



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 602 03 111 T2 2006.04.06**

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 395 841 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **602 03 111.7**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US02/15710**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **02 734 464.7**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 02/101403**

(86) PCT-Anmeldetag: **15.05.2002**

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: **19.12.2002**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **10.03.2004**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **02.03.2005**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **06.04.2006**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G01R 31/28 (2006.01)**  
**G01R 29/26 (2006.01)**

(30) Unionspriorität:

**879421 12.06.2001 US**

(73) Patentinhaber:

**Teradyne Inc., Boston, Mass., US**

(74) Vertreter:

**derzeit kein Vertreter bestellt**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,  
LI, LU, MC, NL, PT, SE, TR**

(72) Erfinder:

**CUDDY, M., Bernard, Cambridge, US**

(54) Bezeichnung: **HOCHFREQUENZKÄMME FÜR DIE ABSTIMMUNGSDRIFTREDUZIERENDE SCHLEIFE VERWEN-  
DENDER, RAUSCHARMER MIKROWELLENSYNTHEISIZER**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

**Beschreibung**

## BEREICH DER ERFINDUNG

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft Prüfautomaten für Elektronik (ATE) und insbesondere die Synthese von geräuscharmen Hochfrequenzwellenformen zum Prüfen von Mikrowellen- und RF-Schaltkomplexen.

## HINTERGRUND DER ERFINDUNG

**[0002]** Signifikante Verbesserungen der Genauigkeit von Hochfrequenzgeräten, die in Konsumgütern wie Zellulartelefonen, Funkrufgeräten und drahtlosen Personal Data Assistants (PDAs) verwendet werden, brachten Bedarf an genaueren Prüfungen dieser Geräte hervor. ATE-Systeme beinhalten im Allgemeinen einen oder mehrere Mikrowellen-Synthesizer zum Prüfen von Mikrowellengeräten. In einem typischen Prüfzenario legt ein Mikrowellen-Synthesizer in dem Prüfgerät ein Signal direkt an den Prüfling (DUT) an. Der DUT erzeugt eine Antwort, die das Prüfgerät misst und testet. In einem anderen Prüfzenario empfängt ein Prüfgerät ein Mikrowellensignal (z.B. 900 MHz) von einem Prüfling (DUT). Das Prüfgerät mischt dieses Signal mit dem Ausgang von einem seiner Mikrowellen-Synthesizer, um ein Zwischenfrequenzsignal (z.B. 10 MHz) zu erzeugen. Das Prüfgerät tastet dann das Zwischenfrequenzsignal ab, um seine Kenndaten zu ermitteln. Wenn die Kenndaten innerhalb vorbestimmter Grenzen liegen, dann ist der Test erfolgreich, ansonsten ist er erfolglos.

**[0003]** Eine übliche Prüftechnik besteht darin, ein Leistungsspektrum des von dem Prüfling abgeleiteten Zwischenfrequenzsignals zu errechnen. Ein Leistungsspektrum gibt bedeutende Informationen über den DUT sowie über Phasenrauschen. Um das Phasenrauschen des Prüflings genau zu prüfen, ist es wesentlich, dass das Phasenrauschen des Synthesizers im Vergleich zu dem des Prüflings klein ist. Wenn das Phasenrauschen des Synthesizers im Vergleich zu dem des Prüflings groß ist, dann geht das Phasenrauschen des DUT im Phasenrauschen des Synthesizers verloren, und es wird unmöglich zu ermitteln, ob der DUT seine Phasenrauschspezifikation erfüllt oder nicht. Da Geräte ständig verbessert werden, so dass sie immer weniger Phasenrauschen erzeugen, müssen auch Mikrowellen-Synthesizer entsprechend verbessert werden, wenn die Prüfung genau bleiben soll.

**[0004]** Das Dokument US3049674 beschreibt einen Frequenz-Synthesizer, der wenigstens eine Frequenzdrift-gelöschte Schleife verwendet.

**[0005]** [Fig. 1](#) illustriert einen herkömmlichen Mikrowellen-Synthesizer **100**, der wie folgt arbeitet. Ein Schmalbandsynthesizer **112** erzeugt ein Ausgangssignal, das über einen relativ engen Bereich, z.B. einen Bereich von 200 MHz zwischen 800 MHz und 1 GHz, variiert werden kann. Gleichzeitig erzeugt ein Breitbandsynthesizer **122** ein Ausgangssignal, das über einen relativ breiten Frequenzbereich, z.B. einen 2-GHz-Bereich zwischen 4,4 GHz und 6,2 GHz, variiert werden kann. Gleichzeitig erzeugt ein Kammgenerator **116** eine Reihe von harmonisch beabstandeten Tönen oder „Kämmen“, z.B. mit einem Tonabstand von 200 MHz. Der Ausgang des Schmalbandsynthesizers **112**, des Breitbandsynthesizers **114** und des Kammgenerators **116** werden jeweils in einen Schmalbandeingang **152**, einen Breitbandeingang **154** und einen Kammeingang **156** einer Driftlöschschleife **150** gespeist.

**[0006]** In der Driftlöschschleife **150** unterteilt ein Leistungsteiler **130** den Ausgang des Breitbandsynthesizers **122** in einen ersten und einen zweiten Schaltungspfad. Verstärker **132** und **134** verstärken die Signalpegel entlang den jeweiligen Pfaden. Ein erster Mischer **138** kombiniert den Ausgang des Verstärkers **132** mit dem Ausgang des Kammgenerators **116**, um ein anderes Paar von Summen- und Differenztönen für jeden von dem Kammgenerator **116** erzeugten Ton zu erzeugen. Indem die Frequenz des Breitbandsynthesizers **122** geeignet abgestimmt wird, kann einer der Summen- oder Differenztöne von dem Mischer **138** gleich einer Zielfrequenz  $F_k$  gemacht werden. Für den normalen Betrieb werden die Eingänge der Driftlöschschleife **150** immer so eingestellt, dass ein Ton am Ausgang des Mixers **138** entsteht, der gleich  $F_k$  ist.

**[0007]** Ein erstes Bandpassfilter **142** filtert den Ausgang des Mixers **138**. Das erste Bandpassfilter **142** hat eine Mittenfrequenz bei  $F_k$  und eine geringe Bandbreite, um nur das Mischprodukt bei  $F_k$  durchzulassen und alle anderen Frequenzkomponenten im Wesentlichen zu sperren. Der Ausgang des ersten Bandpassfilters **142** wird zu einem zweiten Mischer **146** durchgelassen, der den Ausgang des ersten Bandpassfilters **142** mit dem Ausgang des Schmalbandsynthesizers **112** kombiniert, so dass ein weiteres Paar Summen- und Differenztöne entsteht. Diese Summen- und Differenztöne werden zu einem zweiten Bandpassfilter **144** durchgelassen, das den Summenton im Allgemein sperrt und den Differenzton zu seinem Ausgang durchlässt.

**[0008]** Der durchgelassene Ton wird zu einem dritten Mischer **140** geleitet. Der dritte Mischer **140** kombiniert den durchgelassenen Ton mit dem Ausgang des Verstärkers **134**, um noch ein weiteres Paar Summen- und Differenztöne zu erzeugen. Ein Tiefpassfilter **148** sperrt den Summenton und lässt den Differenzton zum Ausgang des Synthesizers **100** durch. Der Ausgang kann mit zusätzlichen Stufen (nicht dargestellt) gekoppelt werden, um die Frequenz selektiv zu vervielfachen und die Amplitude des Ausgangssignals zu justieren.

**[0009]** Die Ausgangsfrequenz des Synthesizers **100** kann auf zwei Weisen justiert werden. Zunächst kann der Breitbandsynthesizer **122** so justiert werden, dass die Gesamtausgangsfrequenz in großen Inkrementen variiert wird. Zweitens kann der Schmalbandsynthesizer **112** so justiert werden, dass die Gesamtausgangsfrequenz in kleinen Inkrementen variiert wird. Der Schmalbandsynthesizer **112** arbeitet im Allgemeinen über eine direkte digitale Synthese (DDS), um einen nahezu kontinuierlichen Bereich von Ausgangsfrequenzen zu erzeugen. Der Frequenzbereich des Schmalbandsynthesizers **112** ist vorzugsweise gleich oder größer als der Abstand von vom Kammgenerator **116** erzeugten aufeinander folgenden Kämmen, damit der Schmalbandsynthesizer zwischen benachbarten Kämmen völlig abstimmen kann. Bei dieser Anordnung bewirkt der Breitbandsynthesizer **122** grobe Frequenzänderungen, während der Schmalbandsynthesizer **112** feine Frequenzänderungen bewirkt. Die Kombination lässt es zu, dass die Frequenz des Synthesizers **100** über einen breiten Bereich mit hoher Präzision eingestellt wird.

**[0010]** Der Breitbandsynthesizer **122** neigt bekanntlich dazu, signifikantes Phasenrauschen zu erzeugen. Dieses Phasenrauschen wird jedoch durch die Wirkung der Driftlöschschleife **150** stark reduziert. Aufgrund der Summier- und Differenzierwirkungen der Mischer **138**, **140** und **146** wird veranlasst, dass die Frequenz des Breitbandsynthesizers **122** vom Ausgang des Synthesizers **100** gelöscht wird. Zusammen mit der Frequenz des Breitbandsynthesizers **122** wird auch ein großer Teil seines Phasenrauschens gelöscht.

**[0011]** In komplexer ausgearbeiteten Implementationen wird eine Verzögerungsschaltung **136** zwischen den zweiten Verstärker **134** und den dritten Mischer **140** geschaltet. Die Verzögerungsschaltung **136** bewirkt, dass die Eingänge des dritten Mischers **140** Signale übertragen, die den Ausgang des Breitbandsynthesizers **122** zu entsprechenden Zeitpunkten repräsentieren. Indem das entlang dem zweiten Schaltungspfad übertragene Signal so verzögert wird, dass es mit der Verzögerung übereinstimmt, die durch das Signal entlang dem ersten Schaltungspfad auftritt, wird ein großer Teil des Phasenrauschens dadurch gelöscht, dass entsprechende Phasenstörungen erzeugt werden, die beiden Eingängen des Mischers **140** gemeinsam sind. Da das Tiefpassfilter **148** nur die Differenz von vom Mischer **140** erzeugten Eingangsfrequenzen durchlässt, wird Rauschen, das beiden Eingängen des Mischers **140** gemeinsam ist, gelöscht.

**[0012]** Selbst mit der Addition der Verzögerungsschaltung **136** sperrt der Synthesizer **100** einen Teil des Phasenrauschens des Breitbandsynthesizers **122** immer noch nicht. Niederfrequentes oder nahes („close-in“) Phasenrauschen (weniger als 1 MHz Versatz) des Breitbandsynthesizers wird weitgehend gelöscht, während hochfrequentes, fernes („far-out“) Phasenrauschen (über 1 MHz Versatz) im Allgemeinen nicht gelöscht wird. In Implementationen, die das Phasenrauschen des Schmalbandsynthesizers **112** und des Kammgenerators **116** eng regulieren, neigt das gesamte ferne Phasenrauschen des Mikrowellen-Synthesizers **100** dazu, vom unreduzierten fernen Phasenrauschen des Breitbandsynthesizers **122** dominiert zu werden.

#### ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

**[0013]** Im Hinblick auf den obigen Hintergrund ist es eine Aufgabe der Erfindung, das ferne Phasenrauschen von Signalen zu reduzieren, die von Mikrowellen-Synthesizern in Prüfautomaten erzeugt werden.

**[0014]** Die obige Aufgabe sowie weitere Aufgaben und Vorteile werden gemäß den Ansprüchen 1, 10, 14 und 17 gelöst. Ein Mikrowellen-Synthesizer gemäß der Erfindung beinhaltet eine Driftlöschschleife mit einem Schmalbandeingang, einem Niederfrequenz-Kammeingang, einem Breitbandeingang und einem Ausgang zum Erzeugen eines frequenzjustierbaren Ausgangssignals. Ein Schmalbandsynthesizer ist mit dem Schmalbandeingang gekoppelt, und ein Kammgenerator ist mit dem Niederfrequenz-Kammeingang gekoppelt. Anstatt einen Breitbandsynthesizer zum Ansteuern des Breitbandeingangs zu verwenden, wie dies bei herkömmlichen Topologien der Fall ist, wird in der vorliegenden Erfindung ein geräuscharmer Hochfrequenzoszillator eingesetzt. Der Ausgang des Oszillators wird mit dem Ausgang des Kammgenerators gemischt, um geräuscharme Hochfrequenzkämme zu erzeugen. Die geräuscharmen Hochfrequenzkämme werden dann zum Ansteuern des Breitbandeingangs der Driftlöschschleife verwendet. Durch Austauschen des Breitbandsynthesizers gegen Hochfrequenzkämme kann das ferne Phasenrauschen des Synthesizers im Vergleich zu herkömmlichen Designs erheblich reduziert werden.

## KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0015] Weitere Aufgaben, Vorteile und neuartige Merkmale der Erfindung gehen aus einem Studium der nachfolgenden Beschreibung und Zeichnungen hervor. Dabei zeigt:

[0016] [Fig. 1](#) ein vereinfachtes Blockdiagramm eines herkömmlichen Mikrowellen-Synthesizers, der eine Driftlöschschleife verwendet;

[0017] [Fig. 2](#) ein vereinfachtes Blockdiagramm eines Mikrowellen-Synthesizers gemäß der Erfindung;

[0018] [Fig. 3](#) ein vereinfachtes Blockdiagramm eines Kammgenerators, der in Verbindung mit dem Synthesizer von [Fig. 2](#) verwendet wird;

[0019] [Fig. 4](#) ein vereinfachtes Blockdiagramm einer Filterbank zum Auswählen aus den Niederfrequenzkämmen im Synthesizer von [Fig. 2](#); und

[0020] [Fig. 5](#) ein vereinfachtes Blockdiagramm einer Filterbank zum Auswählen aus den Hochfrequenzkämmen im Synthesizer von [Fig. 2](#).

## AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSGESTALTUNG

## TOPOLOGIE UND BETRIEB

[0021] [Fig. 2](#) illustriert eine Ausgestaltung eines Mikrowellen-Synthesizers **200** gemäß der Erfindung. Der Mikrowellen-Synthesizer **200** ist dem Mikrowellen-Synthesizer **100** von [Fig. 1](#) in vielerlei Hinsicht ähnlich. Zum Beispiel beinhaltet der Mikrowellen-Synthesizer **200** eine Driftlöschschleife **250**, einen Schmalband-Synthesizer **212**, einen Kammgenerator **216** und ein Tiefpassfilter **248**, die jeweils zu den Strukturen **150**, **112**, **116** und **148** von [Fig. 1](#) analog sind. Darüber hinaus hat die Driftlöschschleife **250** einen Schmalbandeingang **252**, einen Breitbandeingang **254** und einen Kammeingang **256**, die jeweils Eingängen **152**, **154** und **156** der Driftlöschschleife **150** von [Fig. 1](#) entsprechen.

[0022] Trotz dieser Ähnlichkeiten unterscheidet sich der Mikrowellen-Synthesizer **200** in signifikanten Aspekten vom Synthesizer **100**. Dies ist insbesondere in Bezug auf den Schaltkomplex zum Ansteuern des Breitbandeingangs **254** der Fall. Wie oben beschrieben, haben herkömmliche Driftlöschschleifen einen Breitband-synthesizer, der aus einem Phasenregelkreis besteht, um den Breitbandeingang der Driftlöschschleife anzusteuern. Der Phasenregelkreis beinhaltet im Allgemeinen einen VCO oder YIG-(Yttrium-Eisen-Granat)Oszillator. In der Ausgestaltung von [Fig. 2](#) wird der Breitbandeingang **254** der Driftlöschschleife jedoch von einem Mischprodukt aus Kammgenerator **216** und Oszillator **222** angesteuert.

[0023] Der Oszillator **222** erzeugt einen geräuscharmen Hochfrequenzton bei  $F_o$ . Ein Mischer **226** kombiniert diesen geräuscharmen Ton mit einem der Kämmen  $F_{sc}$  vom Kammgenerator **216** (über eine erste Filterbank **218** und einen Leistungsteiler **220**), um ein Paar Summen- und Differenzöne bei  $F_o \pm F_{sc}$  zu erzeugen.

[0024] Eine zweite Filterbank **228** wählt einen dieser Töne, d.h.  $(F_o + F_{sc})$  oder  $(F_o - F_{sc})$  aus, um ihn zum Breitbandeingang **254** der Driftlöschschleife **250** zu leiten. Im Gegensatz zum herkömmlichen Design von [Fig. 1](#) beinhaltet der Synthesizer **200** vorzugsweise eine erste Filterbank **218** zum Wählen eines gewünschten Kamms von dem Kammgenerator **216** und zum Sperren aller anderen Kämmen. Die erste Filterbank **218** trägt dazu bei zu verhindern, dass unerwünschte Störsignale in die Driftlöschschleife **250** gelangen, und reduziert somit das Gesamttrauschen.

[0025] Immer wenn die erste Filterbank **218** einen anderen Niederfrequenzkamm wählt, wird ein anderes Summen- und Differenzpaar von Frequenzen an die zweite Filterbank **228** angelegt. In der bevorzugten Ausgestaltung erzeugt der geräuscharme Oszillator **222** einen einzelnen Ton  $F_o$  bei 5,2 GHz, und der Kammgenerator **216** erzeugt Kämmen bei 200 MHz, 400 MHz, 600 MHz, 800 MHz und 1 GHz. In Anbetracht dieser Eingänge kann eine der folgenden Frequenzen an den Breitbandeingang **254** der Driftlöschschleife **250** angelegt werden:

- 4,2 GHz, 4,4 GHz, 4,6 GHz, 4,8 GHz und 5,0 GHz (über Frequenzsubtraktion);
- 5,2 GHz (über Direktverbindung, die den Mischer **226** vermeidet); und
- 5,4 GHz, 5,6 GHz, 5,8 GHz, 6,0 GHz und 6,2 GHz (über Frequenzaddition).

**[0026]** Durch geeignetes Wählen von Niederfrequenzkämmen (LFCs) und Hochfrequenzkämmen (HFCs) kann der Mikrowellen-Synthesizer **200** eine Reihe verschiedener Frequenzbereiche annehmen. Durch Einstellen der Frequenz des Schmalband-Synthesizers **212** kann bewirkt werden, dass sich diese unterschiedlichen Bereiche kontinuierlich mischen.

**[0027]** Wenn der Schmalband-Synthesizer **212** Ausgangsfrequenzen im Bereich von 800 MHz bis 1 GHz erzeugt, kann der Mikrowellen-Synthesizer **200** Frequenzen erzeugen, die ständig im Bereich von DC bis 2 GHz liegen. Aus praktischen Gründen wird eine Frequenzuntergrenze bei 10 MHz festgelegt. Tabelle 1 unten fasst die Art und Weise zusammen, in der der Mikrowellen-Synthesizer **200** Tief- und Hochfrequenzkämmen zum Erzeugen von unterschiedlichen Frequenzbereichen wählt:

TABELLE 1

Gewählter LFC	Gewählter HFC	Ausgangsfrequenzbereich
800 MHz	4,4 GHz	10 MHz-200 MHz
600 MHz	4,6 GHz	200 MHz-400 MHz
400 MHz	4,8 GHz	400 MHz-600 MHz
200 MHz	5,0 GHz	600 MHz-800 MHz
Keiner (Bypass)	5,2 GHz (Direkt)	800 MHz-1 GHz
200 MHz	5,4 GHz	1 GHz-1,2 GHz
400 MHz	5,6 GHz	1,2 GHz-1,4 GHz
600 MHz	5,8 GHz	1,4 GHz-1,6 GHz
800 MHz	6,0 GHz	1,6 GHz-1,8 GHz
1 GHz	6,2 GHz	1,8 GHz-2 GHz

**[0028]** Um zu verstehen, wie diese Bereiche erzeugt werden, ist zu bemerken, dass die Ausgangsfrequenz des Synthesizers **200** die folgende Gleichung erfüllt:

$$F_{\text{OUT}} = \text{HFC} - 5,2 \text{ GHz} - \text{NBS},$$

wobei HFC die Frequenz des gewählten Hochfrequenzkamms und NBS die Frequenz des Schmalband-Synthesizers **212** ist.

**[0029]** Um einen 5,2 GHz Ton am Breitbandeingang **254** anzulegen, wird ein Schalter **224** aktiviert, um den Mischer **226** zu umgehen und den 5,2 GHz Ausgang des Oszillators **222** direkt zur zweiten Filterbank **228** zu senden. Die Filterbank **228** leitet diesen Ausgang direkt zum Breitbandeingang **254** (siehe [Fig. 5](#)). Wenn die zweite Filterbank **228** den 5,2 GHz Ton für die Passage zum Breitbandeingang **254** wählt, dann aktiviert die Driftlöschschleife **250** einen anderen Schalter **258**, um den ersten Mischer **238** zu umgehen und das 5,2 GHz Signal direkt zum ersten Bandpassfilter **242** zu senden. Unter diesen Umständen wird kein Mischen zum Erzeugen von  $F_{\text{K}}$  benötigt, weil das Signal am Breitbandeingang **254** bereits gleich  $F_{\text{K}}$  ist.

**[0030]** In der bevorzugten Ausgestaltung ist der Oszillator **222** ein dielektrischer Resonanzoszillator (DRO) wie z.B. das Modell P2579 von der General Microwave Corporation aus Farmingdale in NY. Er erzeugt eine feste Frequenz von 5,2 GHz und ist über einen engen Bereich abstimmbare, so dass er mit anderen Systemkomponenten synchronisiert werden kann. In der bevorzugten Ausgestaltung wird der DRO **222** mit einem 100 MHz thermogeregelten Kristalloszillator (OCXO) **214** wie dem PTI X05051-001 von Piezo Technology Inc. aus Orlando in FL synchronisiert. Der OCXO **214** wird wiederum mit der Systemreferenz **210** synchronisiert. Die Synchronisation erfolgt vorzugsweise mit äußerst schmalbandigen Phasenregelkreisen mit Frequenzteilern in ihrem Feedback, um eine Regelkreis-Frequenzmultiplikation zu erzeugen.

**[0031]** Durch Ersetzen des Breitbandsynthesizers **122** mit geräuscharmen Hochfrequenzkämmen wird ein fernes Phasenrauschen des Mikrowellen-Synthesizers **200** erheblich reduziert. Dabei ist jedoch dafür Sorge zu tragen, dass das geringe Rauschen über den gesamten Synthesizer **200** erhalten bleibt, damit die Vorzüge des geräuscharmen Designs im vollen Umfang erhalten werden.

[0032] **Fig. 3** zeigt ein ausführliches Blockdiagramm des Kammgenerators **216** von **Fig. 2**. Der Kammgenerator **216** empfängt den ultrageräuscharmen Ausgang des OCXO **214**. Ein Frequenzvervielfacher **312** vervielfacht das 100 MHz Signal vom OCXO zum Erzeugen einer 200-MHz-Referenz. Ein Verstärker **314** verstärkt die 200-MHz-Referenz und ein Bandpassfilter **316** filtert das verstärkte Signal. Ein weiterer Verstärker **318** verstärkt den Ausgang des Bandpassfilters **316**. Das Bandpassfilter **316** ist vorzugsweise ein Schmalbandkristallfilter zum Eliminieren von Rauschen jenseits des 10-KHz-Versatzes. Ein geeignetes Schmalbandkristallfilter ist von Piezo Technology, Inc. erhältlich. Ein Kammgeneratorgerät **320** ist mit dem Ausgang des Bandpassfilters **316** gekoppelt und erzeugt Käme in 200-MHz-Intervallen. Ein geeigneter Kammgenerator **320** ist der GG 7014039 von der Microsemi Corporation aus Irvine in CA. Ein Hochpassfilter **322** wird auf den Ausgang des Kammgenerators **320** angewendet, um die Amplituden der verschiedenen Käme abgleichen zu helfen, und ein Tiefpassfilter **324** wird auf den Ausgang des Kammgenerators **320** angewendet, um Filterkäme oberhalb von 1 GHz auszufiltern.

[0033] **Fig. 4** zeigt ein ausführliches Blockdiagramm der Filterbank **218** von **Fig. 2**. Die Filterbank **418** beinhaltet vorzugsweise einen Verstärker **410**, der die vom Kammgenerator **216** empfangenen Käme verstärkt. Die Filterbank beinhaltet fünf Bandpassfilter **420**, **422**, **424**, **426** und **428**. Die Bandpassfilter **420**, **422**, **424**, **426** und **428** haben Mittenfrequenzen, die unterschiedlichen Kämmen entsprechen, die vom Kammgenerator **216** erzeugt werden. Die Filterbank **218** wählt einen gewünschten Kamm vom Kammgenerator **216** durch Konfigurieren von einpoligen Umschaltern (SPDT) **412**, **414**, **416** und **418**. Die verstärkten Käme werden vom Verstärker **410** zu dem Bandpassfilter mit der Mittenfrequenz übertragen, die dem gewünschten Kamm entspricht. So schließen beispielsweise zum Wählen des 600-MHz-Kamms die SPDT-Schalter **416** und **418** auf eine solche Weise, dass der Ausgang des Verstärkers **410** mit dem Eingang des Bandpassfilters **424** verbunden wird. Das gewählte Bandpassfilter lässt den gewünschten Kamm durch und sperrt im Wesentlichen alle anderen Käme. Auf der Ausgangsseite der Bandpassfilter verbinden die SPDT-Schalter **432**, **434**, **436** und **438** das gewählte Bandpassfilter mit einem Verstärker **440**. Der Verstärker **440** verstärkt den gewählten Kamm und lässt den gewählten Kamm zum Ausgang der Filterbank **218** durch.

[0034] **Fig. 5** zeigt ein ausführliches Blockdiagramm der Filterbank **228** von **Fig. 2**. Im Gegensatz zur Filterbank **218**, die aus Niederfrequenzkämmen auswählt (d.h. 200 MHz bis 1 GHz in Inkrementen von 200 MHz), wählt die Filterbank **228** aus Mischprodukten des gewählten Niederfrequenzkamms und dem Oszillator **222** aus. Diese Mischprodukte sind frequenzmäßig weiter voneinander beabstandet als die Hochfrequenzkäme. Wenn beispielsweise der 1-GHz-Niederfrequenzkamm mit dem 5,2 GHz Oszillator gemischt wird, dann haben die nächstliegenden Mischprodukte einen Abstand von 2 GHz. Im Vergleich dazu sind benachbarte Niederfrequenzkäme nur 200 MHz voneinander entfernt. Daher brauchen nicht für jeden Hochfrequenzkamm andere Bandpassfilter bereitgestellt werden, um die nötige Filterung durchzuführen. Zu diesem Zweck beinhaltet die Filterbank **228** vier Bandpassfilter **514**, **516**, **518** und **520**. Bandpassfilter werden auf der Basis des gewünschten Hochfrequenzkamms gemäß der nachfolgenden Tabelle 2 ausgewählt:

TABELLE 2

Gewünschter HFC	Gewähltes Bandpassfilter
4,4 GHz	4,2 GHz-4,6 GHz (514)
4,6 GHz	4,2 GHz-4,6 GHz (514)
4,8 GHz	4,8 GHz-5,0 GHz (516)
5,0 GHz	4,8 GHz-5,0 GHz (516)
5,2 GHz (direkt)	KEINS
5,4 GHz	5,4 GHz-5,6 GHz (518)
5,6 GHz	5,4 GHz-5,6 GHz (518)
5,8 GHz	5,8 GHz-6,2 GHz (520)
6,0 GHz	5,8 GHz-6,2 GHz (520)
6,2 GHz	5,8 GHz-6,2 GHz (520)

## VORTEILE

[0035] Durch Ansteuern des Breitbandeingangs einer Driftlöschschleife mit einem Mischprodukt der Niederfrequenzkäme und einem stabilen Oszillator kann der resultierende Mikrowellen-Synthesizer äußerst gerin-

ges Phasenrauschen erzeugen. Der Synthesizer behält das niedrige Phasenrauschen selbst bei hohen Frequenzversätzen von der Trägerfrequenz bei, wo Driftlöschschleifen zum Reduzieren von Phasenrauschen nicht mehr nützlich sind.

**[0036]** Vorläufige Messungen eines Prototyps des Mikrowellen-Synthesizers **200** zeigen, dass ein Gesamtphasenrauschen nicht von dem am Breitbandeingang des Synthesizers anliegenden Signal dominiert wird, wie in herkömmlichen Designs, sondern von dem Signal am Schmalbandeingang. Experimente mit dem Ansteuern des Schmalbandeingangs mit einem DDS mit  $-155$  dBc/Hz Phasenrauschen bei 10 MHz Versatz brachten ein Gesamtphasenrauschen von nur  $-153$  dBc/Hz für den gesamten Synthesizer zutage. Im Vergleich dazu erzeugen Designs, die herkömmliche spannungsgesteuerte oder YIG-Oszillatoren zum Ansteuern des Breitbandeingangs verwenden, etwa  $-140$  bis  $-143$  dBc/Hz Phasenrauschen, wenigstens 10 dBc/Hz mehr Phasenrauschen als beim vorliegenden Design.

**[0037]** Der Mikrowellen-Synthesizer gemäß der Erfindung hat auch eine schnellere Einschwingzeit als herkömmliche Synthesizer. YIG-Oszillatoren haben Ansprechzeiten in der Größenordnung von Dutzenden von Millisekunden. Spannungsgesteuerte oder YIG-Oszillatoren, die innerhalb der Phasenregelkreise konfiguriert sind, haben Stabilitätsanforderungen, die auf Kosten der Geschwindigkeit gedeckt zu werden neigen. Im Gegensatz dazu können Hochfrequenzkämme in weniger als 10 Mikrosekunden umgeschaltet werden, was drei Größenordnungen schneller ist als die Einschwingzeit von YIG-Oszillatoren. Der Mikrowellen-Synthesizer gemäß der Erfindung kann daher Frequenzen sehr schnell wechseln. So kann der Synthesizer mit Geräten Schritt halten, die mit Frequenzsprüngen arbeiten, wie z.B. denen, die für die Bluetooth-Spezifikation entwickelt wurden. Bluetooth-Geräte ändern ihre Betriebsfrequenz mit einer Höchststrate von einmal alle 625 Mikrosekunden. Der Mikrowellen-Synthesizer gemäß der Erfindung kann diese Geräte daher bei ihren Frequenzsprüngen testen, und dies mit äußerst niedrigem Phasenrauschen.

**[0038]** Allgemeiner ausgedrückt, kürzere Prüfzeiten für ein Gerät bedeuten unmittelbar reduzierte Herstellungskosten. Ein weiterer Vorteil der Erfindung ist, dass es der Synthesizer gemäß der Erfindung durch Reduzieren der Umschaltzeit zulässt, dass Kunden Geräte zu geringeren Kosten erzeugen können.

#### IMPLEMENTATION

**[0039]** Der Mikrowellen-Synthesizer **200** hat vorzugsweise die Form eines Instruments, das in eine Rückwandplatine eines Prüfsystems eingesteckt wird. Das Prüfsystem beinhaltet einen Host-Computer, der über die Rückwandplatine kommuniziert und Prüfprogramme abarbeiten kann. Die Prüfprogramme beinhalten Befehle zum Steuern des Mikrowellen-Synthesizers **200**, z.B. Programmieren seiner Frequenz, Programmieren seiner Amplitude, Kalibrieren und Ablesen des Status. Der Ausgang des Synthesizers wird mit einem Prüfling direkt, über geeignete Verkabelung und Verbinder, oder über eine Hochfrequenz-Schaltmatrix verbunden.

**[0040]** Um in dieser Umgebung zu arbeiten, beinhaltet der Mikrowellen-Synthesizer **200** vorzugsweise eine digitale Steuerschaltung (nicht dargestellt). Die digitale Steuerschaltung empfängt High-Level-Befehle von einem Prüfprogramm und setzt diese Befehle in elektronische Signale zum Steuern der Aktivitäten des Synthesizers **200** um. Die digitale Steuerschaltung überwacht auch Aktivitäten in dem Synthesizer **200** und sendet Rückmeldungen zum Prüfprogramm.

**[0041]** Der Mikrowellen-Synthesizer **200** beinhaltet vorzugsweise einen herkömmlichen Ausgangsschaltkomplex (nicht dargestellt). Dieser beinhaltet Frequenzvervielfacher, um von der digitalen Steuerschaltung gesteuert selektiv unterschiedliche Ausgangsfrequenzbereiche zu erzeugen. Er beinhaltet auch einen Schaltkomplex zum Einstellen der Amplituden von Wellenformen, die der Synthesizer **200** erzeugt.

#### ALTERNATIVEN

**[0042]** Nachdem eine Ausgestaltung beschrieben wurde, sind nun zahlreiche alternative Ausgestaltungen oder Variationen möglich. Wie oben beschrieben, ist der Oszillator **222** ein dielektrischer Resonanzoszillator (DRO) mit fester Frequenz. Es können jedoch auch andere Oszillatortypen zum Einsatz kommen. So kann z.B. ein Oszillator mit veränderlicher Frequenz verwendet werden, unter der Voraussetzung, dass er das niedrige Phasenrauschen über seinen Betriebsfrequenzbereich halten kann. Die oben beschriebene bevorzugte Ausgestaltung beinhaltet einen thermogesteuerten Kristalloszillator (OCXO) **214** zum Erzeugen einer äußerst ruhigen Frequenzreferenz. Je nach den Phasenrauschenanforderungen kann der OCXO **214** auch durch andere Oszillatortypen ersetzt werden.

**[0043]** Die Filterbank **218** ist zwar ein bevorzugter Teil des Mikrowellen-Synthesizers **200**, ist aber nicht unbedingt notwendig und kann auch wegfallen. Wenn die Filterbank **218** wegfällt, dann bedeutet dies jedoch eine zusätzliche Belastung für die Filterbank **228** und das Bandpassfilter **242**, um vom Kammgenerator **216** erzeugte unerwünschte Kämmen zu sperren. Daher wird davon ausgegangen, dass ein Wegfallen der Filterbank kostspieligere Komponenten an anderer Stelle im System erfordert oder zu größeren Störsignalen führt.

**[0044]** Wie oben beschrieben, wird derselbe Kammgenerator **216** zum Erzeugen von Niederfrequenzkämmen und Hochfrequenzkämmen verwendet. Alternativ könnten verschiedene Kammgeneratoren zum Erzeugen der verschiedenen Kammsätze verwendet werden. So könnte beispielsweise der Ausgang eines zweiten Kammgenerators mit dem Ausgang des Oszillators gemischt werden, um Hochfrequenzkämmen zu erzeugen.

**[0045]** Die bevorzugte Ausgestaltung wurde zwar oben mit Bezug auf spezifische Frequenzen und Bereiche beschrieben, aber das Design des Mikrowellen-Synthesizers **200** schließt keineswegs die Benutzung anderer Frequenzen oder Frequenzbereiche aus. So brauchen beispielsweise die Kämmen nicht um 200 MHz beabstandet zu sein, und der Oszillator **222** braucht auch nicht mit 5,2 GHz zu arbeiten.

**[0046]** Die oben beschriebene Ausgestaltung des Synthesizers **200** hat die Form eines Instruments, das in ein Prüfgerät eingesteckt wird. Der Synthesizer **200** ist jedoch nicht auf diese Implementation begrenzt. Er könnte auch als Tischinstrument bereitgestellt werden, z.B. eines, das alleinstehend oder über einen IEEE-488 Bus programmierbar ist. Er könnte als modulares Instrument implementiert werden, das in eine standardmäßige Rückwandplatine wie z.B. eine VXI oder PXI Rückwandplatine installiert werden kann.

**[0047]** Es ist daher zu verstehen, dass die obige Beschreibung lediglich beispielhaft ist und dass die Erfindung nur durch den Umfang der beiliegenden Ansprüche begrenzt ist.

### Patentansprüche

1. Mikrowellen-Synthesizer (**200**) zum Bereitstellen einer Anregung zum Testen einer Einrichtung (DUT), die sich unter einem Test befindet, umfassend:

einen Schmalband-Synthesizer (**212**), der einen einstellbaren Frequenzausgang bereitstellt;

einen Oszillator (**222**), der einen im Wesentlichen festen Frequenzausgang bereitstellt;

einen Kammgenerator (**216**), der eine Sequenz von Tönen bereitstellt;

einen ersten Mischer (**226**) mit einem ersten Eingang, einem zweiten Eingang, und einem Ausgang, wobei der erste Eingang mit dem Ausgang des Kammgenerators gekoppelt ist und der zweite Eingang mit dem Ausgang des Oszillators gekoppelt ist;

einen zweiten Mischer (**238**) mit einem ersten Eingang, einem zweiten Eingang, und einem Ausgang, wobei der erste Eingang mit dem Ausgang des Kammgenerators gekoppelt ist und der zweite Eingang mit dem Ausgang des ersten Mixers gekoppelt ist;

einen dritten Mischer (**246**) mit einem ersten Eingang, einem zweiten Eingang und einem Ausgang, wobei der erste Eingang mit dem Ausgang des zweiten Mixers gekoppelt ist und der zweite Eingang mit dem Ausgang des Schmalband-Synthesizers gekoppelt ist;

einen vierten Mischer (**240**) mit einem ersten Eingang, einem zweiten Eingang und einem Ausgang, wobei ein erster Eingang mit dem Ausgang des dritten Mixers gekoppelt ist und ein zweiter Eingang mit dem Ausgang des ersten Mixers gekoppelt ist.

2. Mikrowellen-Synthesizer nach Anspruch 1, wobei der Oszillator einen dielektrischen Resonanzoszillator (**222**) umfasst.

3. Mikrowellen-Synthesizer nach Anspruch 1, ferner umfassend einen ersten Leistungsteiler (**220**) mit einem Eingang, der mit dem Ausgang des ersten Mixers gekoppelt ist, einem ersten Ausgang, der mit dem zweiten Eingang des zweiten Mixers gekoppelt ist, und einem zweiten Ausgang, der mit dem zweiten Eingang des vierten Mixers gekoppelt ist.

4. Mikrowellen-Synthesizer nach Anspruch 3, ferner umfassend eine Filterbank (**228**), die zwischen den Ausgang des ersten Mixers und den Eingang des ersten Leistungsteilers (**230**) in Reihe gekoppelt ist, wobei die Filterbank eine Vielzahl von wählbaren Bandpassfiltern (**514–520**) zum Senden eines gewünschten Mischprodukts des ersten Mixers und Dämpfen von unerwünschten Mischprodukten des ersten Mixers umfasst.

5. Mikrowellen-Synthesizer nach Anspruch 2, ferner umfassend einen Ofen-gesteuerten Kristalloszillator (**214**) OCXO zum Erzeugen einer Referenzfrequenz, wobei der Kammgenerator (**216**) und der Oszillator (**222**)

konstruiert und angeordnet sind, um deren jeweilige Ausgangsfrequenzen in Synchronisation zu der Referenzfrequenz einzurichten.

6. Mikrowellen-Synthesizer nach Anspruch 5, wobei der Schmalband-Synthesizer (**212**) und der OCXO (**214**) konstruiert und angeordnet sind, um deren jeweilige Ausgangsfrequenzen in Synchronisation zu einer Testertaktreferenz einzurichten.

7. Mikrowellen-Synthesizer nach Anspruch 3, ferner umfassend einen zweiten Leistungsteiler (**220**) mit einem Eingang, der mit dem Ausgang des Kammgenerators gekoppelt ist, einem ersten Ausgang, der mit dem zweiten Eingang des ersten Mischers gekoppelt ist, und einem zweiten Ausgang, der mit dem zweiten Eingang des zweiten Mischers gekoppelt ist.

8. Mikrowellen-Synthesizer nach Anspruch 3, ferner umfassend:  
ein erstes Bandpassfilter (**242**), das zwischen den Ausgang des zweiten Mischers und den ersten Eingang des dritten Mischers in Reihe gekoppelt ist;  
ein zweites Bandpassfilter (**244**), das zwischen den Ausgang des dritten Mischers und den ersten Eingang des vierten Mischers in Reihe gekoppelt ist; und  
ein Tiefpassfilter (**248**), das mit dem Ausgang des vierten Mischers gekoppelt ist.

9. Mikrowellen-Synthesizer nach Anspruch 1, wobei der Kammgenerator einen Frequenzmultiplizierer (**312**), ein Kristallfilter (**316**), und einen Kammgenerator (**320**), gekoppelt sequenziell in Reihe, umfasst.

10. Mikrowellen-Synthesizer, umfassend:  
eine Drift-Löschungs-Schleife (**250**) mit einem Schmalband-Eingang, einem Niederfrequenz-Kammeingang, einem Breitband-Eingang, und einem Ausgang, der ein Ausgangssignal mit einstellbarer Frequenz erzeugt;  
einen Schmalband-Synthesizer (**212**) mit einem Ausgang, der mit dem Schmalband-Eingang gekoppelt ist;  
einen Kammgenerator (**210**), der mit dem Niederfrequenz-Kammeingang gekoppelt ist und eine Sequenz von Tönen bereitstellt;  
einen Oszillator (**222**), der einen im Wesentlichen festen Frequenzausgang erzeugt; und  
einen Mischer (**226**) mit einem ersten Eingang, der mit dem Oszillator gekoppelt ist, einem zweiten Eingang, der mit dem Kammgenerator gekoppelt ist, und einem Ausgang, der mit dem Breitband-Eingang der Drift-Löschungs-Schleife gekoppelt ist.

11. Mikrowellen-Synthesizer nach Anspruch 10, ferner umfassend einen Ofen-gesteuerten Kristalloszillator OCXO (**214**), der mit dem Kammgenerator und dem Oszillator (**222**) zum Synchronisieren des Kammgenerators und Oszillators zu dem OCXO gekoppelt ist.

12. Mikrowellen-Synthesizer nach Anspruch 11, wobei der OCXO mit einem Testerreferenztakt gekoppelt ist und in Synchronisation zu dem Testerreferenztakt oszilliert.

13. Mikrowellen-Synthesizer nach Anspruch 11, ferner umfassend:  
eine Filterbank (**228**), die zwischen dem Ausgang des Mischers und dem Breitband-Eingang der Drift-Löschungs-Schleife in Reihe gekoppelt ist,  
wobei die Filterbank eine Vielzahl von wählbaren Bandpassfiltern (**514–520**) zum Senden eines gewünschten Mischprodukts des Mischers und Dämpfen von unerwünschten Mischprodukten des Mischers umfasst.

14. Mikrowellen-Synthesizer, umfassend:  
eine Drift-Löschungs-Schleife (**250**) mit einem Schmalband-Eingang, einem Frequenz-Kammeingang, einem Breitband-Eingang, und einem Ausgang, der ein Ausgangssignal mit einstellbarer Frequenz erzeugt;  
einen Schmalband-Synthesizer (**212**) mit einem Ausgang, der mit dem Schmalband-Eingang der Drift-Löschungs-Schleife gekoppelt ist;  
einen Kammgenerator (**216**), der mit dem Niederfrequenz-Kammeingang der Drift-Löschungs-Schleife gekoppelt ist und eine Sequenz von Tönen bereitstellt;  
einen Oszillator (**222**), der einen im Wesentlichen festen Frequenzausgang erzeugt; und  
eine Einrichtung (**226**) zum Kombinieren der Sequenz von Tönen von dem Kammgenerator mit der Ausgangsfrequenz des Oszillators, um ein Ausgangssignal zu erzeugen, das wenigstens eine Summe und/oder eine Differenz von Frequenzen (**218**, **220**) einschließt, wobei das Ausgangssignal an dem Breitband-Eingang der Drift-Löschungs-Schleife bereitgestellt wird.

15. Mikrowellen-Synthesizer nach Anspruch 14, ferner umfassend einen Ofen-gesteuerten Kristalloszilla-

tor OCXO (**214**), der mit dem Kammgenerator und dem Oszillator (**222**) zum Synchronisieren des Kammgenerators und des Oszillators zu dem OCXO gekoppelt ist.

16. Mikrowellen-Synthesizer nach Anspruch 14, wobei der OCXO mit einem Testerreferenztakt gekoppelt ist und in Synchronisation zu dem Testerreferenztakt oszilliert.

17. Verfahren zum Erzeugen eines Hochfrequenzsignals unter Verwendung einer Drift-Löschungs-Schleife mit einem Schmalband-Eingang (**252**), einem Niederfrequenz-Kammeingang (**256**), einem Breitband-Eingang (**254**), und einem Ausgang, der ein Ausgangssignal mit einstellbarer Frequenz erzeugt, wobei das Verfahren die folgenden Schritte einschließt:

(A) Anlegen eines Signals mit einstellbarer Frequenz an den Schmalband-Eingang der Drift-Löschungs-Schleife (**250**);

(B) Anlegen der Sequenz von Tonkämmen, die durch einen im Wesentlichen gleichförmigen Tonabstand getrennt sind, an den Niederfrequenz-Kammeingang der Drift-Löschungs-Schleife;

(C) Kombinieren der Sequenz von Tönen mit einem im Wesentlichen festen Frequenzsignal, um ein kombiniertes Signal zu erzeugen, welches Komponenten einschließt, die wenigstens einer Summe und/oder einer Differenz von Frequenzen (**218, 220**) entsprechen, und

(D) Anlegen des kombinierten Signals an den Breitband-Eingang (**254**) der Drift-Löschungs-Schleife (**250**).

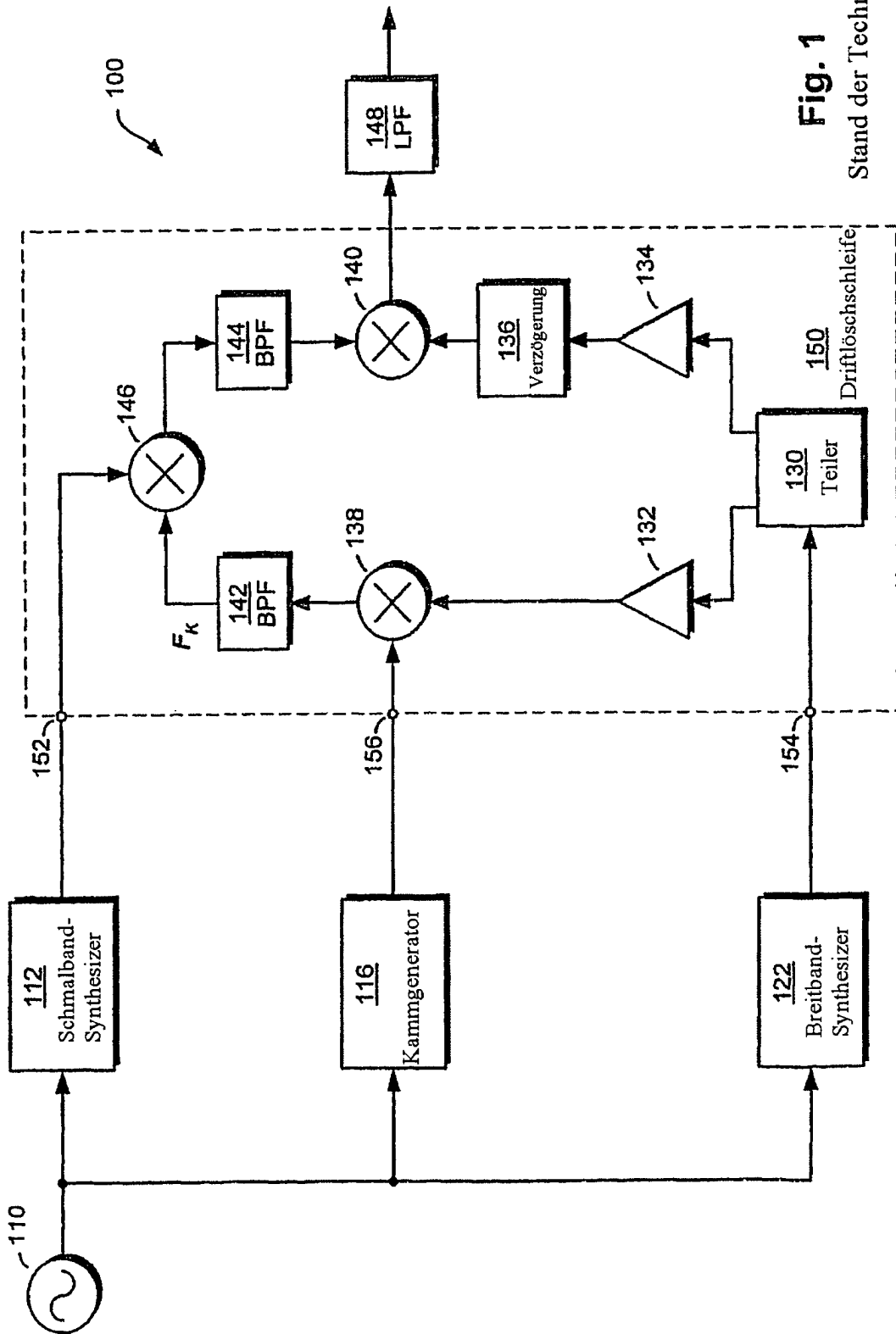
18. Verfahren nach Anspruch 17, ferner umfassend:

(E) selektives Filtern des kombinierten Signals, um im Wesentlichen nur eine gewünschte Frequenzkomponente durchzulassen.

19. Verfahren nach Anspruch 18, ferner umfassend das Verändern des Schritts E einer selektiven Filterung, um die Frequenzkomponente zu ändern, die im Wesentlichen durchgelassen wird.

20. Verfahren nach Anspruch 19, ferner umfassend ein Verändern des Signals mit einstellbarer Frequenz, um eine andere Ausgangsfrequenz einzurichten.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen



**Fig. 1**  
Stand der Technik

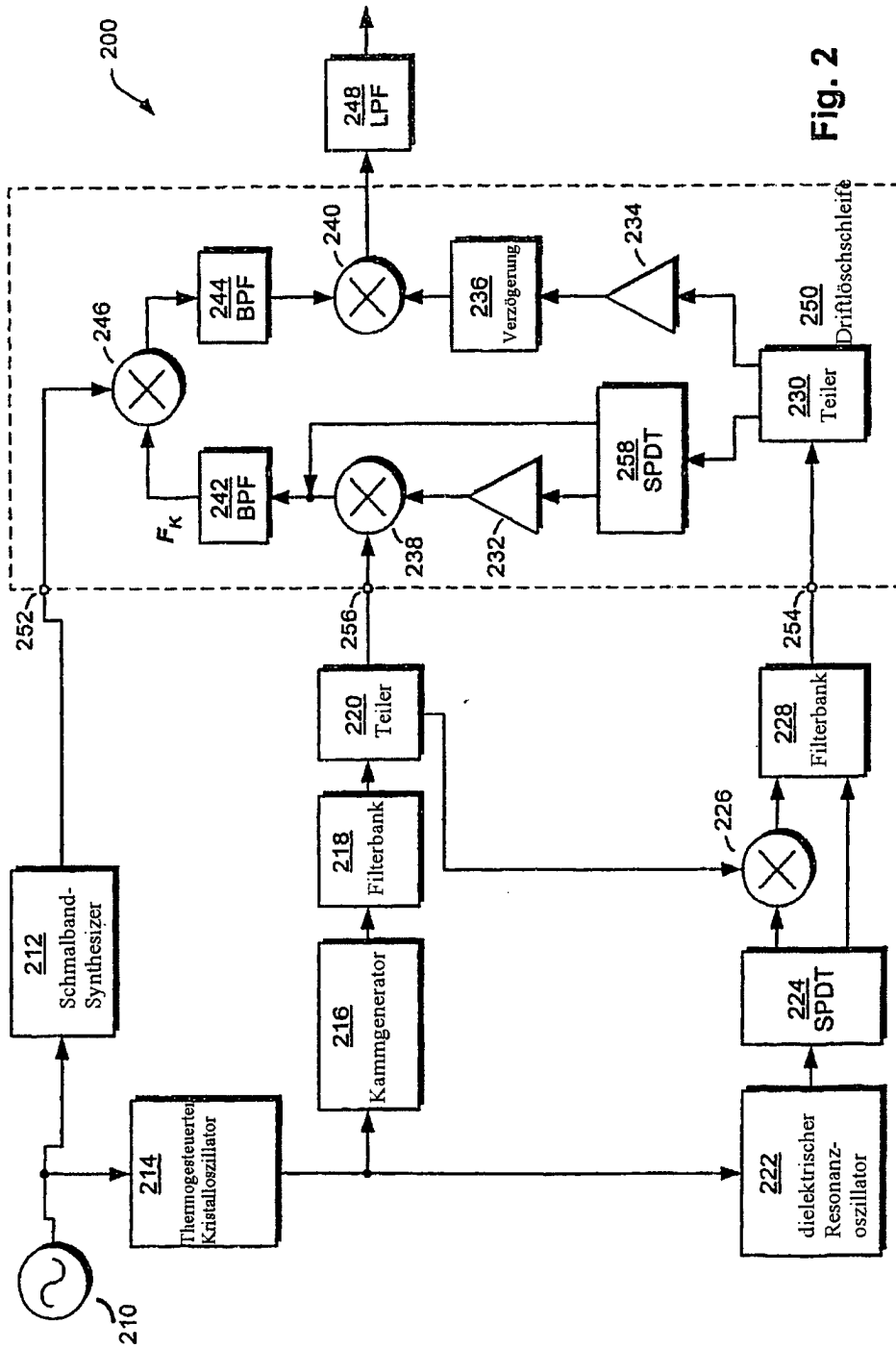


Fig. 2

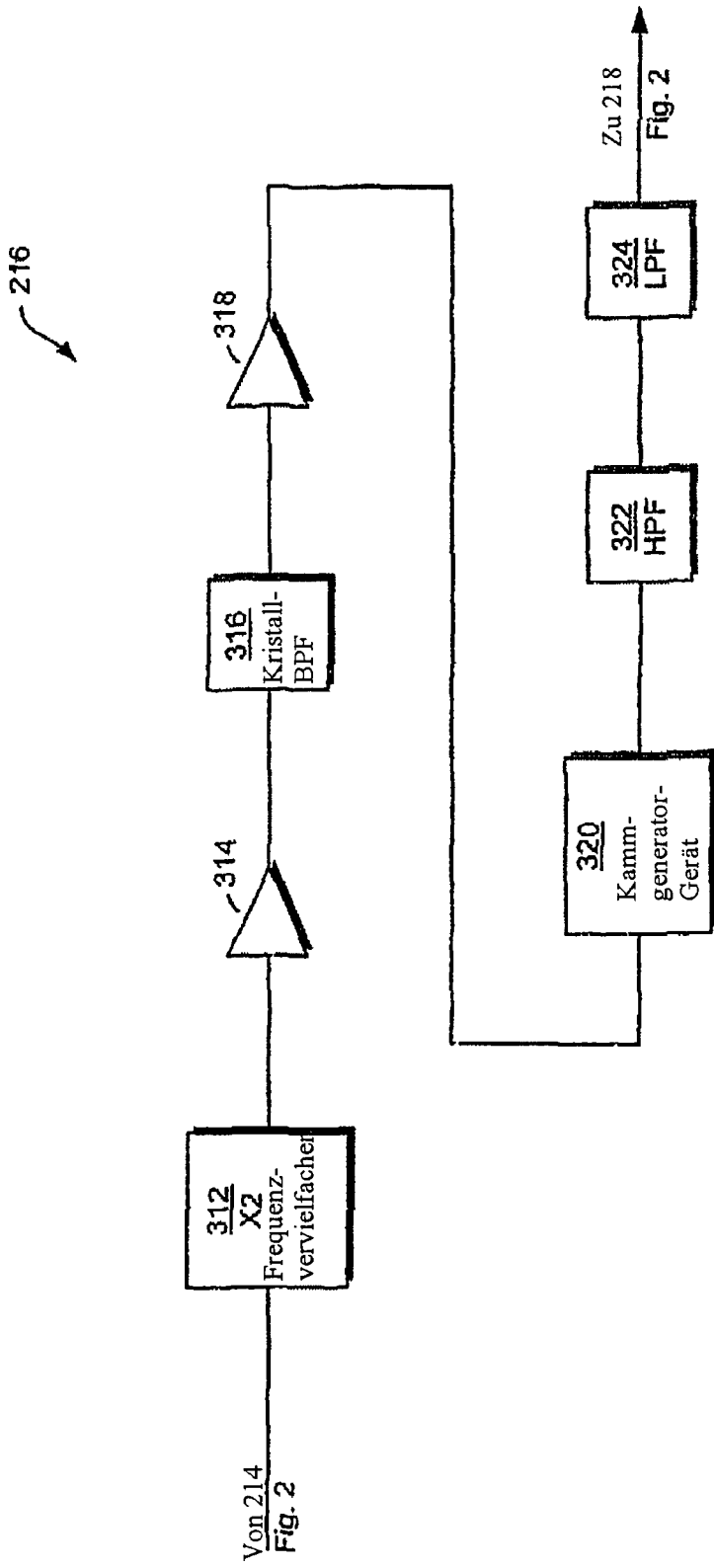
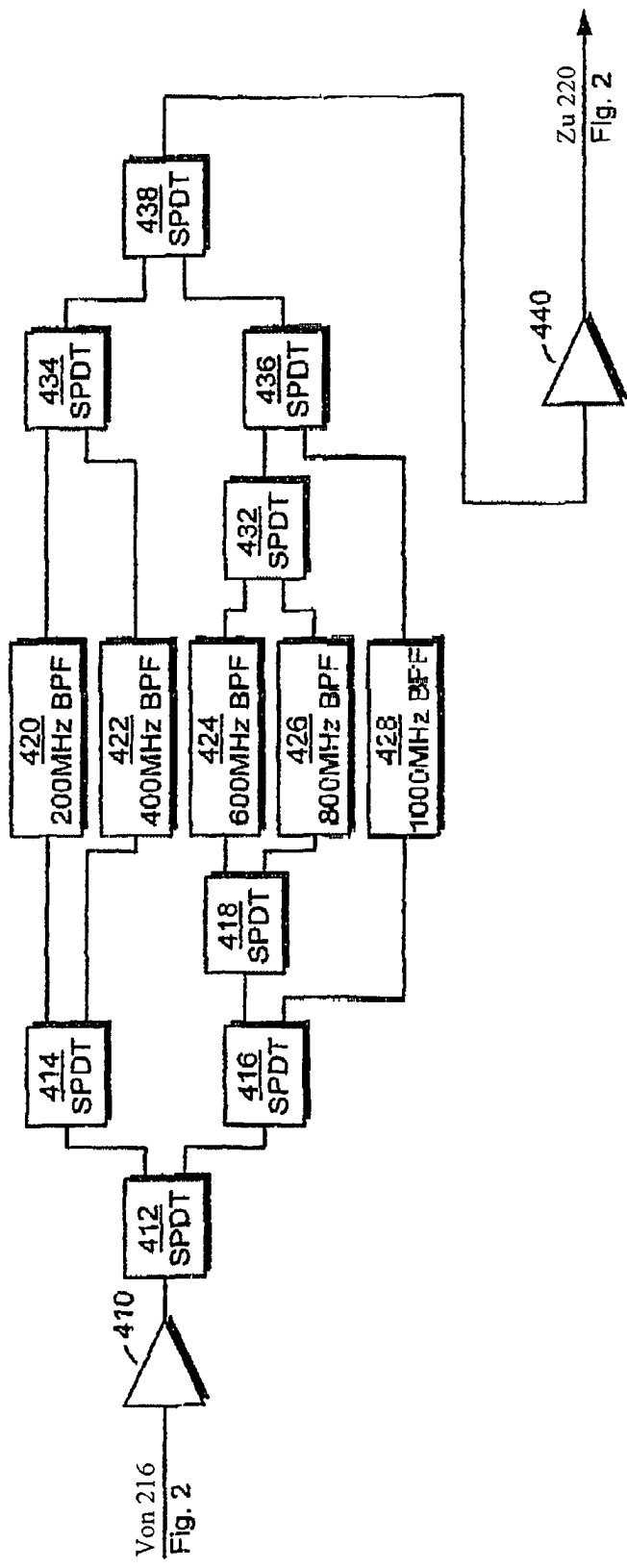


Fig. 3

218 ↗



Von 216  
Fig. 2

Fig. 4

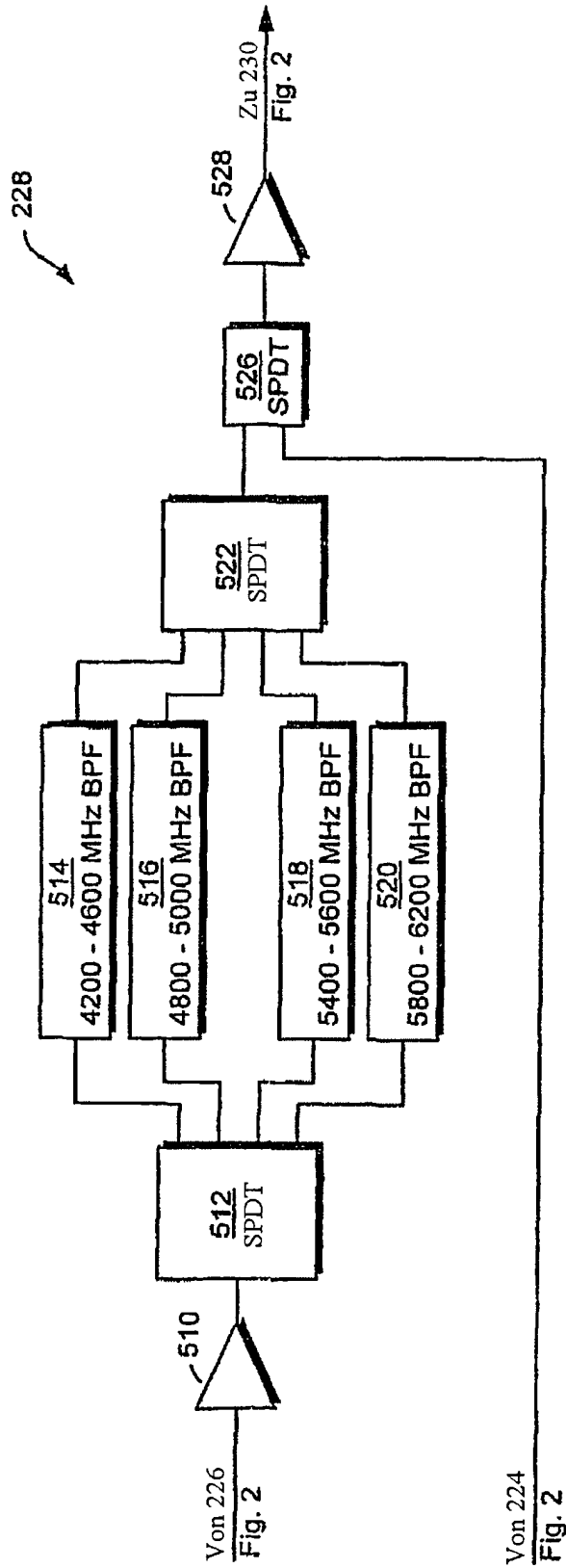


Fig. 5