oberschwingung der in Fig. 6 gezeigten Funktion handeln, die jeweils eine weitere mögliche, noch höhere Relativgeschwindigkeit des Objekts angibt.

Wenn die Relativgeschwindigkeit des Objekts negativ ist, sind die Zwischenfrequenzsignale in Fig. 3 zur anderen Seite verschoben, was bei der Fouriertransformation durch eine negative Dopplerfrequenz  $f_D$  repräsentiert würde. In diesem Fall könnte das Objekt auch durch Peaks repräsentiert werden, die an entsprechenden Positionen links von der  $(f_R + f_D)$ -Achse in Fig. 5 liegen. In jedem Fall liefert die Messung, sofern der Bereich in Frage kommender Relativgeschwindigkeiten nicht ausreichend eingeschränkt werden kann, eine Schar von möglichen Peakpositionen und entsprechenden Wertepaaren  $f_D, f_R$ , deren Werte sich präzise berechnen lassen, von denen jedoch unbekannt ist, welches Wertepaar das wahre Objekt repräsentiert.

15 Benötigt wird deshalb ein Verfahren, das die Auswahl des richtigen Wertepaares ermöglicht.

Zu diesem Zweck wird anstelle des in Fig. 2 gezeigten Modulationsschemas ein Modulationsschema verwendet, das in Fig. 7 gezeigt ist. Bei diesem Modulationsschema sind zwei Folgen von Rampen 24, 30 so miteinander verschachtelt, dass auf eine Rampe 24 mit einem zeitlichen Abstand  $T'_C$  eine frequenzversetzte Rampe 30 folgt, auf die dann die nächste Rampe 24 ohne Frequenzversatz folgt, usw.. Die Rampen 24 und 30 haben die gleiche Dauer und den gleichen Frequenzhub, sind jedoch um einen festen Frequenzabstand  $f_s$  gegeneinander verschoben. Wahlweise können die einzelnen Rampen oder auch die Rampenpaare 24, 30 jeweils durch eine Pause getrennt sein.

20 Im gezeigten Beispiel folgen die Rampen ohne Pause aufeinander, so dass der zeitliche Abstand  $T_C'$  wieder gleich der Rampendauer  $T_C$  ist.

Die anhand von Fig. 1 bis 6 beschriebene Auswertungsprozedur kann nun einmal für die Schar der Rampen 24 ausgeführt werden und noch einmal für die Schar der Rampen 30. Die dabei erhaltenen Zwischenfrequenzsignale  $s$  unterscheiden sich vor allem

in ihrem Phasen-Offset. Für die erste Rampe 24 ist der Phasen-Offset gemäß Gleichung (4) gegeben durch:

$$\varphi_1 = 4\pi R_0 f_1 / c \quad (6)$$

Dabei ist  $R_0$  der Abstand des Objekts zu dem Zeitpunkt, an dem das Signal der ersten  
5 Rampe empfangen wird, und  $f_1$  ist die Mittenfrequenz der Rampe 24.

Für die erste versetzte Rampe 30 erhält man entsprechend den Phasen-Offset:

$$\varphi_2 = 4\pi (R_0 + T'_c v) f_2 / c \quad (7)$$

Darin ist  $f_2$  die Mittenfrequenz der Rampe 30. Der Term  $T'_c v$  repräsentiert die Zunahme des Objektabstands in dem Zeitintervall  $T'_c$  vom Beginn der ersten Rampe 24 bis  
10 zum Beginn der ersten Rampe 30. Für die Phasendifferenz erhält man dann:

$$\varphi_2 - \varphi_1 = 4\pi (R_0 f_s + T'_c v f_s + T'_c v f_1) / c \quad (8)$$

Da  $T'_c$  sehr klein ist, dominiert der Term, der  $R_0$  enthält, und die Terme, die  $T'_c v$  enthalten, können vernachlässigt werden:

$$15 \quad \varphi_2 - \varphi_1 \approx 4\pi R_0 f_s / c \quad (9)$$

Diese Beziehung liefert einen Näherungswert  $R_0$  für den Objektabstand, der nicht von der Relativgeschwindigkeit  $v$  abhängig ist.

Wie in Fig. 7 symbolisch dargestellt ist, werden die Zeitsignale, die man für die Schar der Rampen 24 enthält, einer zweidimensionalen schnellen Fouriertransformation (2D  
20 FFT) unterzogen, äquivalent zu Fouriertransformationen über die einzelnen Rampen und entsprechende Fouriertransformationen über Längsschnitte durch die Zeitsignale aus verschiedenen Rampen. Auf diese Weise erhält man den Peak 26 in Fig. 5 und auch die Phase  $\varphi_1$  des Zwischenfrequenzsignals (aus der komplexen Amplitude am Ort  
25 des Peaks 26). Entsprechend verfährt man mit der Schar der Rampen 30 und erhält auf diese Weise die Phase  $\varphi_2$ .

Aus der Phasendifferenz  $\varphi_1 - \varphi_2$  lässt dann nach der oben angegebenen Gleichung (9) der Näherungswert  $R_0$  berechnen.

5 Dieser Näherungswert  $R_0$  wird dann mit den möglichen Abstandswerten  $R_1, R_2$  verglichen, die zu den in Fig. 5 dargestellten Frequenzwerten  $f_{R,1}, f_{R,2}$  etc. gehören. Derjenige dieser möglichen Abstände  $R_1, R_2 \dots$  der dem Näherungswert  $R_0$  am nächsten kommt, wird dann als Wert für den wahren Abstand des Objekts betrachtet. Aus der Position des zugehörigen Peaks 26 oder 28 in Fig. 5 lässt sich dann die Dopplerfrequenz  $f_D$  und daraus die wahre Relativgeschwindigkeit  $v$  des Objekts ermitteln.

10 Auf diese Weise wird die Mehrdeutigkeit beseitigt, die bei der Auswertung nur einer der Scharen der Rampen 24, 30 bestünde.

15 Wenn mehrere Objekte gleichzeitig geortet werden, erhält man für jedes Objekt genau einen Peak 26 innerhalb des Eindeutigkeitsintervalls von  $-1/2T_C$  bis  $+1/2T_C$ , so dass auch Mehrdeutigkeiten aufgrund der Zuordnung der Peaks zu den Objekten vermieden werden.

Das beschriebene Verfahren zur Bestimmung des Näherungswertes  $R_0$  führt allerdings seinerseits zu Mehrdeutigkeiten, wenn der Objektabstand so groß wird, dass die Phasendifferenz  $\varphi_2 - \varphi_1$  größer wird als  $2\pi$ . Daraus ergibt sich eine Schranke für die maximal messbare Entfernung:

$$20 \quad R_{\text{MAX}} = C / 2 f_s \quad (10)$$

Der Frequenzversatz  $f_s$  sollte deshalb so (klein) gewählt werden, dass der gewünschte Entfernungsbereich abgedeckt wird.

25 In der Praxis werden die in Frage kommenden Relativgeschwindigkeiten der Objekte innerhalb eines beschränkten Intervalls liegen. Das schränkt gemäß Fig. 5 auch das Intervall ein, in dem die in Frage kommenden Objektabstände liegen müssen. Folglich kann  $f_s$  so groß gewählt werden, dass der Näherungswert für den Abstand nur innerhalb des tatsächlich benötigten Abstandsbereiches eindeutig ist.

Wahlweise besteht auch die Möglichkeit, den Frequenzversatz  $f_s$  im Verlauf der aufeinanderfolgenden Messzyklen zu variieren, um den Eindeutigkeitsbereich zeitweise - ggf. bedarfsabhängig - zu variieren und/oder durch Auswertung der Phasendifferenzen für unterschiedliche Frequenzversätze zusätzliche Information zu gewinnen.

Ansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung von Abständen (R) und Relativgeschwindigkeiten (v) mehrerer gleichzeitig georteter Objekte (12, 14) mit einem FMCW-Radar, bei dem die Frequenz eines Sendesignals in der Form von sich periodisch wiederholenden Rampen (24, 30) moduliert wird, das Sendesignal mit einem empfangenen Signal zu einem Zwischenfrequenzsignal (s) gemischt wird und zur Bestimmung des Abstands (R) und/oder der Relativgeschwindigkeit (V) der Objekte die Änderung der Phase ( $\varphi$ ) des Zwischenfrequenzsignals (s) von Rampe zu Rampe ausgewertet wird, dadurch **gekennzeichnet**, dass das Modulationsmuster mindestens zwei Rampen (24, 30) umfasst, die sich nur um einen festen Frequenzversatz ( $f_s$ ) unterscheiden und in einem bestimmten zeitlichen Abstand ( $T'_c$ ) aufeinanderfolgen, und dass anhand der Phasendifferenz ( $\varphi_1 - \varphi_2$ ) der Zwischenfrequenzsignale für diese beiden Rampen ein eindeutiger Näherungswert ( $R_0$ ) für den Objektabstand berechnet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem durch Auswertung der Zwischenfrequenzsignale (s) mehrerer aufeinanderfolgender identischer Rampen (24) eine Mehrzahl von in Frage kommenden Objektabständen berechnet wird und als endgültiger Objektabstand derjenige dieser berechneten Abstände ausgewählt wird, der dem Näherungswert ( $R_0$ ) am nächsten kommt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem das Modulationsmuster zwei Scharen von untereinander identischen Rampen (24, 30) umfasst, die so ineinander verschachtelt sind, dass jeweils eine Rampe (24) ohne Frequenzversatz und eine Rampe (30) mit Frequenzversatz einander abwechseln.
4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die in aufeinanderfolgenden identischen Rampen erhaltenen Zwischenfrequenzsignale (s) einer zweidimensionalen Fouriertransformation zur Bestimmung der auftretenden Frequenzen und der zugehörigen Phasen unterzogen werden.

5. FMCW-Radarsensor mit einer Steuer- und Auswertungseinrichtung (22), in der das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5 implementiert ist.

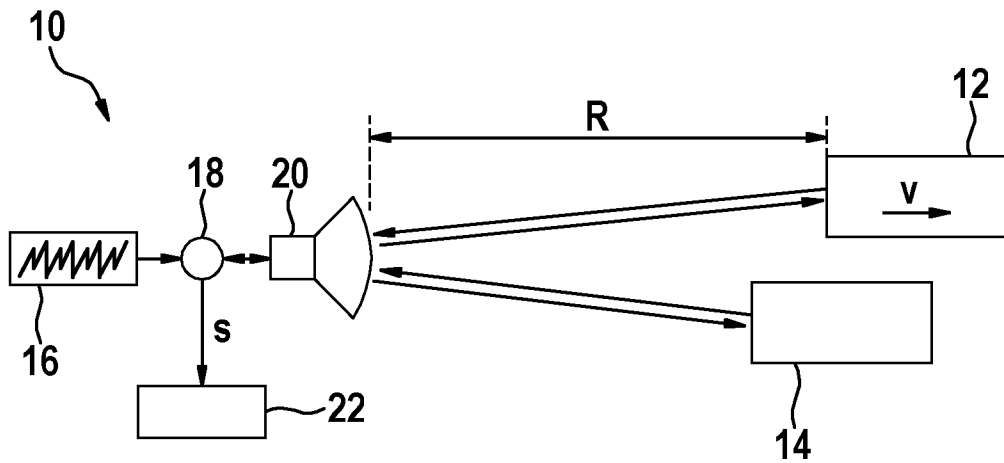


Fig. 1

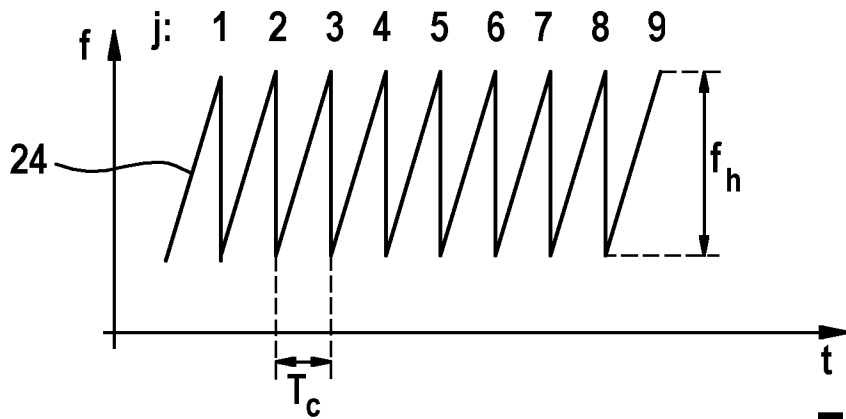


Fig. 2

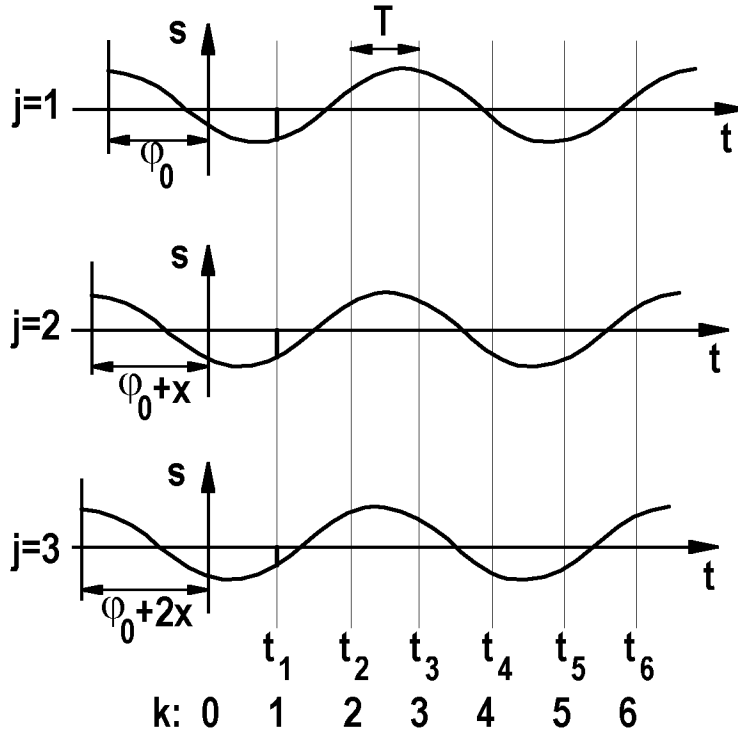


Fig. 3(A)

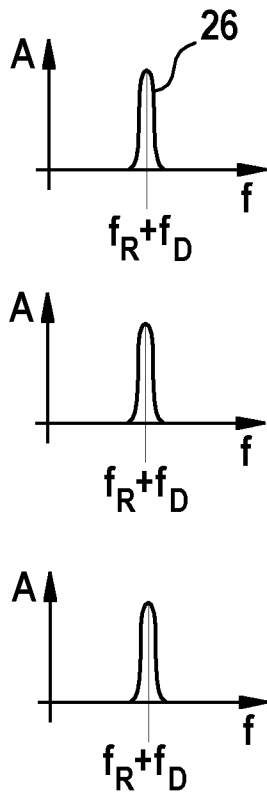


Fig. 3(B)

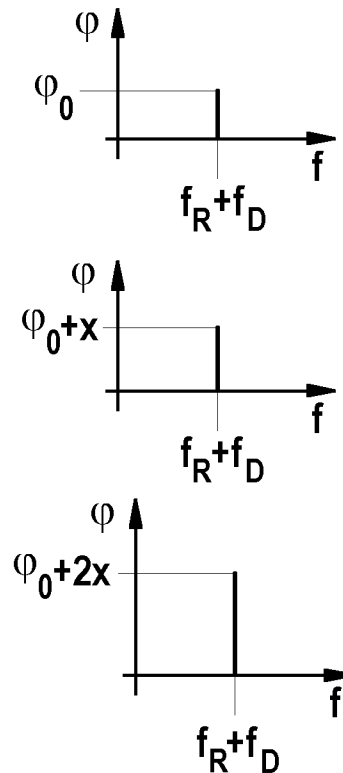
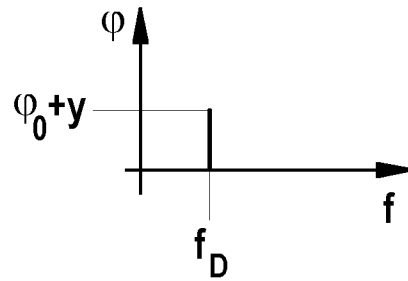
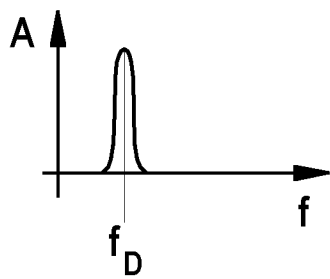
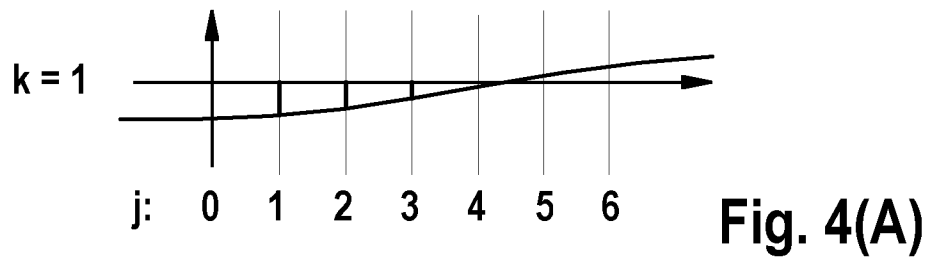


Fig. 3(C)



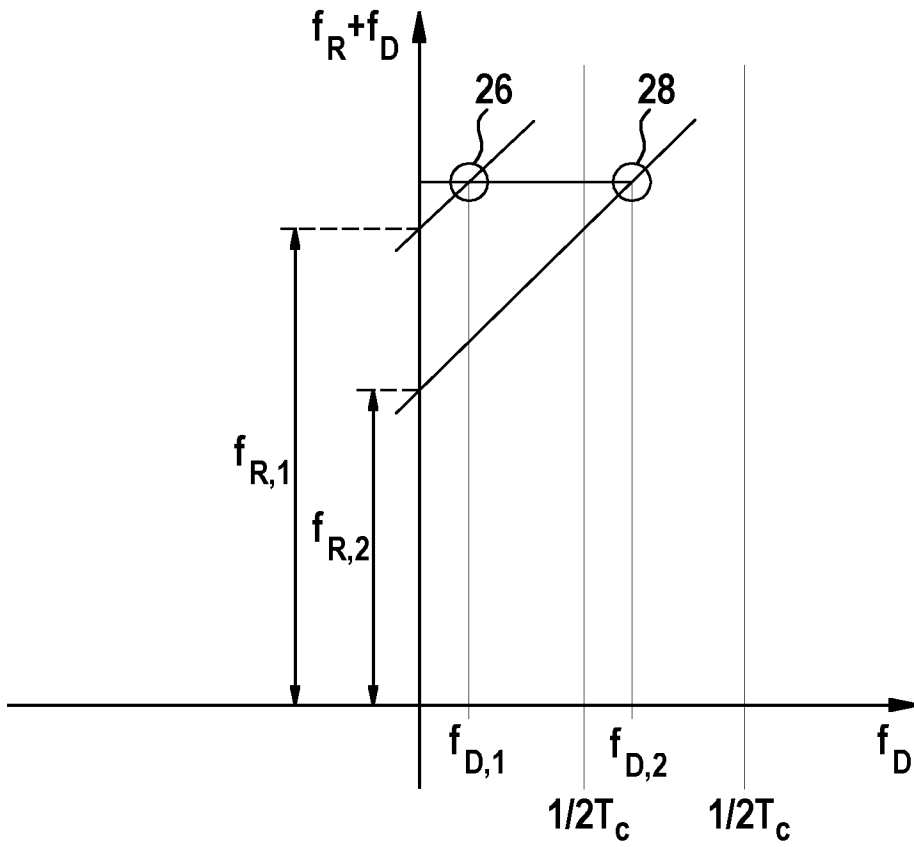


Fig. 5

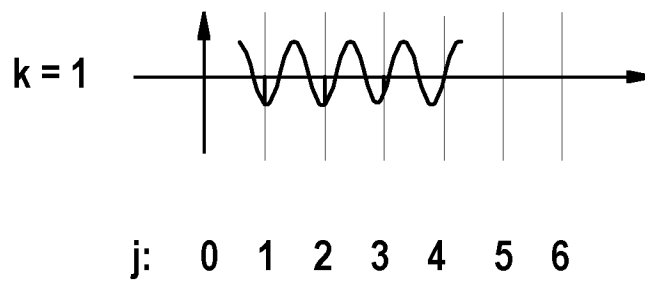


Fig. 6

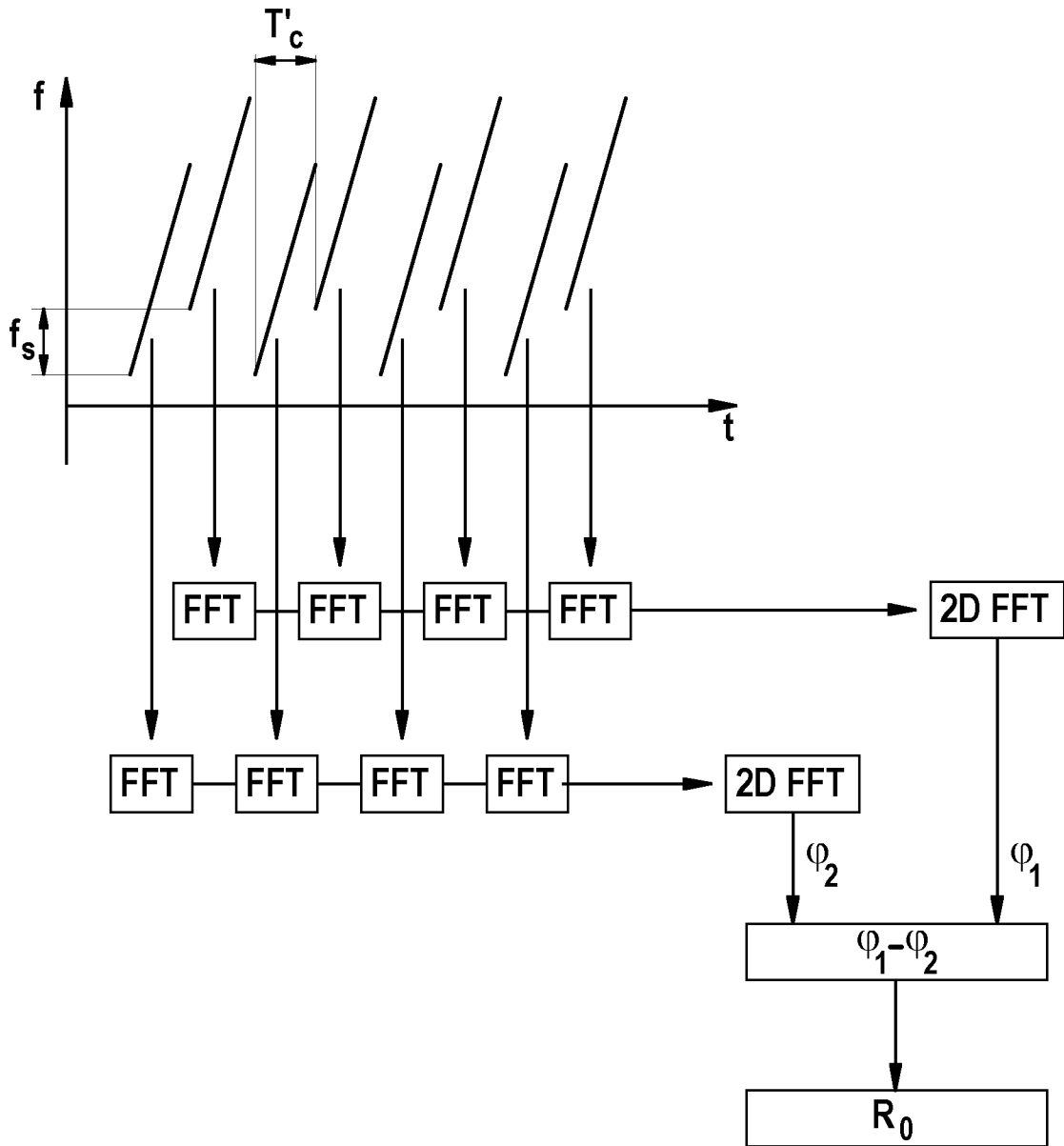


Fig. 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2013/069912

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
INV. G01S13/34  
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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 10 2009 000468 A1 (INFINEON TECHNOLOGIES AG [DE]) 13 August 2009 (2009-08-13)	1,2,4,5
Y	paragraphs [0001], [0002], [0055], [0022] - [0023], [0032], [0046], [0049] - [0051], [0056], [0041], [0042], [0053], [0054], [0062]; figures 3,5	3
X	WO 03/048802 A2 (SIEMENS AG [DE]; KUNERT MARTIN [DE]; PREIS CHRISTIAN [DE]) 12 June 2003 (2003-06-12)	1
A	Abb. 1,2a und 2b, Seite 9, Zeilen 17-34	2
X	EP 1 918 736 A2 (HITACHI LTD [JP]) 7 May 2008 (2008-05-07)	3
Y	Abb. 2, Para. [0024],[0033] und [0034]	3
	----- -/--	

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
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "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)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "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
- "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
- "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
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search <b>15 January 2014</b>	Date of mailing of the international search report <b>22/01/2014</b>
---	---

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 <b>Metz, Carsten</b>
--	--

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2013/069912

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 10 2009 047931 A1 (HELLA KGAA HUECK & CO [DE]) 7 April 2011 (2011-04-07) Abb. 1,2, Para. [0030]-[0031] -----	1
X	WO 02/31529 A2 (S M S SMART MICROWAVE SENSORS [DE]; MENDE RALPH [DE]; ROHLING HERMANN) 18 April 2002 (2002-04-18) Abb. 1,3, Seite 9, Zeilen 13-26 -----	1

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No PCT/EP2013/069912
---

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 102009000468 A1	13-08-2009	DE 102009000468 A1	13-08-2009
		US 2010289692 A1	18-11-2010
-----			
WO 03048802 A2	12-06-2003	NONE	
-----			
EP 1918736 A2	07-05-2008	EP 1918736 A2	07-05-2008
		JP 4977443 B2	18-07-2012
		JP 2008111743 A	15-05-2008
		US 2008100500 A1	01-05-2008
-----			
DE 102009047931 A1	07-04-2011	NONE	
-----			
WO 0231529 A2	18-04-2002	AT 376195 T	15-11-2007
		CA 2415953 A1	18-04-2002
		DE 10050278 A1	25-04-2002
		DK 1325350 T3	21-01-2008
		EP 1325350 A2	09-07-2003
		ES 2290188 T3	16-02-2008
		JP 3699450 B2	28-09-2005
		JP 2004511783 A	15-04-2004
		PT 1325350 E	19-11-2007
		US 2003179128 A1	25-09-2003
		WO 0231529 A2	18-04-2002
-----			

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
 INV. G01S13/34  
 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

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2009 000468 A1 (INFINEON TECHNOLOGIES AG [DE]) 13. August 2009 (2009-08-13)	1,2,4,5
Y	Absätze [0001], [0002], [0055], [0022] - [0023], [0032], [0046], [0049] - [0051], [0056], [0041], [0042], [0053], [0054], [0062]; Abbildungen 3,5	3
X	WO 03/048802 A2 (SIEMENS AG [DE]; KUNERT MARTIN [DE]; PREIS CHRISTIAN [DE]) 12. Juni 2003 (2003-06-12)	1
A	Abb. 1,2a und 2b, Seite 9, Zeilen 17-34	2
X	EP 1 918 736 A2 (HITACHI LTD [JP]) 7. Mai 2008 (2008-05-07)	3
Y	Abb. 2, Para. [0024],[0033] und [0034]	3
	----- -/--	

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen  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

15. Januar 2014

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

22/01/2014

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

Metz, Carsten

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2009 047931 A1 (HELLA KGAA HUECK & CO [DE]) 7. April 2011 (2011-04-07) Abb. 1,2, Para. [0030]-[0031] -----	1
X	WO 02/31529 A2 (S M S SMART MICROWAVE SENSORS [DE]; MENDE RALPH [DE]; ROHLING HERMANN) 18. April 2002 (2002-04-18) Abb. 1,3, Seite 9, Zeilen 13-26 -----	1

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2013/069912

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102009000468 A1	13-08-2009	DE 102009000468 A1	13-08-2009
		US 2010289692 A1	18-11-2010
-----			
WO 03048802 A2	12-06-2003	KEINE	
-----			
EP 1918736 A2	07-05-2008	EP 1918736 A2	07-05-2008
		JP 4977443 B2	18-07-2012
		JP 2008111743 A	15-05-2008
		US 2008100500 A1	01-05-2008
-----			
DE 102009047931 A1	07-04-2011	KEINE	
-----			
WO 0231529 A2	18-04-2002	AT 376195 T	15-11-2007
		CA 2415953 A1	18-04-2002
		DE 10050278 A1	25-04-2002
		DK 1325350 T3	21-01-2008
		EP 1325350 A2	09-07-2003
		ES 2290188 T3	16-02-2008
		JP 3699450 B2	28-09-2005
		JP 2004511783 A	15-04-2004
		PT 1325350 E	19-11-2007
		US 2003179128 A1	25-09-2003
		WO 0231529 A2	18-04-2002
-----			