(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
15. Dezember 2016 (15.12.2016)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2016/198254 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G01S 7/35 (2006.01) *H03B 23/00* (2006.01)
G01S 13/34 (2006.01) *G01F 23/284* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2016/061553

(22) Internationales Anmeldedatum:
23. Mai 2016 (23.05.2016)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2015 109 218.2 10. Juni 2015 (10.06.2015) DE

(71) Anmelder: **ENDRESS+HAUSER GMBH+CO. KG** [DE/DE]; Hauptstr. 1, 79689 Maulburg (DE).

(72) Erfinder: **MAYER, Winfried**; Flurweg 2, 89290 Buch (DE). **HITZLER, Martin**; Magnus-Niedermair-Str. 3, 89407 Dillingen (DE). **WALDSCHMIDT, Christian**; Auf dem Hart 6, 89081 Ulm (DE).

(74) Anwalt: **ANDRES, Angelika**; Colmarer Str. 6, Endress+Hauser (Deutschland) AG+Co. KG, 79576 Weil am Rhein (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**: FREQUENCY GENERATOR FOR GENERATING A COMPOSITE FREQUENCY RAMP

(54) **Bezeichnung** : FREQUENZGENERATOR ZUR ERZEUGUNG EINER ZUSAMMENGESETZTEN FREQUENZRAMPE

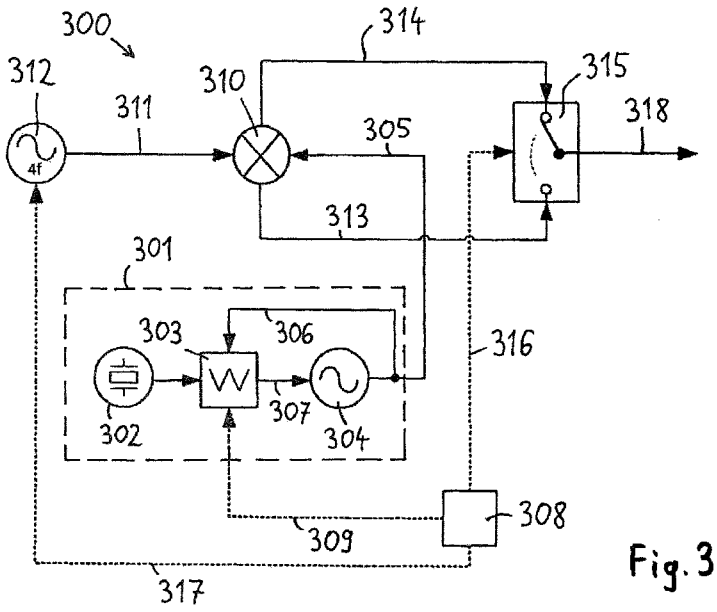


Fig. 3

(57) **Abstract**: The invention relates to a frequency generator for generating a frequency ramp continuously increasing in frequency. The frequency generator comprises a frequency ramp generator configured to generate a frequency signal which comprises a sequence of successively rising and falling partial ramps, a high frequency generator for generating a plurality of different high-frequency signals, and a mixer that is configured to upmix the partial ramps of the frequency signal with high-frequency signals adjusted to the respective partial ramp. During a falling partial ramp, the lower sideband of the upmixed signal obtained in this way delivers an upmixed rising partial ramp. During a rising partial ramp, the upper sideband of the upmixed signal obtained in this way delivers an upmixed rising partial ramp. The frequency generator is configured such that the upmixed rising partial ramps obtained in this way combine into a frequency ramp that is continuously rising in frequency, wherein the high-frequency signals for the different partial ramps are selected such that the upmixed rising partial ramps add up to the frequency ramp that is continuously rising in frequency.

(57) **Zusammenfassung**:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2016/198254 A1

Es wird ein Frequenzgenerator zur Erzeugung einer kontinuierlich in der Frequenz ansteigenden Frequenzrampe beschrieben. Der Frequenzgenerator umfasst einen Frequenzrampengenerator, der dazu ausgelegt ist,ein Frequenzsignal zu erzeugen,das eine Abfolge von mehreren aufeinander folgenden abfallenden und ansteigenden Teilrampen umfasst,einen Hochsetzfrequenzgenerator zur Erzeugung einer Mehrzahl von unterschiedlichen Hochsetzfrequenzsignalen, sowie einen Mischer, der dazu ausgelegt ist, die Teilrampen des Frequenzsignals mit auf die jeweilige Teilrampe abgestimmten Hochsetzfrequenzsignalen hochzumischen. Bei einer abfallenden Teilrampe liefert das untere Seitenband des so erhaltenen hochgemischten Signals eine hochgemischte ansteigende Teilrampe. Bei einer ansteigenden Teilrampe liefert das obere Seitenband des so erhaltenen hochgemischten Signals eine hochgemischte ansteigende Teilrampe. Der Frequenzgenerator ist dazu ausgelegt, die so erhaltenen hochgemischten ansteigenden Teilrampen zu einer kontinuierlich in der Frequenz ansteigenden Frequenzrampe zusammenzusetzen, wobei die Hochsetzfrequenzsignale für die verschiedenen Teilrampen so gewählt sind, dass sich die hochgemischten ansteigenden Teilrampen zu der kontinuierlich in der Frequenzansteigenden Frequenzrampe ergänzen.

Frequenzgenerator zur Erzeugung einer zusammengesetzten Frequenzrampe

Die Erfindung betrifft einen Frequenzgenerator zur Erzeugung einer kontinuierlich in der Frequenz ansteigenden Frequenzrampe, eine Radarmessvorrichtung für eine Messung entsprechend dem Prinzip des FMCW-Radars sowie ein Verfahren zur Erzeugung einer kontinuierlich in der Frequenz ansteigenden Frequenzrampe. Des weiteren betrifft die Erfindung einen Frequenzgenerator zur Erzeugung einer kontinuierlich in der Frequenz abfallenden Frequenzrampe sowie ein Verfahren zur Erzeugung einer kontinuierlich in der Frequenz abfallenden Frequenzrampe.

In der Prozessautomatisierungstechnik werden vielfach Feldgeräte eingesetzt, die zur Erfassung und/oder Beeinflussung von Prozessvariablen dienen. Beispiele für derartige Feldgeräte sind Füllstandsmessgeräte, Massedurchflussmessgeräte, Druck- und Temperaturmessgeräte etc., die als Sensoren die entsprechenden Prozessvariablen Füllstand, Durchfluss, Druck bzw. Temperatur erfassen.

Bei vielen Messanwendungen werden hochlineare Frequenzgeneratoren benötigt, die in der Lage sind, über einen großen Frequenzbereich hinweg ein durchstimmbares Frequenzsignal zu erzeugen. Mit Hilfe derartiger Frequenzgeneratoren lassen sich hochlineare Frequenzrampen mit hohem Frequenzhub erzeugen. Beispielsweise wird im Bereich von Radarsensoren, die entsprechend dem FMCW-Prinzip (FMCW, Frequency-Modulated Continuous Wave) arbeiten, ein hochlineares Frequenzsignal benötigt.

Es ist Aufgabe der Erfindung, einen Frequenzgenerator sowie ein Verfahren zum Erzeugen einer Frequenzrampe zur Verfügung zu stellen, der bzw. das in der Lage ist, eine hochlineare Frequenzrampe mit großer Bandbreite zu erzeugen.

Gelöst wird diese Aufgabe durch die in den Ansprüchen 1, 18, 19 und 20 angegebenen Merkmale.

Vorteilhafte Weiterentwicklungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

Ein Frequenzgenerator entsprechend Ausführungsformen der Erfindung dient zur Erzeugung einer kontinuierlich in der Frequenz ansteigenden Frequenzrampe. Der Frequenzgenerator umfasst einen Frequenzrampengenerator, der dazu ausgelegt ist, ein Frequenzsignal zu erzeugen, das eine Abfolge von mehreren aufeinanderfolgenden abfallenden und

ansteigenden Teilrampen umfasst, einen Hochsetzfrequenzgenerator zur Erzeugung einer Mehrzahl von unterschiedlichen Hochsetzfrequenzsignalen, sowie einen Mischer, der dazu ausgelegt ist, die Teilrampen des Frequenzsignals mit auf die jeweilige Teilrampe abgestimmten Hochsetzfrequenzsignalen hochzumischen. Bei einer abfallenden Teilrampe liefert das untere Seitenband des so erhaltenen hochgemischten Signals eine hochgemischte ansteigende Teilrampe. Bei einer ansteigenden Teilrampe liefert das obere Seitenband des so erhaltenen hochgemischten Signals eine hochgemischte ansteigende Teilrampe. Der Frequenzgenerator ist dazu ausgelegt, die so erhaltenen hochgemischten ansteigenden Teilrampen zu einer kontinuierlich in der Frequenz ansteigenden Frequenzrampe zusammenzusetzen, wobei die Hochsetzfrequenzsignale für die verschiedenen Teilrampen so gewählt sind, dass sich die hochgemischten ansteigenden Teilrampen zu der kontinuierlich in der Frequenz ansteigenden Frequenzrampe ergänzen.

Die kontinuierlich in der Frequenz ansteigende Frequenzrampe wird durch Zusammensetzen von mehreren hochgemischten Teilrampen erzeugt. Dadurch ist es möglich, eine kontinuierlich in der Frequenz ansteigende Frequenzrampe zu erhalten, die zum einen hochlinear ist, zum anderen aber auch einen erheblichen Frequenzhub aufweist, denn der Frequenzhub der zusammengesetzten Frequenzrampen beträgt ein Vielfaches des Frequenzhubs der Teilrampen. Die hochgemischten Teilrampen werden durch Hochmischen des Frequenzsignals erhalten, wobei das Frequenzsignal eine Abfolge von aufeinanderfolgenden abfallenden und ansteigenden Teilrampen umfasst. Dadurch, dass für jede Teilrampe des Frequenzsignals eine auf die jeweilige Teilrampe abgestimmte Hochsetzfrequenz eingesetzt wird, werden Unstetigkeiten an den Übergängen zwischen aufeinanderfolgenden hochgemischten Teilrampen vermieden. Durch das Hochmischen kann auf Frequenzvervielfacherstufen ganz oder weitgehend verzichtet werden. Dies ist von Vorteil, weil so der Phasenjitter der erzeugten Frequenzrampe gering bleibt. Man erhält eine Frequenzrampe mit hohem Frequenzhub und geringem Phasenjitter.

In der bisherigen Absätzen wurde ein Frequenzgenerator zur Erzeugung einer kontinuierlich in der Frequenz ansteigenden Frequenzrampe beschrieben. Alternativ dazu kann aber auch ein Frequenzgenerator zur Verfügung gestellt werden, der zur Erzeugung einer kontinuierlich in der Frequenz abfallenden Frequenzrampe ausgelegt ist. Als Ausgangspunkt für die Erzeugung einer kontinuierlich in der Frequenz abfallenden Frequenzrampe dient wieder ein Frequenzsignal, das eine Abfolge von mehreren aufeinanderfolgenden abfallenden und ansteigenden Teilrampen umfasst. Der Frequenzgenerator umfasst einen Mischer, der dazu ausgelegt ist, die Teilrampen des Frequenzsignals mit auf die jeweilige Teilrampe

abgestimmten Hochsetzfrequenzsignalen hochzumischen. Bei einer abfallenden Teilrampe liefert das obere Seitenband des so erhaltenen hochgemischten Signals eine hochgemischte abfallende Teilrampe. Bei einer ansteigenden Teilrampe liefert das untere Seitenband des so erhaltenen hochgemischten Signals eine hochgemischte abfallende Teilrampe. Der Frequenzgenerator ist dazu ausgelegt, die so erhaltenen hochgemischten abfallenden Teilrampen zu einer kontinuierlich in der Frequenz abfallenden Frequenzrampe zusammenzusetzen, wobei die Hochsetzfrequenzsignale für die verschiedenen Teilrampen so gewählt sind, dass sich die hochgemischten abfallenden Teilrampen zu der kontinuierlich in der Frequenz abfallenden Frequenzrampe ergänzen.

Nachfolgend ist die Erfindung anhand von in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 einen Frequenzgenerator mit nachfolgender Frequenzvervielfachung;

Fig. 2 einen Frequenzgenerator mit einem nachgeordneten Frequenzumsetzer;

Fig. 3 einen Frequenzgenerator zur Erzeugung einer linearen Frequenzrampe mit hohem Frequenzhub;

Fig. 4 ein Frequenzdiagramm, welches darstellt, wie die lineare Frequenzrampe aus einer Mehrzahl von hochgemischten Teilrampen zusammengesetzt wird;

Fig. 5A ein Blockschaltbild eines Hochsetzfrequenzgenerators zur Erzeugung von vier unterschiedlichen Hochsetzfrequenzen;

Fig. 5B ein Blockschaltbild eines vereinfachten Hochsetzfrequenzgenerators;

Fig. 6 ein Frequenzdiagramm, das zeigt, dass bei geeigneter Auslegung des spannungsgesteuerten Oszillators eine verringerte Anzahl von Hochsetzfrequenzen zum Hochmischen der Teilrampen ausreichend ist;

Fig. 7 ein Frequenzdiagramm, das eine zusammengesetzte Frequenzrampe mit dem zwölffachen Frequenzhub des verwendeten spannungsgesteuerten Oszillators zeigt;

Fig. 8 eine dreistufig kaskadierte Mischeranordnung, die mittels einer fortgesetzten Teilung der Modulationsfrequenz die Erzeugung einer Vielzahl von unterschiedlichen Hochsetzfrequenzen ermöglicht;

Fig. 9 ein Blockschaltbild eines Radarsensors, der entsprechend dem FMCW-Prinzip arbeitet; und

Fig. 10 den zeitlichen Verlauf des Sende- und Empfangssignals.

Für eine Vielzahl von Messanwendungen ist es erforderlich, hochlineare Frequenzrampen mit genau definierter Steilheit zu erzeugen. Für die Erzeugung derartiger Frequenzrampen gibt es unterschiedliche Lösungsansätze.

Bei der in Fig. 1 gezeigten Schaltung werden die hohen Frequenzen mit Hilfe von Frequenzvervielfachung erzeugt. Die in Fig. 1 gezeigte Schaltung umfasst einen Frequenzgenerator 100, der z. B. einen spannungsgesteuerten Oszillator (VCO) und eine Phasenregelschleife umfasst. Dem Frequenzgenerator 100 wird von einem Quarzoszillator 101 ein Referenzsignal mit einer Frequenz von beispielsweise 10 MHz bis 100 MHz zur Verfügung gestellt. Der Frequenzgenerator 100 erzeugt mittels des spannungsgesteuerten Oszillators und der Phasenregelschleife eine Frequenzrampe mit einer Frequenz von beispielsweise 5 bis 10 GHz. Um das Ausgangssignal des Frequenzgenerators 100 in den gewünschten Frequenzbereich heraufzusetzen, ist ein Frequenzvervielfacher 102 vorgesehen. Der Frequenzvervielfacher 102 vervielfacht die Frequenz des Ausgangssignals des Frequenzgenerators 100 um einen Faktor M, der sich beispielsweise im Bereich zwischen 2 und 20 bewegen kann. Am Ausgang des Frequenzvervielfachers 102 erhält man die gewünschte Frequenzrampe im Frequenzbereich zwischen beispielsweise 70 GHz bis 150 GHz.

Die Frequenzvervielfachung hat jedoch den Nachteil, dass Phasenstörungen der vom Frequenzgenerator 100 erzeugten Frequenzrampe durch den Frequenzvervielfacher 102 signifikant verstärkt werden, so dass die Phasenstörungen bzw. der Phasenjitter des frequenzvervielfachten Signals die Signalqualität der mittels Frequenzvervielfachung erzeugten Frequenzrampe deutlich beeinträchtigen. Dabei werden die Phasenstörungen durch den Frequenzvervielfacher 102 entsprechend dem Quadrat des Frequenzverhältnisses aus Ausgangs- und Eingangsfrequenz verstärkt. Dieser

hochverstärkte Phasenjitter beeinträchtigt die Qualität der erzeugten Frequenzrampe und begrenzt insbesondere den Signal-Rausch-Abstand des erzeugten Signals.

Fig. 2 zeigt eine alternative Schaltung zur Erzeugung einer hochfrequenten Frequenzrampe, bei der anstelle der Frequenzvervielfachung eine Frequenzumsetzung durchgeführt wird. Die Schaltung umfasst einen Frequenzgenerator 200 zur Erzeugung einer Frequenzrampe, der einen spannungsgesteuerten Oszillator (VCO, Voltage-Controlled Oscillator) sowie eine Phasenregelschleife zur Regelung des spannungsgesteuerten Oszillators umfasst. Das Referenzsignal für die Phasenregelschleife wird durch einen Quarzoszillator 201 zur Verfügung gestellt. Zur Frequenzumsetzung ist ein Mischer 202 vorgesehen, der die vom Frequenzgenerator 200 erzeugte Frequenzrampe in einen Frequenzbereich oberhalb 70 GHz hochmischt. Hierzu wird die Frequenzrampe im Mischer 202 mit einem Lokaloszillatorsignal gemischt, das von einem festfrequenten Lokaloszillator 203 bereitgestellt wird. Bei dem Lokaloszillator 203 handelt es sich vorzugsweise um einen Lokaloszillator hoher Güte, der ein Lokaloszillatorsignal mit einer Frequenz von 10 GHz oder mehr bereitstellt.

Im Ergebnis liefert die in Fig. 2 gezeigte Schaltung eine hochgesetzte Frequenzrampe, die einen deutlich geringeren Phasenjitter aufweist als die von der Schaltung in Fig. 1 erzeugte Frequenzrampe. Der Grund dafür ist, dass sich die Rauschanteile der vom Frequenzgenerator 200 erzeugten Frequenzrampe mit den (nicht korrelierten) Phasenrauschanteilen des Lokaloszillatorsignals addieren, so dass auch die hochgesetzte Frequenzrampe keine nennenswerten Phasenstörungen aufweist. Ein Anstieg des Rauschens proportional zum Quadrat des Frequenzverhältnisses, wie es bei der in Fig. 1 gezeigten Lösung auftritt, kann so vermieden werden.

Allerdings gibt es einen weiteren wesentlichen Unterschied zwischen der Vervielfacherlösung von Fig. 1 und der Umsetzerlösung von Fig. 2. Bei der in Fig. 1 gezeigten Lösung wird der Frequenzhub des Frequenzgenerators 100 durch den Frequenzvervielfacher 102 ebenfalls vervielfacht, so dass man am Ausgang des Frequenzvervielfachers 102 eine Frequenzrampe mit einem um den Faktor M erhöhten Frequenzhub erhält. Dagegen wird bei der in Fig. 2 gezeigten Lösung der vom Frequenzgenerator 200 erzeugte Frequenzhub durch das Hochmischen im Mischer 202 unverändert erhalten. Aus diesem Grund muss der Frequenzgenerator 200 bei der in Fig. 2 gezeigten Lösung in der Lage sein, eine Frequenzrampe mit ausreichend hohem Frequenzhub zu erzeugen. Als Frequenzgenerator 200 wird daher ein sehr breitbandiger

spannungsgesteuerter Oszillator von hoher Güte benötigt, der eine möglichst genaue Frequenzrampe mit ausreichend hohem Frequenzhub bereitstellt.

Zur Erzeugung einer Frequenzrampe mit ausreichend hohem Frequenzhub wird vorgeschlagen, die Frequenzrampe aus einer Mehrzahl von Teilrampen aufzubauen. Hierzu werden mittels eines spannungsgesteuerten Oszillators mehrere ansteigende und abfallende Teilrampen erzeugt, die dann mittels geeigneter Hochsetzfrequenzen in einen höheren Frequenzbereich hochgemischt und zu einer kontinuierlich ansteigenden Frequenzrampe zusammengesetzt werden.

In Fig. 3 ist ein Frequenzgenerator 300 gezeigt, der in der Lage ist, eine Mehrzahl von aufeinanderfolgenden ansteigenden und abfallenden Teilrampen zu erzeugen und durch geeignetes Hochmischen zu einer kontinuierlichen Frequenzrampe zusammenzusetzen. Zur Erzeugung der einzelnen ansteigenden bzw. abfallenden Teilrampen umfasst der Frequenzgenerator 300 einen Frequenzrampengenerator 301, der aus einem Referenzoszillator 302, einer Linearisierungsstufe 303 und einem spannungsgesteuerten Oszillator 304 aufgebaut ist. Der Referenzoszillator 302 dient zur Erzeugung eines Referenzsignals von konstanter Frequenz. Dieses Referenzsignal wird der Linearisierungsstufe 303 zugeführt. Außerdem wird der Linearisierungsstufe 303 das am Ausgang des spannungsgesteuerten Oszillators 304 erhaltene Teilrampensignal 305 als rückgekoppeltes Signal 306 zugeführt. Ausgehend von diesen beiden Signalen erzeugt die Linearisierungsstufe 303 eine zur Erzeugung der ansteigenden bzw. abfallenden Teilrampen geeignete Steuerspannung 307, die dem spannungsgesteuerten Oszillator 304 zugeführt wird. Durch die Steuerspannung 307 wird der spannungsgesteuerte Oszillator 304 so gesteuert, dass er die gewünschten ansteigenden bzw. abfallenden Teilrampen liefert.

Vorzugsweise wird die Steuerspannung 307 von der Linearisierungsstufe 303 unter Verwendung eines Phasenregelkreises bzw. einer Phase-Locked Loop (PLL) erzeugt.

Um einen gewünschten linear ansteigenden bzw. abfallenden Frequenzverlauf zu erzeugen, kann beispielsweise eine Fractional-N-PLL eingesetzt werden. Bei einer Fractional-N-PLL ist innerhalb der Linearisierungsstufe 303 ein fraktionaler Frequenzteiler vorgesehen, der das rückgekoppelte Signal 306 entsprechend einem beliebig vorgebbaren gebrochenzahligen Teilerverhältnis teilt. Das heruntergeteilte Signal wird innerhalb der Fractional-N-PLL mit dem Referenzoszillatorsignal verglichen, und die Phasenabweichung zwischen den beiden Signalen wird in die Steuerspannung 307 für den spannungsgesteuerten Oszillator 304

umgesetzt. Durch kontinuierliches Erhöhen (bzw. Verringern) des Teilerverhältnisses kann dementsprechend eine linear ansteigende (bzw. abfallende) Teilrampe erzeugt werden. Die kontinuierliche Erhöhung bzw. Verringerung des Teilerverhältnisses wird dabei von einer Steuereinheit 308 gesteuert, die der Linearisierungsstufe 303 ein entsprechendes Steuersignal 309 zuführt.

Alternativ dazu kann zur Erzeugung der Steuerspannung 307 eine PLL-DDS-Kombination eingesetzt werden, bei der der gewünschte Frequenzverlauf mittels eines DDS (Direct Digital Synthesis)-Bausteins vorgegeben wird. Dabei wird die vom Referenzoszillator 302 zur Verfügung gestellte Referenzfrequenz mittels des DDS-Bausteins in ein einstellbares Referenzsignal umgesetzt, dessen Frequenz über den Registerwert des DDS-Bausteins kontinuierlich erhöht (bzw. verringert) werden kann. Mit diesem frequenzveränderlichen Referenzsignal wird nun das rückgekoppelte Signal 306 oder ein daraus abgeleitetes Signal verglichen, und die Phasenabweichung zwischen den beiden Signalen wird in die Steuerspannung 307 umgesetzt, mit der sich eine linear ansteigende (oder abfallende) Teilrampe erzeugen lässt. Der Frequenzanstieg (bzw. Frequenzabfall) wird bei diesem Beispiel also durch Erhöhen (bzw. Verringern) des Registerwerts des DDS-Bausteins vorgegeben. Der Frequenzanstieg bzw. der Frequenzabfall wird durch die Steuereinheit 308 mittels eines geeigneten Steuersignals 309 gesteuert.

Als Referenzoszillator 302 kann beispielsweise ein Quarz-Oszillator verwendet werden, der ein Referenzsignal mit einer Frequenz im Bereich von beispielsweise 10 bis 100 MHz zur Verfügung stellt. Alternativ dazu könnte der Referenzoszillator beispielsweise mittels eines SAW (Surface Acoustic Wave)-Oszillators realisiert werden. Bei einem SAW-Oszillator wird als Resonatorstruktur eine akustische Oberflächenwelle verwendet, die sich auf der Oberfläche eines Piezokristalls ausbreitet. Eine weitere Möglichkeit wäre der Einsatz eines BAW-Oszillators, wobei BAW für "Bulk Acoustic Wave" steht. Die Funktionsweise ist mit der eines Oberflächenwellen-Oszillators (SAW-Oszillator) vergleichbar, jedoch mit dem Unterschied, dass beim BAW-Oszillator die Ausbreitung der akustischen Welle in dem Halbleitersubstrat (Bulk) erfolgt, auf dem die Schaltung untergebracht ist. Wenn als Referenzoszillator 302 ein SAW- bzw. BAW-Oszillator eingesetzt wird, liegen typische Frequenzen des Referenzsignals im Bereich von beispielsweise 1 GHz.

Am Ausgang des Frequenzrampengenerators 301 ist das Teilrampensignal 305 abgreifbar, das eine Abfolge von linear in der Frequenz ansteigenden und linear in der Frequenz abfallenden Teilrampen umfasst.

In Fig. 4 ist die Frequenzverlauf 400 des Teilrampensignals 305 als Funktion der Zeit aufgetragen. Der Frequenzverlauf 400 des Teilrampensignals 305 umfasst eine erste abfallende Teilrampe 401, eine zweite ansteigende Teilrampe 402, eine dritte abfallende Teilrampe 403 und eine vierte ansteigende Teilrampe 404. Durch die alternierende Abfolge von abfallenden Teilrampen und ansteigenden Teilrampen ergibt sich für den Frequenzverlauf 400 des Teilrampensignals 305 ein W-förmiger Frequenzverlauf. Während der abfallenden Teilrampen 401, 403 sinkt die Frequenz linear von einem Startwert f_{max} auf einen Endwert f_{min}, und während der ansteigenden Teilrampen 402, 404 steigt die Frequenz linear von einem Startwert f_{min} auf einen Endwert f_{max}. Die Umschaltung zwischen den aufeinanderfolgenden Teilrampen erfolgt an den Umschaltzeitpunkten 405, 406, 407. Der spannungsgesteuerte Oszillator 304 in Fig. 3 muss also in der Lage sein, Frequenzrampen mit einem Frequenzhub $\Delta f_{hub} = f_{max}-f_{min}$ im Frequenzbereich zwischen f_{min} und f_{max} zu erzeugen. Die Frequenzen f_{min}, f_{max} und der Frequenzhub Δf_{hub} können sich dabei beispielsweise im Bereich von einigen Gigahertz bewegen.

Das Ziel ist nun, die einzelnen Teilrampen 401, 402, 403, 404 des Teilrampensignals 305 jeweils unter Verwendung von unterschiedlichen Hochsetzfrequenzen in einen höheren Frequenzbereich so umzusetzen, dass sich die so erhaltenen hochgemischten Teilrampen 408, 409, 410, 411 nahtlos aneinander anschließen und sich zu einer kontinuierlich linear ansteigenden zusammengesetzten Frequenzrampe 412 ergänzen.

Dabei wird beim Hochmischen der abfallenden Teilrampen 401, 403 jeweils das untere Seitenband des hochgemischten Signals verwendet, weil eine abfallenden Teilrampe im unteren Seitenband des Mischers mit negativen Vorzeichen erscheint und das untere Seitenband somit jeweils eine ansteigende hochgemischte Teilrampe liefert. Beim Hochmischen der ansteigenden Teilrampen 402, 404 wird dagegen jeweils das obere Seitenband des hochgemischten Signals verwendet, weil hier das obere Seitenband eine ansteigende hochgemischte Teilrampe liefert. Insgesamt erhält man durch das Zusammensetzen der vier hochgemischten Teilrampen 408, 409, 410, 411 eine zusammengesetzte Frequenzrampe 412, deren Frequenzhub das Vierfache des Frequenzhubs Δf_{hub} der einzelnen Teilrampen 401 bis 404 beträgt.

Anhand von Fig. 3 soll im Folgenden erläutert werden, wie das Hochmischen der einzelnen Teilrampen 401 bis 404 technisch realisiert wird. Hierzu wird das Teilrampensignal 305 einem Mischer 310 zugeführt, der dazu ausgelegt ist, das Teilrampensignal 305 mit einem Hochsetzfrequenzsignal 311 zu mischen, das von einem Hochsetzfrequenzgenerator 312

erzeugt wird. Der Hochsetzfrequenzgenerator 312 ist dazu ausgelegt, zu jeder Teilrampe des Teilrampensignals 305 ein zugehöriges Hochsetzfrequenzsignal 311 zu erzeugen, das eine geeignete Frequenz zum Hochmischen der Teilrampe aufweist. Der Hochsetzfrequenzgenerator 312 muss also in der Lage sein, geeignete Hochsetzfrequenzsignale mit unterschiedlichen Hochsetzfrequenzen zu erzeugen. Für die unterschiedlichen Teilrampen werden Hochsetzfrequenzsignale mit unterschiedlichen Hochsetzfrequenzen benötigt.

Bei dem in Fig. 4 gezeigten Beispiel werden zum Hochmischen der vier Teilrampen 401 bis 404 die vier unterschiedlichen Hochsetzfrequenzen f_{up1}, f_{up2}, f_{up3} und f_{up4} verwendet, die in Fig. 4 gestrichelt eingezeichnet sind. In diesem Fall muss der Hochsetzfrequenzgenerator 312 also in der Lage sein, wahlweise Hochsetzsignale der vier Frequenzen f_{up1}, f_{up2}, f_{up3} und f_{up4} zu erzeugen, wobei jeder der vier Teilrampen 401 bis 404 eine zugehörige Hochsetzfrequenz zugeordnet ist. Typische Hochsetzfrequenzen können sich beispielsweise im Bereich oberhalb von 40 GHz bewegen. Die Erzeugung des jeweiligen Hochsetzfrequenzsignals 311 durch den Hochsetzfrequenzgenerator 312 wird von der Steuereinheit 308 mittels eines Steuersignals 317 gesteuert. Das Steuersignal 317 steuert insbesondere die Umschaltung zwischen den verschiedenen Hochsetzfrequenzen. Bei dem in Fig. 4 gezeigten Beispiel erfolgt zum Umschaltzeitpunkt 405 eine Umschaltung von der Hochsetzfrequenz f_{up1} auf f_{up2}, zum Umschaltzeitpunkt 406 wird von f_{up2} auf f_{up3} umgeschaltet, und zum Umschaltzeitpunkt 407 erfolgt eine Umschaltung auf f_{up4}.

Im Mischer 310 wird das Teilrampensignal 305 mit dem Hochsetzfrequenzsignal 311 gemischt. Der Mischer 310 weist zwei Signalausgänge auf, einen ersten Ausgang für das untere Seitenbandsignal 313 und einen zweiten Ausgang für das obere Seitenbandsignal 314. Am ersten Ausgang wird das untere Seitenband des Mischsignals als unteres Seitenbandsignal 313 ausgegeben, und am zweiten Ausgang wird das obere Seitenband des Mischsignals als oberes Seitenbandsignal 314 ausgegeben. Sowohl das untere Seitenbandsignal 313 als auch das obere Seitenbandsignal 314 werden einem elektronischen Schaltelement 315 zugeführt. Durch das elektronische Schaltelement 315 kann entweder das untere Seitenbandsignal 313 oder das obere Seitenbandsignal 314 ausgewählt und zum Ausgang 318 des Frequenzgenerators 300 durchgeschaltet werden. Dabei wird die Umschaltung zwischen dem unteren Seitenbandsignal 313 und dem oberen Seitenbandsignal 314 von einem Steuersignal 316 gesteuert, das von der Steuereinheit 308 erzeugt und dem elektronischen Schaltelement 315 zugeführt wird.

Das Ziel ist nun, die einzelnen Teilrampen des Teilrampensignals 305 in einen höheren Frequenzbereich hochzumischen und durch geeignete Auswahl des unteren bzw. des oberen Seitenbandsignals der hochgemischten Teilrampen dafür zu sorgen, dass aus den einzelnen hochgemischten Teilrampen eine stetige, kontinuierlich ansteigende Frequenzrampe zusammengesetzt werden kann.

Die Umschaltung zwischen dem unteren Seitenbandsignal 313 und dem oberen Seitenbandsignal 314 wird dabei so durchgeführt, dass bei einer abfallenden Teilrampe im Teilrampensignal 305 das untere Seitenbandsignal 313 zum Ausgang 318 durchgeschaltet wird, während bei einer ansteigenden Teilrampe im Teilrampensignal 305 das obere Seitenbandsignal 314 zum Ausgang 318 durchgeschaltet wird. Durch geeignetes Umschalten des elektronischen Schaltelements 315 kann also erreicht werden, dass die einzelnen hochgemischten Teilrampen sich zu einer einzigen linear ansteigenden Frequenzrampe ergänzen.

Dieses soeben beschriebene Schaltschema soll im Folgenden anhand des in Fig. 4 gezeigten Beispiels beschrieben werden. Fig. 4 zeigt den Frequenzverlauf 400 des Teilrampensignals 305. Im Frequenzverlauf 400 des Teilrampensignals 305 ist zuerst eine abfallende Teilrampe 401 zu erkennen. Während dieser abfallenden Teilrampe 401 erzeugt der Hochsetzfrequenzgenerator 312 ein Hochsetzfrequenzsignal 311 der Frequenz f_{up1}. Diese Frequenz f_{up1} ist in Fig. 4 gestrichelt eingezeichnet. Die abfallende Teilrampe 401 wird durch den Mischer 310 mittels des Hochsetzfrequenzsignals 311 der Frequenz f_{up1} in einen höheren Frequenzbereich hochgemischt. Das elektronische Schaltelement 315 wird während der ersten abfallenden Teilrampe 401 durch das Steuersignal 316 so geschaltet, dass das untere Seitenbandsignal 313 zum Ausgang 318 durchgeschaltet wird. Im unteren Seitenband des hochgemischten Signals erscheint die abfallende Teilrampe 401 mit umgekehrtem Vorzeichen, so dass das untere Seitenbandsignal 313 infolge dieser Vorzeichenumkehr eine linear mit der Zeit ansteigende hochgemischte Teilrampe 408 liefert. Die so erzeugte hochgemischte Teilrampe 408 bildet den ersten Abschnitt der zusammengesetzten Frequenzrampe 412.

Ab dem Umschaltzeitpunkt 405 liefert der spannungsgesteuerte Oszillator 304 eine ansteigende Teilrampe 402. Das Ziel ist nun, diese ansteigende Teilrampe 402 so hochzumischen, dass sich die hochgemischte Teilrampe unmittelbar an die hochgemischte Teilrampe 408 anschließt. Hierzu wird der Hochsetzfrequenzgenerator 312 zum Umschaltzeitpunkt 405 auf die zweite Hochsetzfrequenz f_{up2} umgestellt, die in Fig. 4 mit

eingezeichnet ist. Die ansteigende Teilrampe 402 wird durch den Mischer 310 mit der Hochsetzfrequenz f_{up2} hochgemischt. Zum Umschaltzeitpunkt 405 wird außerdem das elektronische Schaltelement 315 so umgeschaltet, dass ab dem Umschaltzeitpunkt 405 das obere Seitenbandsignal 314 zum Ausgang 318 des Frequenzgenerators durchgeschaltet wird. Im oberen Seitenband des hochgemischten Frequenzsignals erscheint die ansteigende Teilrampe 402 ohne Vorzeichenumkehr, so dass das obere Seitenbandsignal 314 eine linear mit der Zeit ansteigende hochgemischte Teilrampe 409 liefert. Durch geeignete Festlegung der ersten Hochsetzfrequenz f_{up1} und der zweiten Hochsetzfrequenz f_{up2} kann erreicht werden, dass sich die zweite hochgemischte Teilrampe 409 nahtlos an die erste hochgemischte Teilrampe 408 anschließt.

Auf die ansteigende Teilrampe 402 folgt ab dem Umschaltzeitpunkt 406 eine abfallende Teilrampe 403. Ab dem Umschaltzeitpunkt 406 wird die Frequenz des vom Hochsetzfrequenzgenerator 312 gelieferten Hochsetzfrequenzsignals 311 von f_{up2} auf f_{up3} umgeschaltet. Diese Hochsetzfrequenz f_{up3} wird dann zum Hochmischen der abfallenden Teilrampe 403 verwendet. Das elektronische Schaltelement 315 wird zum Umschaltzeitpunkt 406 auf das untere Seitenbandsignal 313 umgeschaltet, so dass man am Ausgang 318 des elektronischen Schaltelements 315 das untere Seitenbandsignal 313 erhält. Infolge der Vorzeichenumkehr liefert das untere Seitenband des hochgemischten Signals eine linear mit der Zeit ansteigende hochgemischte Teilrampe 410, die sich bei geeigneter Wahl der Hochsetzfrequenz f_{up3} unmittelbar an die beiden bereits erzeugten hochgemischten Teilrampen 408, 409 anschließt.

Ab dem Umschaltzeitpunkt 407 liefert das Teilrampensignal 305 wieder eine ansteigende Teilrampe 404. Zum Umschaltzeitpunkt 407 wird der Hochsetzfrequenzgenerator 312 von der bisherigen Hochsetzfrequenz f_{up3} auf die Hochsetzfrequenz f_{up4} umgeschaltet, die dann zum Hochmischen der Teilrampe 404 verwendet wird. Das elektronische Schaltelement 315 wird zum Umschaltzeitpunkt 407 so umgeschaltet, dass jetzt das obere Seitenbandsignal 314 zum Ausgang 318 durchgeschaltet wird. Am Ausgang 318 erhält man daher das obere Seitenband des hochgemischten Signals, das eine linear mit der Zeit ansteigende hochgemischte Teilrampe 411 liefert. Wenn die Hochsetzfrequenz f_{up4} des Hochsetzfrequenzsignals 311 geeignet gewählt wird, schließt sich die hochgemischte Teilrampe 411 übergangslos an die bisher erzeugten hochgemischten Teilrampen 408, 409, 410 an. Man erhält auf diese Weise eine linear mit der Zeit ansteigende Frequenzrampe 412, deren Frequenzhub das Vierfache des Frequenzhubs Δf_{hub} der einzelnen Teilrampen 401 bis 404 beträgt.

Im Folgenden soll kurz dargelegt werden, welche Bedingungen die Hochsetzfrequenzen f_{up1}, f_{up2}, f_{up3} und f_{up4} erfüllen müssen, damit sich die hochgemischten Teilrampen 408 bis 411 nahtlos zu einer zusammengesetzten ansteigenden Frequenzrampe 412 ergänzen. Zur Herleitung dieser Bedingungen wird die Mittenfrequenz f_{RF} der resultierenden Frequenzrampe 412 eingeführt. Diese Mittenfrequenz f_{RF} der resultierenden Frequenzrampe 412 ist in Fig. 4 gestrichelt mit eingezeichnet.

Zunächst soll eine Beziehung für die erste Hochsetzfrequenz f_{up1} hergeleitet werden. Hierzu wird der rechte Endpunkt der hochgemischten Teilrampe 408 betrachtet. Wenn man von der ersten Hochsetzfrequenz f_{up1} ausgeht, ergibt sich die Frequenz am rechten Endpunkt zu $(f_{up1}-f_{min})$. Wenn man dagegen von der Mittenfrequenz f_{RF} ausgeht, ergibt sich die Frequenz am rechten Endpunkt zu $(f_{RF}-\Delta f_{hub})$. Durch Gleichsetzen dieser beiden Ausdrücke erhält man

$$f_{up1} = f_{RF}+(f_{min}-\Delta f_{hub}) \quad (1)$$

Auf ähnliche Weise kann man eine Beziehung für die zweite Hochsetzfrequenz f_{up2} herleiten, wenn man den rechten Endpunkt der darauffolgenden hochgemischten Teilrampe 409 betrachtet. Die Frequenz an diesem rechten Endpunkt lässt sich zum einen darstellen als $(f_{up2}+f_{max})$, zum andern ist diese Frequenz am rechten Endpunkt aber auch gleich der Mittenfrequenz f_{RF}. Durch das Gleichsetzen der beiden Ausdrücke ergibt sich

$$f_{up2} = f_{RF}-f_{max} \quad (2)$$

Eine weitere Beziehung für die Hochsetzfrequenz f_{up3} lässt sich durch Betrachten des linken Anfangspunkts der Teilrampe 410 aufstellen. Die Frequenz am linken Anfangspunkt lässt sich zum einen darstellen als $(f_{up3}-f_{max})$, zum andern ist die Frequenz am linken Anfangspunkt aber auch gleich der Mittenfrequenz f_{RF}. Durch das Gleichsetzen der beiden Ausdrücke ergibt sich

$$f_{up3} = f_{RF}+f_{max} \quad (3)$$

Um eine entsprechende Beziehung für die vierte Hochsetzfrequenz f_{up4} zu erhalten, wird der linke Anfangspunkt der hochgemischten Teilrampe 411 betrachtet. Ausgehend von der vierten Hochsetzfrequenz f_{up4} lässt sich die Frequenz an diesem linken Anfangspunkt darstellen als $(f_{up4}+f_{min})$. Ausgehend von der Mittenfrequenz f_{RF} lässt sich die Frequenz am

linken Anfangspunkt der Teilrampe 411 auch angeben als ($f_{RF}+\Delta f_{hub}$). Durch das Gleichsetzen dieser beiden Ausdrücke ergibt sich

$$f_{up4} = f_{RF}-(f_{min}-\Delta f_{hub}) \quad (4)$$

Zusammenfassend können die vier Hochsetzfrequenzen f_{up1}, f_{up2}, f_{up3}, f_{up4} daher wie folgt dargestellt werden:

$$f_{up1} = f_{RF}+(f_{min}-\Delta f_{hub}) \quad (1)$$
$$f_{up2} = f_{RF}-f_{max} \quad (2)$$
$$f_{up3} = f_{RF}+f_{max} \quad (3)$$
$$f_{up4} = f_{RF}-(f_{min}-\Delta f_{hub}) \quad (4)$$

Der in Fig. 3 gezeigte Hochsetzfrequenzgenerator 312 sollte daher in der Lage sein, Hochsetzfrequenzsignale mit diesen vier Hochsetzfrequenzen zu erzeugen. Wenn man zur Erzeugung dieser Hochsetzfrequenzsignale unkorrelierte Quellen verwenden würde, dann würden beim Umschalten zwischen den verschiedenen hochgemischten Teilrampen Phasen- und Frequenzsprünge auftreten. Insofern sollten die verschiedenen Hochsetzsignale zueinander kohärent sein. Dies kann dadurch erreicht werden, indem zur Erzeugung der Hochsetzfrequenzsignale möglichst wenige unkorrelierte Quellen in der Gesamtanordnung verwendet werden. Darüber hinaus wäre es auch nicht sinnvoll, die Hochsetzfrequenzsignale selbst durch einen direkten Synthesizer mit nachfolgenden Vervielfacherstufen zu erzeugen. Bei einer derartigen Lösung wären die Nachteile der Vervielfacherlösung lediglich vom spannungsgesteuerten Oszillator auf den Hochsetzfrequenzgenerator verschoben. Insofern sollte innerhalb des Hochsetzfrequenzgenerators 312 auf Vervielfacherstufen möglichst weitgehend verzichtet werden.

In Fig. 5A ist eine mögliche Ausgestaltung des Hochsetzfrequenzgenerators 312 in Form eines Blockschaltbilds gezeigt. Der Hochsetzfrequenzgenerator 312 umfasst einen monofrequenten Lokaloszillator 500, der ein Lokaloszillatorsignal 501 der Frequenz f_{LO} erzeugt. Vorzugsweise handelt es sich bei dem Lokaloszillator 500 um einen Lokaloszillator hoher Güte (beispielsweise 70 oder mehr). Die Frequenz des Lokaloszillatorsignals 501 liegt vorzugsweise oberhalb von 40 GHz, also im Radarfrequenzbereich. Das Lokaloszillatorsignal 501 wird einem Mischer 502 zugeführt. Dem Mischer 502 wird außerdem ein Modulationssignal 503 zugeführt, das von einem

Modulationsfrequenzoszillator 504 erzeugt wird. Bei dem in Fig. 5A gezeigten Beispiel ist der Modulationsfrequenzoszillator 504 dazu ausgelegt, wahlweise Modulationssignale mit zwei unterschiedlichen Modulationsfrequenzen f_{mod1} und f_{mod2} zu erzeugen. Der Modulationsfrequenzoszillator 504 führt dem Mischer 502 daher wahlweise ein Modulationssignal mit einer ersten Modulationsfrequenz f_{mod1} oder ein Modulationssignal mit einer zweiten Modulationsfrequenz f_{mod2} zu.

Im Mischer 502 wird das Lokaloszillatorsignal 501 mit dem vergleichsweise niederfrequenten Modulationssignal 503 gemischt. Als Ergebnis des Mischens erhält man am ersten Ausgang des Mischers 502 ein unteres Seitenbandsignal 505, das eine Frequenzkomponente (f_{LO}-f_{mod1}) bzw. (f_{LO}-f_{mod2}) enthält, je nachdem, welche der beiden Modulationsfrequenzen f_{mod1}, f_{mod2} verwendet wird. Am zweiten Ausgang des Mischers 503 erhält man ein oberes Seitenbandsignal 506, das eine Frequenzkomponente (f_{LO}+f_{mod1}) bzw. (f_{LO}+f_{mod2}) enthält, je nachdem, welche der beiden Modulationsfrequenzen f_{mod1}, f_{mod2} verwendet wird.

Sowohl das untere Seitenbandsignal 505 als auch das obere Seitenbandsignal 506 werden einem elektronischen Schaltelement 507 zugeführt, das wahlweise eines der beiden Signale zum Ausgang durchschaltet. Am Ausgang des elektronischen Schaltelements 507 erhält man dann das Hochsetzfrequenzsignal 311, das wie in Fig. 3 gezeigt zum Hochmischen der Teilrampen verwendet wird. Der Modulationsfrequenzoszillator 504 kann mittels eines Steuersignals 508 zwischen den beiden Frequenzen f_{mod1} und f_{mod2} umgeschaltet werden. Das elektronische Schaltelement 507 wird vom Steuersignal 509 so gesteuert, dass entweder das untere Seitenbandsignal 505 oder das obere Seitenbandsignal 506 zum Ausgang durchgeschaltet werden. Auf diese Weise kann der Hochsetzfrequenzgenerator 312 wahlweise eine der vier möglichen Hochsetzfrequenzen f_{up1}, f_{up2}, f_{up3}, f_{up4} am Ausgang als Hochsetzfrequenzsignal 311 ausgeben. Daher eignet sich der in Fig. 5A gezeigte Hochsetzfrequenzgenerator 312 beispielsweise zur Erzeugung der vier Frequenzen f_{up1}, f_{up2}, f_{up3}, f_{up4}, die zur Erzeugung der in Fig. 4 gezeigten Frequenzrampe 412 benötigt werden.

Dabei ist es von Vorteil, wenn die Anzahl von unkorrelierten Signalquellen in der Gesamtanordnung möglichst gering gehalten wird. Wenn die Hochsetzfrequenzen von möglichst wenigen unkorrelierten Signalquellen abgeleitet werden, dann führt dies zu einer gewissen Kohärenz zwischen den einzelnen Hochsetzfrequenzsignalen. Dies hat zur Folge, dass an den Umschaltstellen der Frequenzrampe Phasen- bzw. Frequenzsprünge zwischen den Teilrampen deutlich verringert bzw. sogar vollständig vermieden werden können.

Insofern ist es wichtig, die verwendeten Signale durch möglichst wenige unabhängige Signalquellen bzw. Oszillatoren zu erzeugen.

Es ist daher von Vorteil, wenn der Modulationsfrequenzoszillator 504 relativ zum Lokaloszillator 500 oder relativ zum Referenzoszillator 302 synchronisiert wird, beispielsweise unter Verwendung einer Phasenregelschleife (Phase-Locked Loop). Alternativ dazu könnten die benötigten Modulationsfrequenzen f_{mod1}, f_{mod2} beispielsweise auch unmittelbar aus dem Lokaloszillatorsignal 501 oder aus dem vom Referenzgenerator 302 erzeugten Referenzsignal abgeleitet werden, beispielsweise mit Hilfe von Frequenzteilern oder Frequenzvervielfachern. Beispielsweise könnten die Modulationsfrequenzen, die bei dem in Fig. 4 gezeigten Beispiel zur Erzeugung der vier Hochsetzfrequenzen f_{up1}, f_{up2}, f_{up3}, f_{up4} eingesetzt werden, aus der Mittenfrequenz f_{RF} abgeleitet werden. Die zum Erzeugen der vier Hochsetzfrequenzen benötigten Modulationsfrequenzen f_{mod1}, f_{mod2} entsprechen im Beispiel von Fig. 4 einem Drittel bzw. einem Siebtel der Mittenfrequenz f_{RF}, also $f_{mod1} = \frac{1}{7} \cdot f_{RF}$ und $f_{mod2} = \frac{1}{3} \cdot f_{RF}$. Diese Frequenzverhältnisse sind in Fig. 4 in etwa maßstäblich berücksichtigt.

Bei den bisher beschriebenen Lösungen waren zur Erzeugung einer Frequenzrampe mit dem vierfachen Frequenzhub einer Teilrampe jeweils vier unterschiedliche Hochsetzfrequenzen erforderlich. Eine weitere Vereinfachung ergibt sich dann, wenn im Frequenzgenerator 300 ein spannungsgesteuerter Oszillator 304 eingesetzt wird, dessen durchstimmbarer Frequenzbereich sich zumindest von einer Anfangsfrequenz f_{min} bis zu einer Endfrequenz $f_{max} = 2 \cdot f_{min}$ erstreckt. Wenn der durchstimmbare Frequenzbereich sich von einer Startfrequenz f_{min} bis zum Doppelten der Startfrequenz erstreckt, dann umfasst der überstrichene Frequenzbereich eine komplette Oktave. Für den Frequenzhub Δf_{hub} eines derart breitbandigen spannungsgesteuerten Oszillators ergibt sich $\Delta f_{hub} = f_{max} - f_{min} = 2 \cdot f_{min} - f_{min} = f_{min}$. Bei einem derartigen spannungsgesteuerten Oszillator, dessen Frequenzbereich eine komplette Oktave überstreicht, gilt also $f_{max} = 2 \cdot f_{min}$ oder $\Delta f_{hub} = f_{min}$ oder $\Delta f_{hub} = 0{,}5 \cdot f_{max}$.

Wenn ein derartiger spannungsgesteuerter Oszillator 304 mit $\Delta f_{hub} = f_{min}$ zur Erzeugung einer zusammengesetzten Frequenzrampe verwendet wird, dann ergibt sich das in Fig. 6 gezeigte Frequenzschema. In Fig. 6 ist ein Frequenzverlauf 600 des Teilrampensignals 305 eingezeichnet, der vier aufeinanderfolgende Teilrampen 601, 602, 603, 604 umfasst. Für jede der vier Teilrampen gilt $\Delta f_{hub} = f_{min}$. Zur Erzeugung der zusammengesetzten Frequenzrampe 605 werden die einzelnen Teilrampen 601 bis 604 mit Hilfe der

Hochsetzfrequenzen $\hat{f}_{up1}$, $\hat{f}_{up2}$, $\hat{f}_{up3}$, $\hat{f}_{up4}$ hochgemischt, so dass aus den hochgemischten Teilrampen die linear mit der Zeit ansteigende Frequenzrampe 605 zusammengesetzt werden kann.

Aus den oben aufgeführten Gleichungen (1) und (4) ergibt sich unter Berücksichtigung von $\Delta f_{hub} = f_{min}$:

$$\hat{f}_{up1} = f_{RF} \text{ und } \hat{f}_{up4} = f_{RF} \quad (5)$$

und daher

$$\hat{f}_{up1} = \hat{f}_{up4} = f_{RF}\,. \quad (6)$$

Dies bedeutet, dass man bei Verwendung eines über eine komplette Oktave hinweg durchstimmbaren spannungsgesteuerten Oszillators (VCO) lediglich drei unterschiedliche Hochsetzfrequenzsignale bei den drei Frequenzen $\hat{f}_{up1}$, $\hat{f}_{up2}$ und $\hat{f}_{up3}$ benötigt.

Dies hat zur Folge, dass sich der Aufbau des benötigten Hochsetzfrequenzgenerators 312 deutlich vereinfacht. In Fig. 5B ist ein derartiger vereinfachter Hochsetzfrequenzgenerator 312 gezeigt, der zur Erzeugung der drei unterschiedlichen Hochsetzfrequenzen $\hat{f}_{up1}$, $\hat{f}_{up2}$ und $\hat{f}_{up3}$ ausgelegt ist. Der in Fig. 5B gezeigte vereinfachte Hochsetzfrequenzgenerator 312 umfasst wiederum einen Lokaloszillator 510, der dazu ausgelegt ist, ein Lokaloszillatorsignal 511 der Frequenz f_{LO} zu erzeugen, das dem Mischer 512 zugeführt wird. Ebenso wie in Fig. 5A umfasst auch der in Fig. 5B gezeigte Hochsetzfrequenzgenerator 312 einen Modulationsfrequenzoszillator 513, der ein Modulationssignal 514 erzeugt und dem Mischer 512 zuführt. Allerdings ist der Modulationsfrequenzoszillator 513 lediglich dazu ausgelegt, ein Modulationssignal 514 bei einer einzigen Modulationsfrequenz f_{mod} zu erzeugen. Anders als in Fig. 5A ist ein Umschalten zwischen unterschiedlichen Modulationsfrequenzen bei dem in Fig. 5B gezeigten Modulationsfrequenzgenerator 513 nicht erforderlich. Im Mischer 512 wird das Lokaloszillatorsignal 511 mit dem Modulationssignal 514 gemischt. Am ersten Ausgang des Mischers erhält man ein unteres Seitenbandsignal 515, das die Frequenzkomponente f_{LO}-f_{mod} enthält. Am zweiten Ausgang des Mischers 512 erhält man ein oberes Seitenbandsignal 516, das eine Frequenzkomponente f_{LO}+f_{mod} enthält. Die beiden Seitenbandsignale 515, 516 sowie das Lokaloszillatorsignal 511 selbst werden einem elektronischen Schaltelement 517 zugeführt, das durch ein Steuersignal 518 gesteuert wird.

Mittels des Steuersignals 518 kann ausgewählt werden, welches der drei Signale 511, 515, 516 zum Ausgang des elektronischen Schaltelements 517 durchgeschaltet wird. Auf diese Weise können wahlweise drei Hochsetzfrequenzsignale bei den Frequenzen f_{LO}-f_{mod}, f_{LO}, f_{LO}+f_{mod} zur Verfügung gestellt werden. Auf diese Weise können die drei in Fig. 6 benötigten Hochsetzfrequenzsignale $\hat{f}_{up1}$, $\hat{f}_{up2}$ und $\hat{f}_{up3}$ erzeugt werden. Das jeweils ausgewählte Signal wird dann in Fig. 3 als Hochsetzfrequenzsignal 311 verwendet und dem Mischer 310 zugeführt.

In den in Fig. 4 und Fig. 6 dargestellten Beispielen werden mit Hilfe von drei bzw. vier Hochsetzfrequenzen zusammengesetzte Frequenzrampen 412 bzw. 605 mit vierfachem Frequenzhub erzeugt. Dieses Vorgehen kann noch verallgemeinert werden. Es könnte beispielsweise genauso eine abfallende zusammengesetzte Frequenzrampe erzeugt werden. In Kombination mit der in Fig. 4 bzw. Fig. 6 dargestellten ansteigenden Frequenzrampe ließe sich so aus acht Teilrampen eine dreieckförmige Wellenform erzeugen.

Das Prinzip lässt sich auch auf Systeme anwenden, die aus noch mehr Teilrampen eine Gesamtrampe erzeugen. Pro Erweiterung um eine Frequenzstufe des Hochsetzfrequenzgenerators 312 kann die gesamte Frequenzrampe um den doppelten Frequenzhub des spannungsgesteuerten Oszillators verlängert werden. Alternativ dazu könnten mehrere Abläufe nach Fig. 4 oder Fig. 6 kaskadiert werden.

Als weitere Verallgemeinerung ist in Fig. 7 die Erzeugung einer linearen Frequenzrampe 700 veranschaulicht, deren Frequenzhub das Zwölffache des Frequenzhubs Δf_{hub} des spannungsgesteuerten Oszillators 304 beträgt. Zur Erzeugung der Frequenzrampe 700 wird ein spannungsgesteuerter Oszillator verwendet, dessen durchstimmbarer Frequenzbereich eine volle Oktave überdeckt. Bei dem dargestellten Beispiel beginnt der Frequenzbereich des spannungsgesteuerten Oszillators bei f_{min} = 2,5 GHz und endet bei f_{max} = 5 GHz. Als Ausgangspunkt für die Erzeugung der Frequenzrampe 700 dient ein Teilrampensignal 701, das zwölf aufeinanderfolgende abfallende bzw. ansteigende Teilrampen umfasst. Zu jeder der zwölf Teilrampen ist die zugehörige, zum Hochmischen der jeweiligen Teilrampe verwendete Hochsetzfrequenz in Gigahertz angegeben. Durch das Hochmischen und Zusammensetzen der Teilrampen ergibt sich die zusammengesetzte Frequenzrampe 700, die sich im dargestellten Beispiel von 65 GHz bis 95 GHz erstreckt. Die Frequenzrampe 700 überstreicht also einen Frequenzbereich von 30 GHz, was dem Zwölffachen des

Frequenzhubs Δf_{hub} = 2,5 GHz des verwendeten spannungsgesteuerten Oszillators entspricht.

Insgesamt werden zum Hochmischen der Teilrampen sieben unterschiedliche Hochsetzfrequenzen benötigt, nämlich bei 65 GHz, 70 GHz, 75 GHz, 80 GHz, 85 GHz, 90 GHz und 95 GHz. Dieser Zusammenhang zwischen dem Frequenzhub der Frequenzrampe 700 und der Anzahl der verwendeten Hochsetzfrequenzen lässt sich verallgemeinern. Für N erzeugbare Hochsetzfrequenzen lässt sich der Frequenzhub auf das (N-1)·2-fache des Frequenzhubs des spannungsgesteuerten Oszillators (VCO) erhöhen, wobei vorausgesetzt wird, dass sich der durchstimmbare Frequenzbereich des spannungsgesteuerten Oszillators über eine Oktave erstreckt.

Zur Erzeugung einer Frequenzrampe der in Fig. 7 gezeigten Art werden eine Vielzahl von kohärenten Hochsetzfrequenzsignalen benötigt, die mit definierten Phasen- und Frequenzbeziehungen zueinander erzeugt werden. Zur Erzeugung dieser Vielzahl von benötigten Hochsetzfrequenzen ist in Fig. 8 ein Hochsetzfrequenzgenerator dargestellt, der mittels einer kaskadierten Anordnung von Mischern realisiert ist. Als Ausgangspunkt für die Erzeugung der unterschiedlichen Hochsetzfrequenzsignale dient ein monofrequentes Lokaloszillatorsignal 800, das von einem Lokaloszillator 801 erzeugt wird. Dieses Lokaloszillatorsignal 800 wird einem Mischer 802 der ersten Stufe zugeführt. Dort wird das Lokaloszillatorsignal 800 mit einem ersten Modulationssignal 803 gemischt, das von einem Modulationsfrequenzoszillator 804 zur Verfügung gestellt wird. An den Ausgängen des Mischers 802 erhält man die beiden Seitenbandsignale 805-1 und 805-2. Diese Seitenbandsignale 805-1, 805-2 werden den beiden Mischern 806-1, 806-2 der zweiten Stufe zugeführt. In den Mischern 806-1, 806-2 der zweiten Stufe werden die Seitenbandsignale 805-1, 805-2 mit einem zweiten Modulationssignal 807 gemischt, das durch Frequenzteilung aus dem ersten Modulationssignal 803 abgeleitet wird. Hierzu ist ein Frequenzteiler 808 vorgesehen. Die Frequenz des zweiten Modulationssignals 807 beträgt also nur mehr die Hälfte der vom Modulationsfrequenzoszillator 804 erzeugten Modulationsfrequenz. An den Ausgängen der Mischer 806-1, 806-2 der zweiten Stufe erhält man vier Seitenbandsignale 809-1 bis 809-4. Diese Seitenbandsignale 809-1 bis 809-4 werden den Mischern 810-1 bis 810-4 der dritten Stufe zugeführt und dort mit einem dritten Modulationssignal 811 gemischt, das wiederum durch Frequenzteilung aus dem zweiten Modulationssignal 807 abgeleitet wird. Hierzu ist ein weiterer Frequenzteiler 812 vorgesehen. Die Frequenz des dritten Modulationssignals 811 beträgt also nur mehr ein Viertel der vom Modulationsfrequenzoszillator 804 erzeugten Modulationsfrequenz. An den

Ausgängen der vier Mischer 810-1 bis 810-4 der dritten Stufe erhält man dann acht Seitenbandsignale 813-1 bis 813-8.

Mittels des in Fig. 8 gezeigten dreistufig kaskadierten Hochsetzfrequenzgenerators können insgesamt 15 unterschiedliche Hochsetzfrequenzen erzeugt werden.

Bei dem in Fig. 7 dargestellten Beispiel sind zur Erzeugung der Frequenzrampe 700 lediglich sieben unterschiedliche Hochsetzfrequenzen erforderlich, so dass man anstelle der in Fig. 8 gezeigten drei Mischerstufen lediglich zwei Mischerstufen benötigt. Der Lokaloszillator 801 würde ein Lokaloszillatorsignal 800 der Frequenz 80 GHz liefern. Als Modulationssignal 803 würde man ein Signal der Frequenz 10 GHz verwenden, und die Frequenz des davon abgeleiteten zweiten Modulationssignals 807 würde folglich 5 GHz betragen. Mit einer derartigen zweistufig kaskadierten Mischeranordnung ließen sich folglich die sieben in Fig. 7 benötigten Hochsetzfrequenzen bei 65 GHz, 70 GHz, 75 GHz, 80 GHz, 85 GHz, 90 GHz und 95 GHz erzeugen.

Die breitbandige Frequenzrampe, deren Erzeugung oben beschrieben wurde, eignet sich insbesondere (aber nicht nur) für die Verwendung im Bereich des FMCW-Radars. Bei der Entfernungsmessung mittels Radar nach dem FMCW (Frequency-Modulated Continuous Wave)-Prinzip wird ein frequenzmoduliertes Radarsignal im Dauerstrichbetrieb ausgesendet und am jeweiligen Ziel reflektiert. Das reflektierte Signal wird vom Entfernungssensor empfangen und ausgewertet. Derartige Radarsensoren werden bevorzugt bei höheren Operationsfrequenzen von beispielsweise 70 GHz bis 150 GHz betrieben, und bei diesen hohen Frequenzen lässt sich eine hohe Strahlbündelung mit immer kleineren Antennenabmessungen realisieren. Da bei höheren Operationsfrequenzen auch größere absolute Bandbreiten möglich sind, lässt sich zudem die Entfernungsauflösung signifikant erhöhen. Insbesondere bei Radarfüllstandssensoren lässt sich durch die Verwendung von höheren Operationsfrequenzen und größeren absoluten Bandbreiten die Zuverlässigkeit in Behältern mit komplexen Einbauten erheblich verbessern.

Fig. 9 zeigt ein Blockschaltbild eines Entfernungssensors, der nach dem FMCW-Prinzip arbeitet. Der Sendezweig des Entfernungssensors umfasst den in Fig. 3 gezeigten Frequenzgenerator 300. Am Ausgang des Frequenzgenerators 300 erhält man eine Frequenzrampe, die aus mehreren hochgemischten Teilrampen zusammengesetzt ist. Diese Frequenzrampe wird durch einen Verstärker 900 verstärkt und anschließend einem Sendetor

901 zugeführt. Über das Sendetor 901 wird das frequenzmodulierte Radar-Sendesignal abgestrahlt.

In Fig. 10 ist die Frequenz des erzeugten Sendesignals 1000 als Funktion der Zeit dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Frequenz des Sendesignals 1000 abwechselnd linear ansteigt und wieder absinkt, so dass sich insgesamt ein dreiecksförmiger Verlauf ergibt. Während einer ersten Modulationsperiodendauer T_0 wird die Frequenz des Sendesignals linear von der Frequenz f_0 auf die Frequenz $f_0 + \Delta f_0$ erhöht, wobei die Größe Δf_0 als Frequenzhub bezeichnet wird. Während einer darauffolgenden zweiten Modulationsperiodendauer T_0 wird die Frequenz ausgehend von $f_0 + \Delta f_0$ wieder linear auf f_0 zurückgeführt. Alternativ zu dem dreiecksförmigen Verlauf könnte die Frequenz des Sendesignals auch einen sägezahnförmigen Frequenzverlauf aufweisen.

Die Frequenzen von Radar-Sendesignalen bewegen sich beispielsweise im Bereich von etwa 20 GHz bis 150 GHz. Der Frequenzhub Δf_0 könnte beispielsweise einige GHz betragen. Die Modulationsperiodendauer könnte beispielsweise aus dem Bereich zwischen etwa 0,1 msec und 5 msec gewählt werden. Diese Angaben dienen lediglich zur Illustration typischer Größenordnungen, es sind allerdings auch Lösungen außerhalb dieser Bereiche möglich.

Wie in Fig. 9 gezeigt ist, wird ein Teil des abgestrahlten Sendesignals durch ein im Abstand R vom Entfernungssensor befindliches Ziel 902 zum Entfernungssensor zurückreflektiert. Das reflektierte Signal wird vom Empfangstor 903 des Entfernungssensors empfangen und einem Empfangsmischer 904 zugeführt. Im Empfangsmischer 904 wird das Empfangssignal mit dem momentan ausgesendeten Sendesignal gemischt. Für den Weg vom Sendetor 901 zum Ziel 902 und zurück zum Empfangstor 903 benötigt das Radarsignal eine Laufzeit τ.

In Fig. 10 ist zusätzlich zum Sendesignal 1000 auch das um die Laufzeit τ zeitversetzte Empfangssignal 1001 eingezeichnet. Während der vom Radarsignal benötigten Laufzeit τ steigt das vom Signalgenerator erzeugte Sendesignal 1000 weiter an, so dass die Frequenz des momentan abgestrahlten Sendesignals höher ist als die Frequenz des Empfangssignals. Infolge der Laufzeit τ des Radarsignals ergibt sich daher ein für die Laufzeit τ und damit für die Zielentfernung charakteristischer Frequenzunterschied zwischen Sende- und Empfangssignal, der als Zielfrequenz f_{Ziel} bezeichnet wird. Die Zielfrequenz f_{Ziel} ist in Fig. 10 ebenfalls eingezeichnet.

Dabei ergibt sich eine direkte Proportionalität zwischen der Zielfrequenz f_{Ziel}. und der zugehörigen Zielentfernung R. Das vom Empfangsmischer 904 in Fig. 9 erzeugte Mischersignal 905 enthält daher Zielfrequenzkomponenten zu einem oder mehreren Zielen, aus denen sich jeweils die zugehörigen Zielentfernungen bestimmen lassen.

Das Mischersignal 905 wird durch einen Abtasttiefpass 906 gefiltert, welcher Frequenzkomponenten oberhalb einer Grenzfrequenz unterdrückt. Durch den Abtasttiefpass 906 wird die Bandbreite des Mischersignals 905 vor der Digitalisierung begrenzt. Außerdem wird durch die Grenzfrequenz eine maximale Zielentfernung R_{max} festgelegt. Das tiefpassgefilterte Mischersignal wird durch einen Analog-Digital-Wandler 907 abgetastet und digitalisiert. Die so erhaltenen Abtastwerte werden der digitalen Signalverarbeitungseinheit 908 zur Auswertung zugeführt, welche die im Mischersignal enthaltenen Zielfrequenzkomponenten bestimmt, beispielsweise mittels einer Fouriertransformation (Fast Fourier Transform, FFT).

Patentansprüche

1. Frequenzgenerator (300) zur Erzeugung einer kontinuierlich in der Frequenz ansteigenden Frequenzrampe (412, 605, 700), welcher aufweist:
   - einen Frequenzrampengenerator (301), der dazu ausgelegt ist, ein Frequenzsignal (305) zu erzeugen, das eine Abfolge von mehreren aufeinanderfolgenden abfallenden und ansteigenden Teilrampen (401-404, 601-604) umfasst,
   - einen Hochsetzfrequenzgenerator (312) zur Erzeugung einer Mehrzahl von unterschiedlichen Hochsetzfrequenzsignalen (311),
   - einen Mischer (310), der dazu ausgelegt ist, die Teilrampen (401-404, 601-604) des Frequenzsignals (305) mit auf die jeweilige Teilrampe abgestimmten Hochsetzfrequenzsignalen (311) hochzumischen,
   wobei bei einer abfallenden Teilrampe (401, 403, 601, 603) das untere Seitenband des so erhaltenen hochgemischten Signals eine hochgemischte ansteigende Teilrampe (408, 410) liefert,
   wobei bei einer ansteigenden Teilrampe (402, 404, 602, 604) das obere Seitenband des so erhaltenen hochgemischten Signals eine hochgemischte ansteigende Teilrampe (409, 411) liefert, und
   - wobei der Frequenzgenerator (300) dazu ausgelegt ist, die so erhaltenen hochgemischten ansteigenden Teilrampen (408-411) zu einer kontinuierlich in der Frequenz ansteigenden Frequenzrampe (412, 605, 700) zusammenzusetzen, wobei die Hochsetzfrequenzsignale (311) für die verschiedenen Teilrampen (401-404, 601-604) so gewählt sind, dass sich die hochgemischten ansteigenden Teilrampen (408-411) zu der kontinuierlich in der Frequenz ansteigenden Frequenzrampe (412, 605, 700) ergänzen.

2. Frequenzgenerator nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch mindestens eines von folgenden:
   - das Frequenzsignal weist einen w-förmigem Frequenzverlauf mit einer Abfolge von mehreren aufeinanderfolgenden abfallenden und ansteigenden Teilrampen auf;
   - das Frequenzsignal umfasst eine Vielzahl von abfallenden und ansteigenden Teilrampen.

3. Frequenzgenerator nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Mischer (310) dazu ausgelegt ist, ein unteres Seitenbandsignal (313) zu erzeugen, das das untere Seitenband des hochgemischten Signals umfasst, und ein oberes

Seitenbandsignal (314) zu erzeugen, das das obere Seitenband des hochgemischten Signals umfasst.

4. Frequenzgenerator nach Anspruch 3, gekennzeichnet durch mindestens eines von folgenden:
   - der Frequenzgenerator (300) umfasst ein elektronisches Schaltelement (315), dem das untere Seitenbandsignal (313) und das obere Seitenbandsignal (314) des Mischers (310) zugeführt werden und das dazu ausgelegt ist, wahlweise das untere Seitenbandsignal (313) oder das obere Seitenbandsignal (314) zum Ausgang (318) durchzuschalten;
   - der Frequenzgenerator (300) umfasst ein elektronisches Schaltelement (315), dem das untere Seitenbandsignal (313) und das obere Seitenbandsignal (314) des Mischers (310) zugeführt werden, wobei der Frequenzgenerator (300) das elektronische Schaltelement (315) so steuert, dass während einer abfallenden Teilrampe (401, 403, 601, 603) das untere Seitenbandsignal (313) und während einer ansteigenden Teilrampe (402, 404, 602, 604) das obere Seitenbandsignal (314) des Mischers (310) zum Ausgang (318) durchgeschaltet wird.

5. Frequenzgenerator nach Anspruch 3 oder Anspruch 4, gekennzeichnet durch eine Steuereinheit (308), die dazu ausgelegt ist, geeignete Steuersignale für den Hochsetzfrequenzgenerator und das elektronische Schaltelement zu erzeugen, wobei die Steuersignale ausgelegt sind zur Steuerung von mindestens einem von folgenden:
   - Umschaltung zwischen verschiedenen Hochsetzfrequenzen und
   - Umschaltung zwischen dem unteren Seitenbandsignal und dem oberen Seitenbandsignal des Mischers.

6. Frequenzgenerator nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Frequenzrampengenerator (301) einen spannungsgesteuerten Oszillator (304) zur Erzeugung des Frequenzsignals aufweist.

7. Frequenzgenerator nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Frequenzrampengenerator (301) aufweist:
   - einen spannungsgesteuerten Oszillator (304),
   - einen Referenzoszillator (302) zur Erzeugung eines Referenzsignals,

- eine Linearisierungsstufe (303), die dazu ausgelegt ist, in Abhängigkeit von einem rückgekoppelten Frequenzsignal (306) und dem Referenzsignal eine Steuerspannung (307) für den spannungsgesteuerten Oszillator (304) zu erzeugen,
- wobei der spannungsgesteuerte Oszillator (304) entsprechend der Steuerspannung (307) das Frequenzsignal (305) mit einer Abfolge von mehreren aufeinanderfolgenden ansteigenden und abfallenden Teilrampen (401-404, 601-604) erzeugt.

8. Frequenzgenerator nach Anspruch 6 oder Anspruch 7, gekennzeichnet durch eines von folgenden:
- der Frequenzrampengenerator umfasst einen Phasenregelkreis mit einem Fractional-N-Frequenzteiler;
- der Frequenzrampengenerator umfasst einen DDS-Baustein und einen Phasenregelkreis.

9. Frequenzgenerator nach einem der Ansprüche 6 bis 8, gekennzeichnet durch mindestens eines von folgenden:
- der spannungsgesteuerte Oszillator umfasst einen durchstimmbaren Frequenzbereich, der sich von einer Startfrequenz zumindest bis zur doppelten Startfrequenz erstreckt;
- die erzeugte Frequenzrampe weist einen Frequenzhub auf, der ein Vielfaches des Frequenzhubs der vom spannungsgesteuerten Oszillator gelieferten Teilrampen ist.

10. Frequenzgenerator nach einem der Ansprüche 1 bis 9, gekennzeichnet durch mindestens eines von folgenden:
- die unterschiedlichen Hochsetzfrequenzsignale sind zueinander kohärent;
- der Hochsetzfrequenzgenerator (312) ist dazu ausgelegt, eine Mehrzahl von zueinander kohärenten Hochsetzfrequenzsignalen zum Hochmischen der Teilrampen zu erzeugen;
- der Hochsetzfrequenzgenerator (312) ist dazu ausgelegt, die verschiedenen Hochsetzfrequenzsignale ausgehend von denselben Signalquellen zu erzeugen;
- die verschiedenen Hochsetzfrequenzsignale weisen definierte Phasen- und Frequenzbeziehungen zueinander auf;
- die verschiedenen Hochsetzfrequenzsignale weisen definierte Phasen- und Frequenzbeziehungen zueinander auf, wobei die Phasen- und Frequenzbeziehungen zwischen den Hochsetzfrequenzsignalen so ausgebildet sind, dass an Übergangsstellen zwischen aufeinanderfolgenden hochgemischten Teilrampen im Wesentlichen keine Phasen- und Frequenzsprünge auftreten;

- die Hochsetzfrequenzsignale für die verschiedenen Teilrampen sind so gewählt, dass sich die hochgemischten ansteigenden Teilrampen kontinuierlich aneinander anschließen;
- die Hochsetzfrequenzsignale weisen eine Frequenz von mehr als 50 GHz auf;
- die Hochsetzfrequenzsignale sind dazu ausgelegt, die Teilrampen in einen Frequenzbereich oberhalb von 50 GHz hochzumischen.

11. Frequenzgenerator nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Hochsetzfrequenzgenerator (312) aufweist:
- einen Lokaloszillator (500, 510) zur Erzeugung eines monofrequenten Lokaloszillatorsignals (501, 511),
- einen Mischer (502, 512), der dazu ausgelegt ist, das Lokaloszillatorsignal (501, 511) mit einem Modulationssignal (503, 514) zu mischen und mindestens ein Mischersignal (505, 506, 515, 516) zu erzeugen, aus dem verschiedene Hochsetzfrequenzsignale erhalten werden können.

12. Frequenzgenerator nach Anspruch 11, gekennzeichnet durch mindestens eines von folgenden:
- der Lokaloszillator (500, 510) ist dazu ausgelegt, ein Lokaloszillatorsignal (501, 511) mit einer Frequenz von mehr als 50 GHz zu erzeugen;
- der Lokaloszillator (500, 510) weist eine Güte von 70 oder mehr auf;
- der Lokaloszillator (500, 510) ist mittels einem von folgenden realisiert: dielektrischer Resonator, Hohlraumresonator, Surface Acoustic Wave (SAW)-Oszillator, Bulk Acoustic Wave (BAW)-Oszillator;
- der Frequenzgenerator ist im Sendepfad eines Radarsensors angeordnet.

13. Frequenzgenerator nach Anspruch 11 oder Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Hochsetzfrequenzgenerator (312) einen Modulationsfrequenzoszillator (504, 513) umfasst, der dazu ausgelegt ist, mindestens ein Modulationssignal (503, 514) zu erzeugen und dem Mischer (502, 512) zuzuführen.

14. Frequenzgenerator nach Anspruch 13, gekennzeichnet durch mindestens eines von folgenden:
- der Modulationsfrequenzoszillator ist zwischen zwei oder mehr Modulationsfrequenzen umschaltbar;

- der Hochsetzfrequenzgenerator ist dazu ausgelegt, den Modulationsfrequenz-oszillator mit einem Referenzoszillator zu synchronisieren;
- der Hochsetzfrequenzgenerator ist dazu ausgelegt, den Modulationsfrequenz-oszillator mittels eines Phasenregelkreises mit einem Referenzoszillator zu synchronisieren;
- der Hochsetzfrequenzgenerator ist dazu ausgelegt, den Modulationsfrequenz-oszillator mit dem Lokaloszillator zu synchronisieren;
- der Hochsetzfrequenzgenerator ist dazu ausgelegt, den Modulationsfrequenz-oszillator mittels eines Phasenregelkreises mit dem Lokaloszillator zu synchronisieren.

15. Frequenzgenerator nach Anspruch 11 oder Anspruch 12, gekennzeichnet durch eines von folgenden:
- der Hochsetzfrequenzoszillator ist dazu ausgelegt, das mindestens eine Modulationssignal aus dem vom Lokaloszillator erzeugten Lokaloszillatorsignal abzuleiten;
- der Hochsetzfrequenzoszillator ist dazu ausgelegt, das mindestens eine Modulationssignal mittels Frequenzteilung aus dem vom Lokaloszillator erzeugten Lokaloszillatorsignal abzuleiten;
- der Hochsetzfrequenzoszillator ist dazu ausgelegt, das mindestens eine Modulationssignal aus einem von einem Referenzoszillator erzeugten Referenzsignal abzuleiten;
- der Hochsetzfrequenzoszillator ist dazu ausgelegt, das mindestens eine Modulationssignal mittels Frequenzvervielfachung aus einem von einem Referenzoszillator erzeugten Referenzsignal abzuleiten.

16. Radarmessvorrichtung für eine Messung entsprechend dem Prinzip des FMCW-Radars, welche aufweist
- einen Radarsendepfad, der einen Frequenzgenerator (300) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 15 umfasst und dazu ausgelegt ist, ein Radarsendesignal zu erzeugen und auszusenden,
- einen Radarempfangspfad, der dazu ausgelegt ist, ein an mindestens einem Zielobjekt (902) zurückreflektiertes Radarsendesignal zu empfangen und auszuwerten.

17. Radarmessvorrichtung nach Anspruch 16, gekennzeichnet durch mindestens eines von folgenden:
- bei der Radarmessvorrichtung handelt es sich um ein Entfernungsmessgerät;
- bei der Radarmessvorrichtung handelt es sich um ein Füllstandsmessgerät;

- bei der Radarmessvorrichtung handelt es sich um ein Feldgerät für die Prozessautomatisierungstechnik;
- bei der Radarmessvorrichtung handelt es sich um ein Feldgerät zur Messung des Füllstands.

18. Verfahren zur Erzeugung einer kontinuierlich in der Frequenz ansteigenden Frequenzrampe (412, 605, 700), welches aufweist:
- Erzeugen eines Frequenzsignals (305), das eine Abfolge von mehreren aufeinanderfolgenden ansteigenden und abfallenden Teilrampen (401-404, 601-604) umfasst,
- Hochmischen der Teilrampen (401-404, 601-604) des Frequenzsignals (305) mit auf die jeweiligen Teilrampen abgestimmten Hochsetzfrequenzsignalen (311),
- bei einer abfallenden Teilrampe (401, 403, 601, 603), Auswählen der im unteren Seitenband des hochgemischten Signals enthaltenen hochgemischten Teilrampe (408, 410) und bei einer ansteigenden Teilrampe (402, 404, 602, 604), Auswählen der im oberen Seitenband des hochgemischten Signals enthaltenen hochgemischten Teilrampe (409, 411),
- Zusammensetzen der so erhaltenen hochgemischten Teilrampen (408-411) zu einer kontinuierlich in der Frequenz ansteigenden Frequenzrampe (412, 605, 700), wobei die Hochsetzfrequenzsignale (311) so gewählt sind, dass sich die hochgemischten Teilrampen (408-411) zu der kontinuierlich in der Frequenz ansteigenden Frequenzrampe (412, 605, 700) ergänzen.

19. Frequenzgenerator zur Erzeugung einer kontinuierlich in der Frequenz abfallenden Frequenzrampe, welcher aufweist:
- einen Frequenzrampengenerator, der dazu ausgelegt ist, ein Frequenzsignal zu erzeugen, das eine Abfolge von mehreren aufeinanderfolgenden abfallenden und ansteigenden Teilrampen umfasst,
- einen Hochsetzfrequenzgenerator zur Erzeugung einer Mehrzahl von unterschiedlichen Hochsetzfrequenzsignalen,
- einen Mischer, der dazu ausgelegt ist, die Teilrampen des Frequenzsignals mit auf die jeweilige Teilrampe abgestimmten Hochsetzfrequenzsignalen hochzumischen,
wobei bei einer abfallenden Teilrampe das obere Seitenband des so erhaltenen hochgemischten Signals eine hochgemischte abfallende Teilrampe liefert,
wobei bei einer ansteigenden Teilrampe das untere Seitenband des so erhaltenen hochgemischten Signals eine hochgemischte abfallende Teilrampe liefert, und

- wobei der Frequenzgenerator dazu ausgelegt ist, die so erhaltenen hochgemischten abfallenden Teilrampen zu einer kontinuierlich in der Frequenz abfallenden Frequenzrampe zusammenzusetzen, wobei die Hochsetzfrequenzsignale für die verschiedenen Teilrampen so gewählt sind, dass sich die hochgemischten abfallenden Teilrampen zu der kontinuierlich in der Frequenz abfallenden Frequenzrampe ergänzen.

20. Verfahren zur Erzeugung einer kontinuierlich in der Frequenz abfallenden Frequenzrampe, welches aufweist:
- Erzeugen eines Frequenzsignals, das eine Abfolge von mehreren aufeinanderfolgenden ansteigenden und abfallenden Teilrampen umfasst,
- Hochmischen der Teilrampen des Frequenzsignals mit auf die jeweiligen Teilrampen abgestimmten Hochsetzfrequenzsignalen,
- bei einer abfallenden Teilrampe, Auswählen der im oberen Seitenband des hochgemischten Signals enthaltenen hochgemischten Teilrampe und bei einer ansteigenden Teilrampe, Auswählen der im unteren Seitenband des hochgemischten Signals enthaltenen hochgemischten Teilrampe,
- Zusammensetzen der so erhaltenen hochgemischten Teilrampen zu einer kontinuierlich in der Frequenz abfallenden Frequenzrampe, wobei die Hochsetzfrequenzsignale so gewählt sind, dass sich die hochgemischten Teilrampen zu der kontinuierlich in der Frequenz abfallenden Frequenzrampe ergänzen.

Fig.1

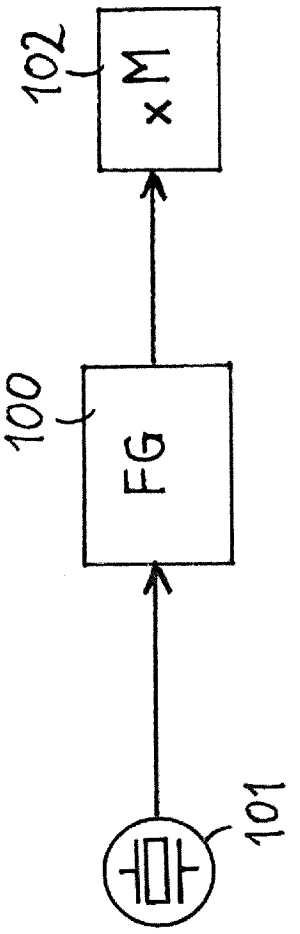
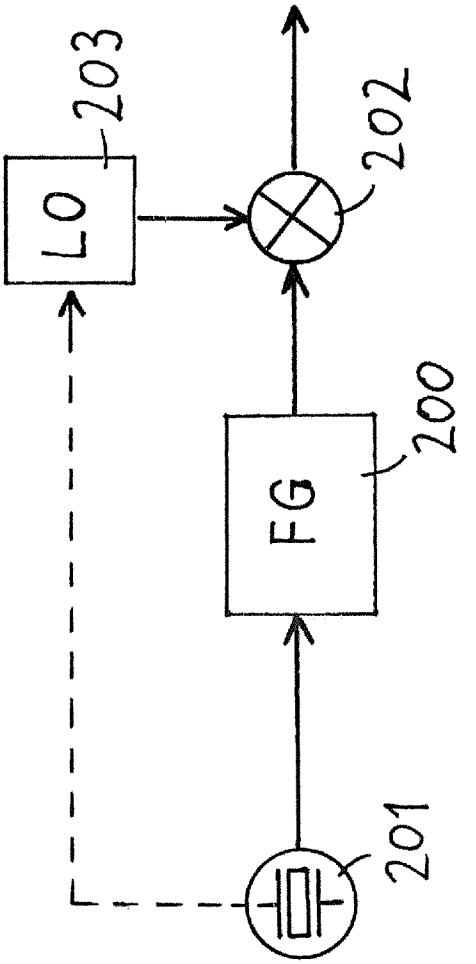


Fig.2



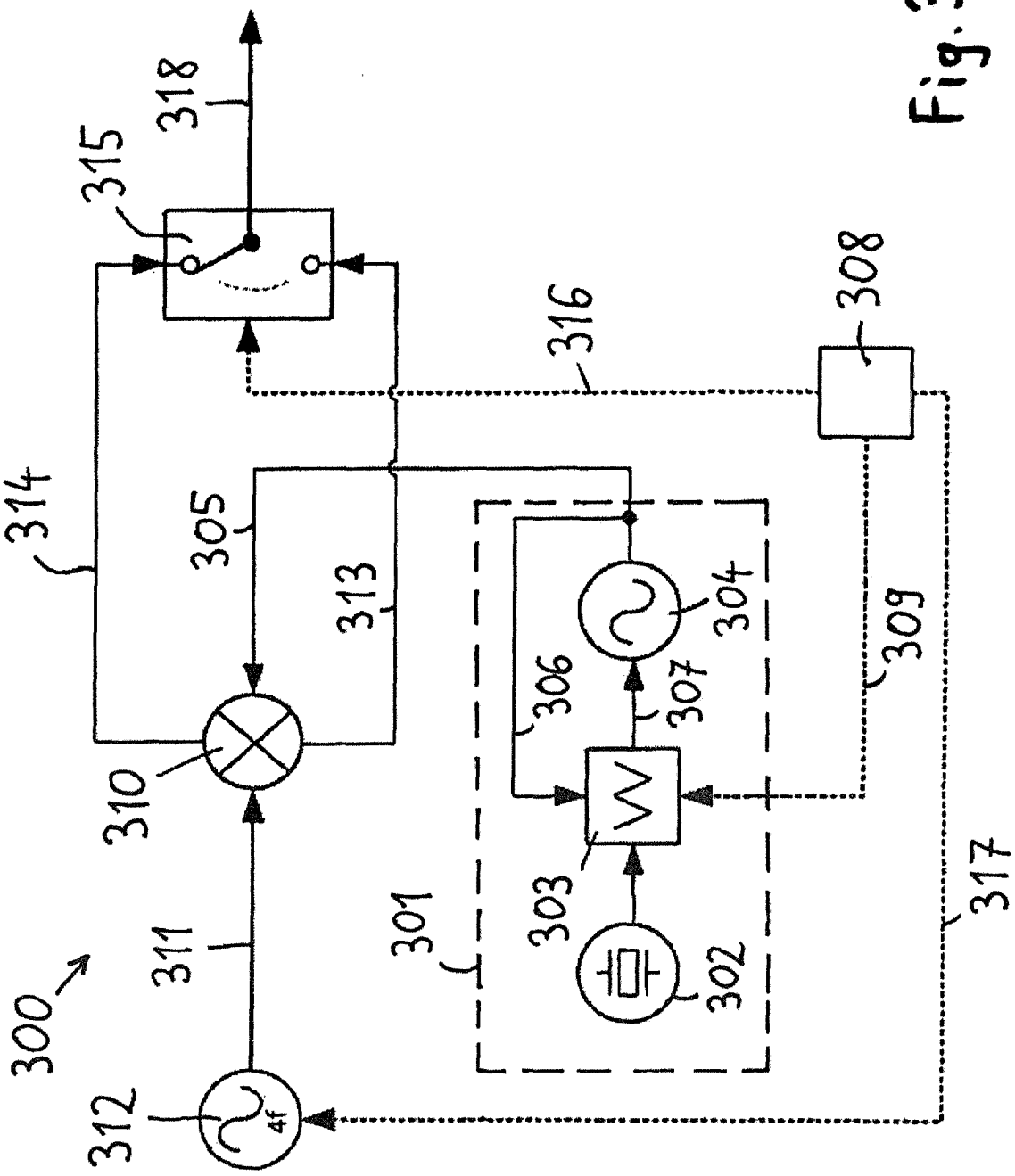

300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
4f

Fig. 3

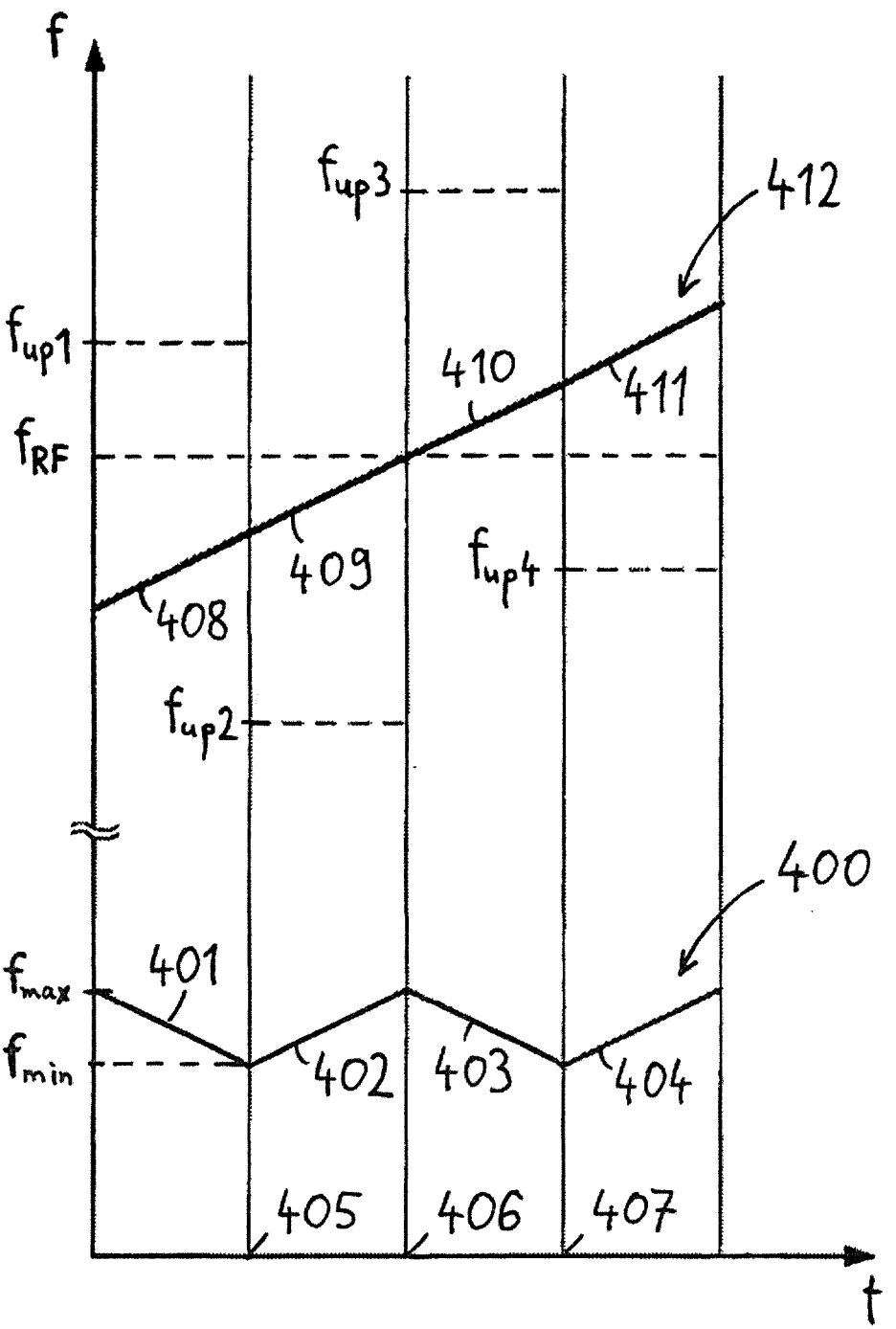

f
t
f_{up3}
412
f_{up1}
410
411
f_{RF}
409
f_{up4}
408
f_{up2}
400
401
f_{max}
f_{min}
402
403
404
405
406
407

Fig. 4

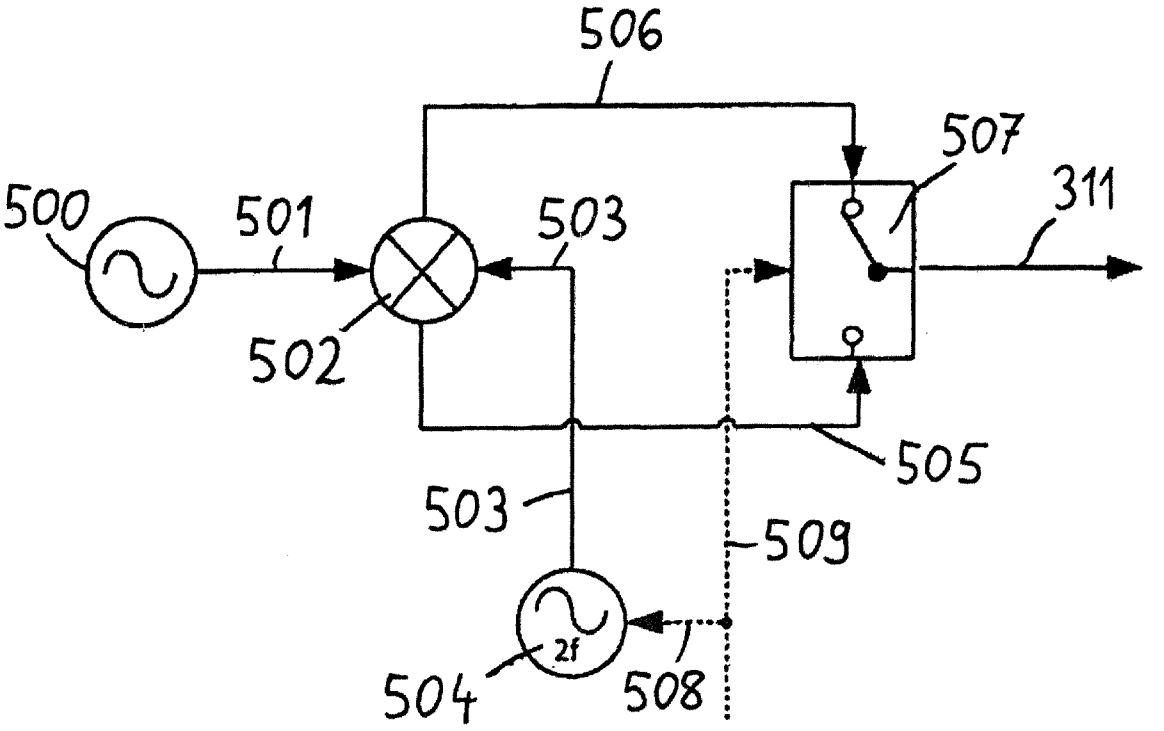

506
507
500
501
503
311
502
505
503
509
2f
504
508

Fig. 5A

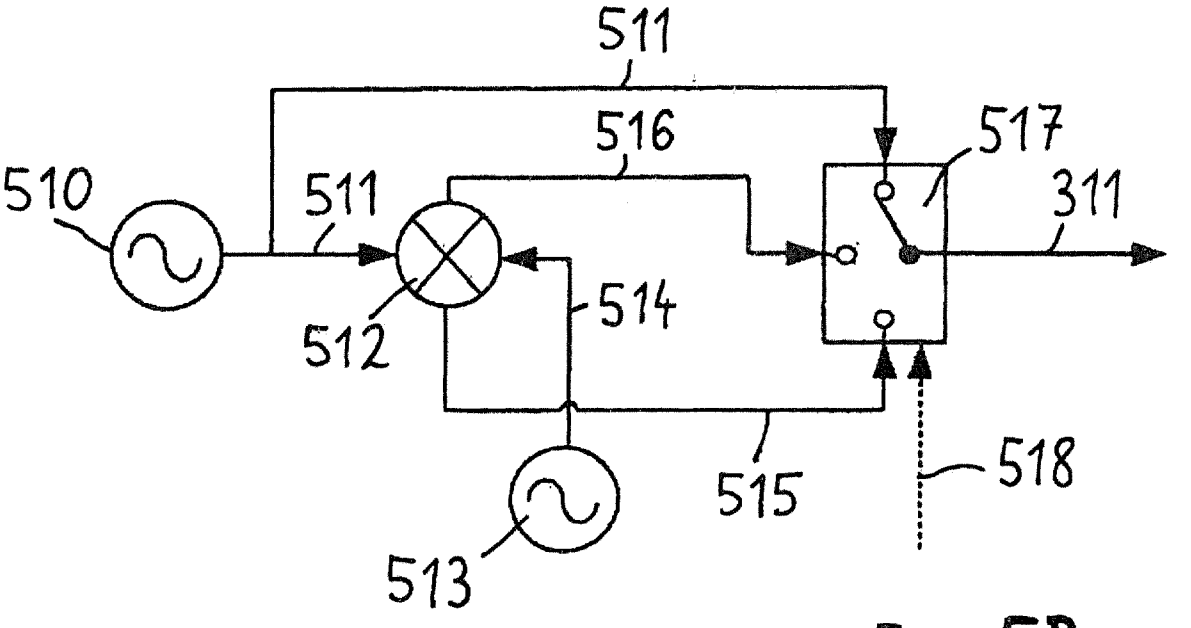

511
516
517
510
511
311
514
512
515
518
513

Fig. 5B

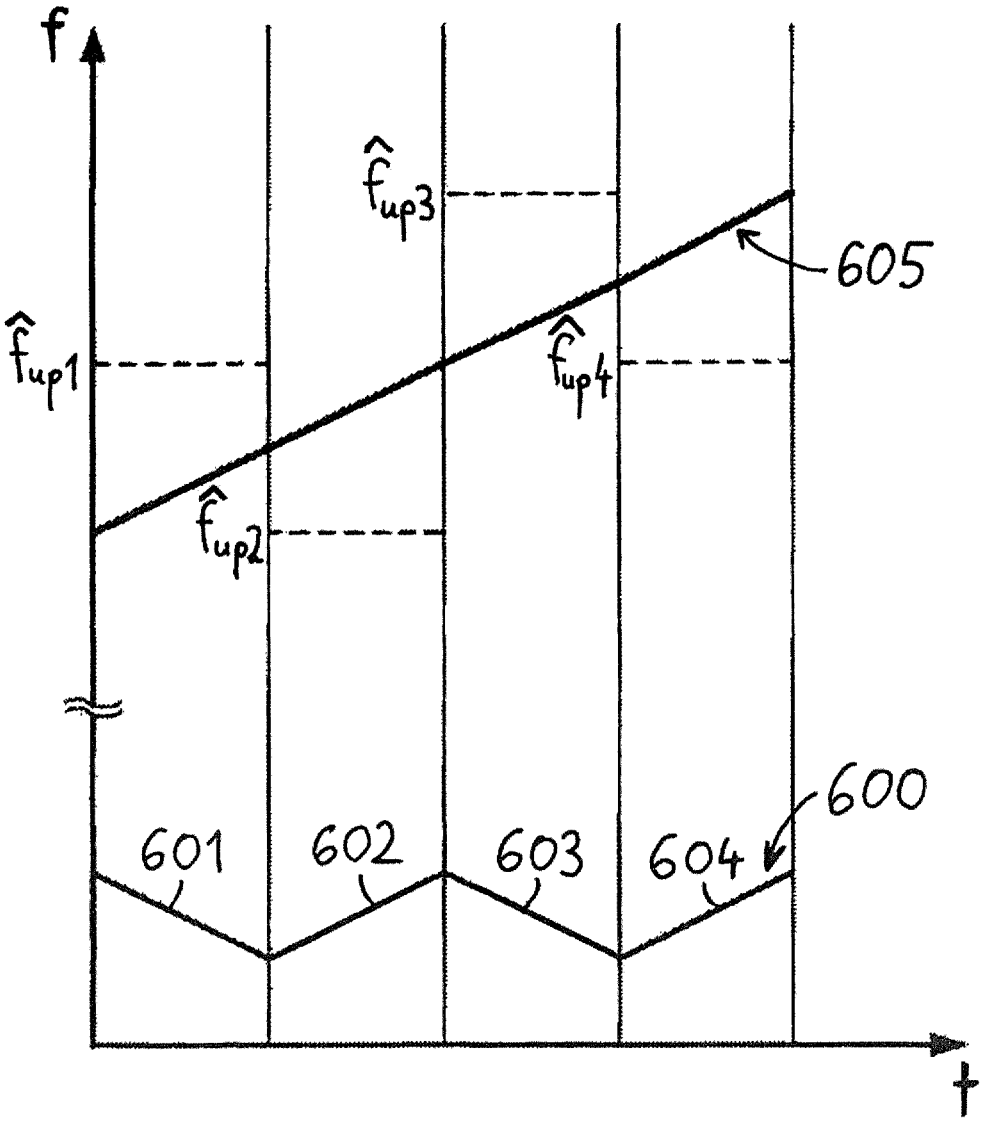


Fig. 6

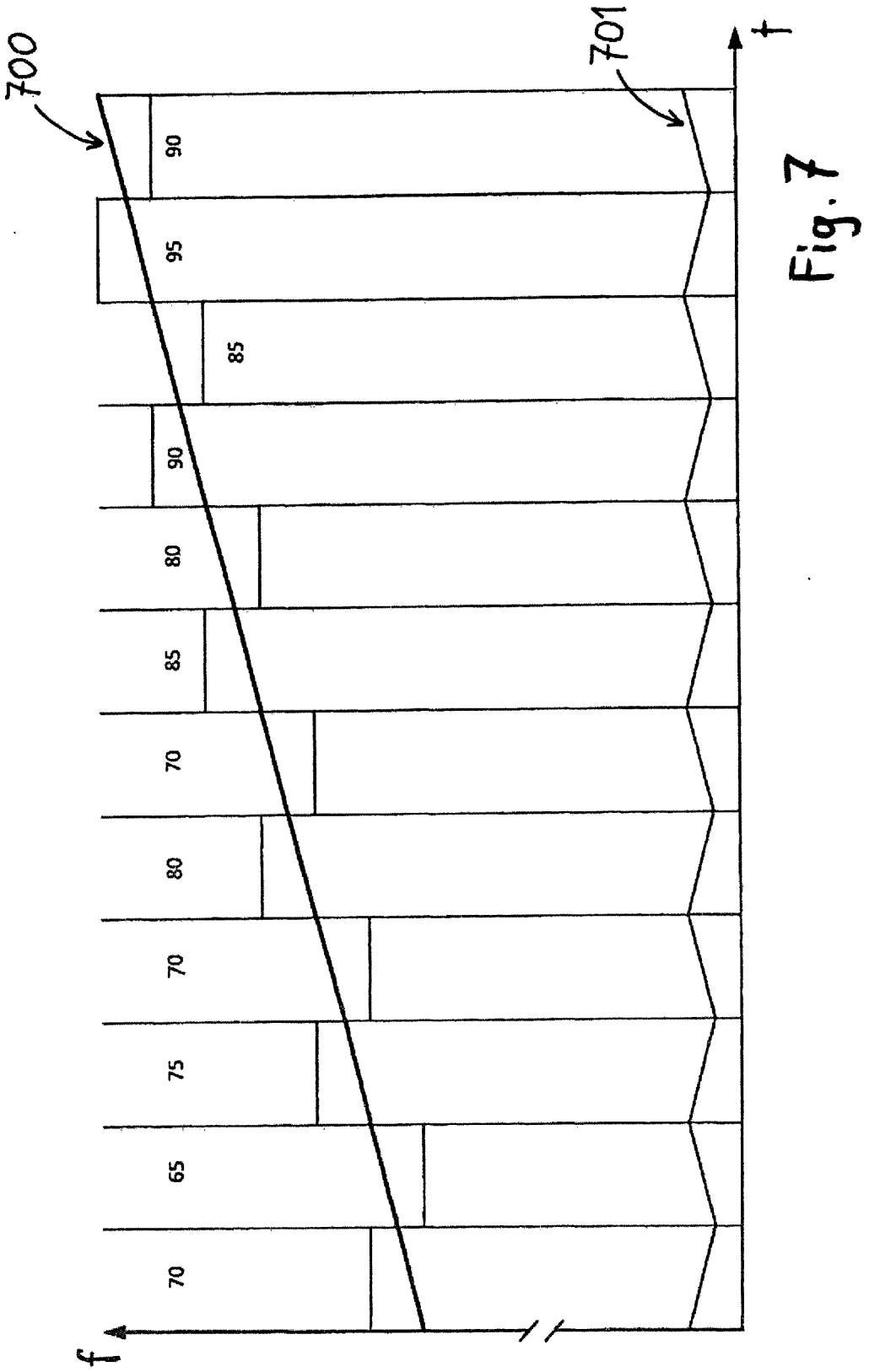


Fig. 7

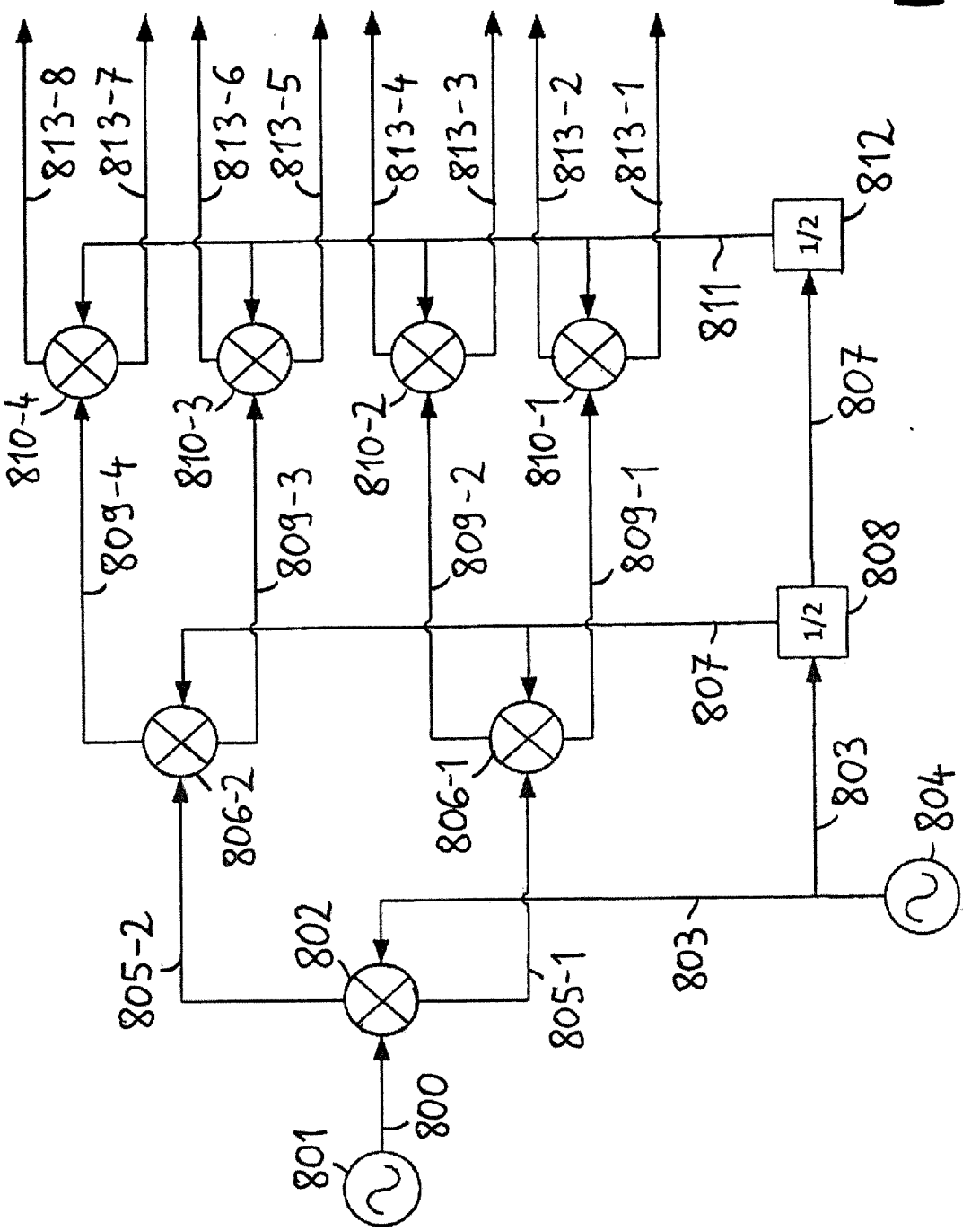

801
800
802
805-2
805-1
806-2
806-1
803
804
807
808
811
812
1/2
1/2
809-4
809-3
809-2
809-1
810-4
810-3
810-2
810-1
813-8
813-7
813-6
813-5
813-4
813-3
813-2
813-1

Fig. 8

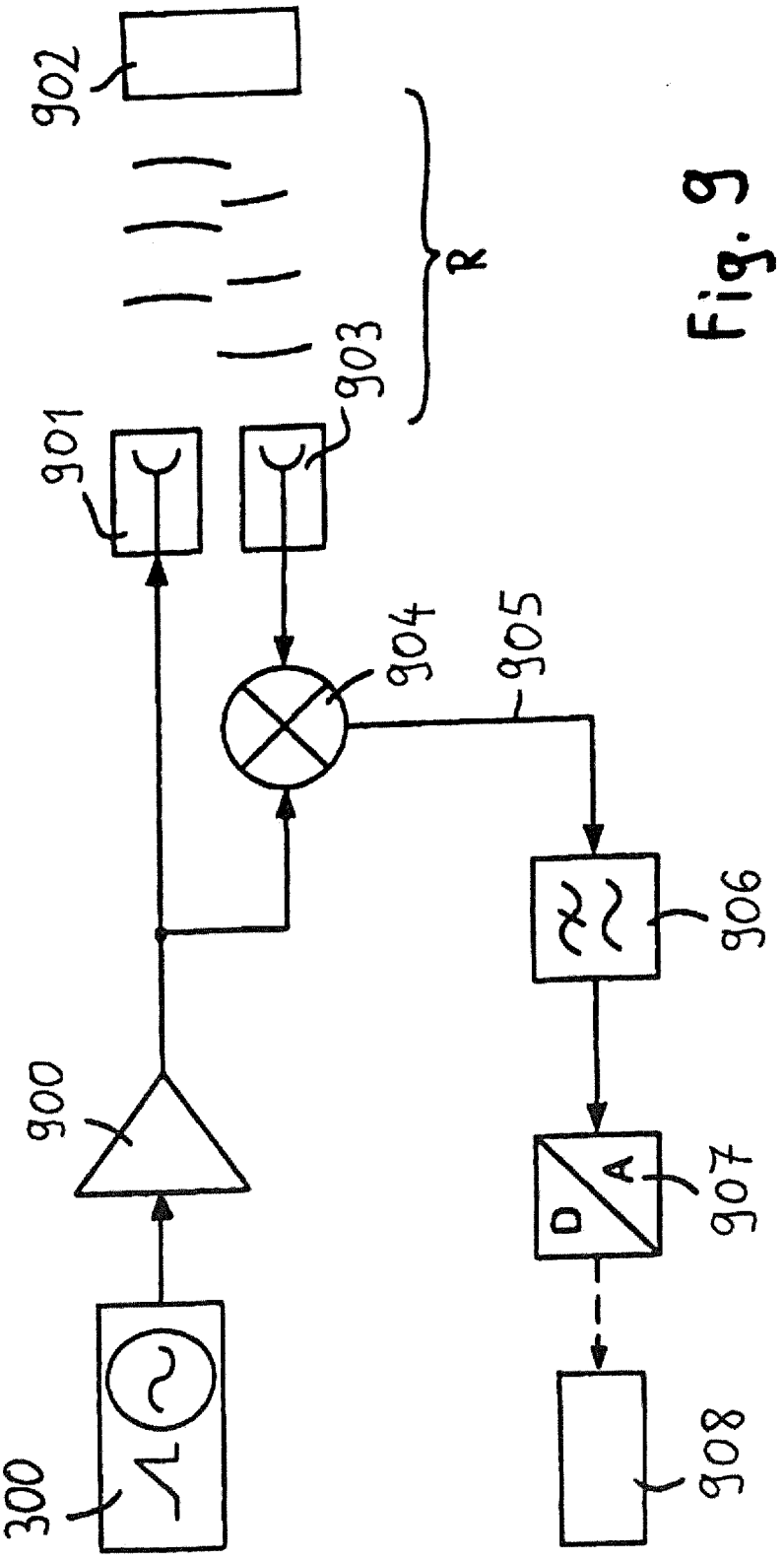


Fig. 9

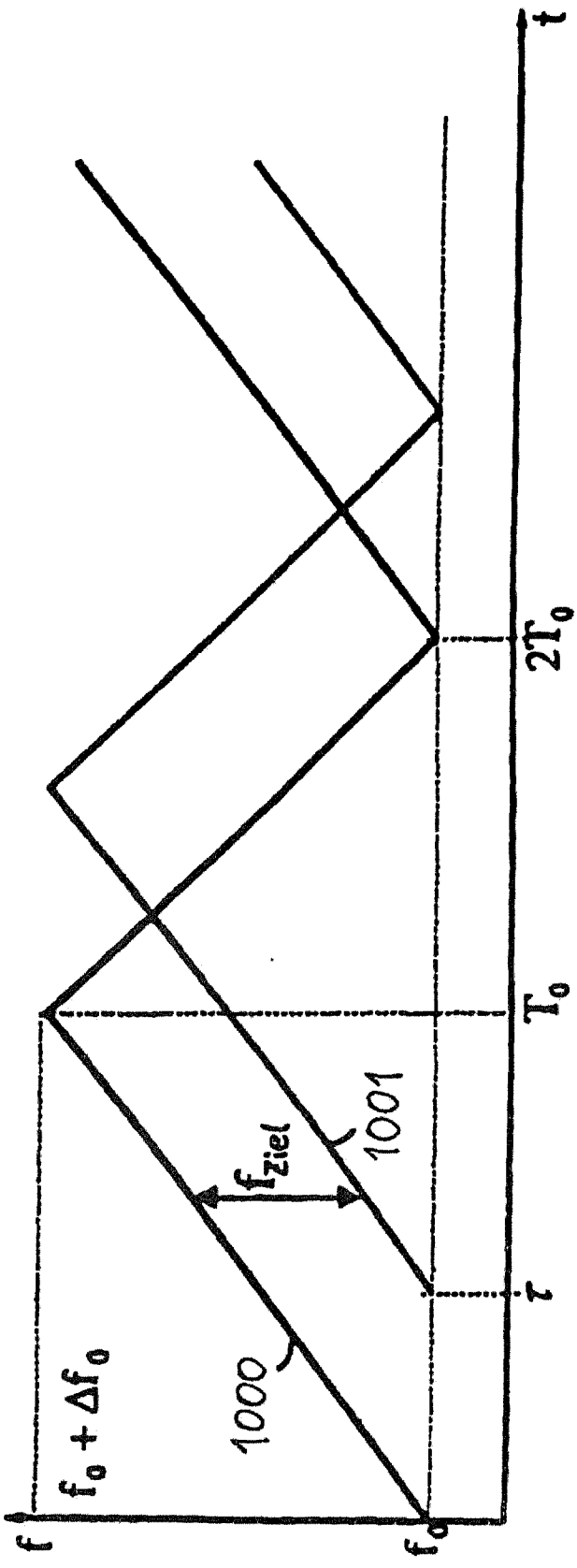


Fig. 10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2016/061553

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01S7/35 G01S13/34 H03B23/00
ADD. G01F23/284

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 H03B H04B

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, WPI Data, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 777 574 A (ROBINSON JOHN P [US]) 7 July 1998 (1998-07-07) column 3, line 39 - column 5, line 45 column 7, line 1 - column 7, line 44; figures 12,3,7,8, 9	1-20
A	US 5 428 361 A (HIGHTOWER CHARLES H [US] ET AL) 27 June 1995 (1995-06-27) abstract figure 1	1-20
A	JP H11 150421 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP) 2 June 1999 (1999-06-02) abstract	1-20

☐ 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	Date of mailing of the international search report
21 July 2016	29/07/2016

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

1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2016/061553

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5777574 A	07-07-1998	NONE	
US 5428361 A	27-06-1995	NONE	
JP H11150421 A	02-06-1999	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2016/061553

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G01S7/35 G01S13/34 H03B23/00
ADD. G01F23/284

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
G01S H03B H04B

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, WPI Data, INSPEC

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 5 777 574 A (ROBINSON JOHN P [US]) 7. Juli 1998 (1998-07-07) Spalte 3, Zeile 39 - Spalte 5, Zeile 45 Spalte 7, Zeile 1 - Spalte 7, Zeile 44; Abbildungen 12,3,7,8, 9	1-20
A	US 5 428 361 A (HIGHTOWER CHARLES H [US] ET AL) 27. Juni 1995 (1995-06-27) Zusammenfassung Abbildung 1	1-20
A	JP H11 150421 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP) 2. Juni 1999 (1999-06-02) Zusammenfassung	1-20

☐ 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	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
21. Juli 2016	29/07/2016

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Köppe, Maro

1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2016/061553

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5777574 A	07-07-1998	KEINE	
US 5428361 A	27-06-1995	KEINE	
JP H11150421 A	02-06-1999	KEINE	