



(19)  
 Bundesrepublik Deutschland  
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2006 038 857 A1** 2007.12.20

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2006 038 857.7**

(22) Anmeldetag: **20.08.2006**

(43) Offenlegungstag: **20.12.2007**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **H04B 1/02** (2006.01)

**H04B 1/06** (2006.01)

**H04L 27/12** (2006.01)

**G01S 13/74** (2006.01)

**H04L 7/00** (2006.01)

(66) Innere Priorität:

**10 2006 025 437.6 31.05.2006**

(71) Anmelder:

**Symeo GmbH, 81739 München, DE**

(74) Vertreter:

**Thiele, T., Dipl.-Geophys. Dr.rer.nat., Pat.-Anw.,  
 80538 München**

(72) Erfinder:

**Vossiek, Martin, Dr., 31139 Hildesheim, DE; Röhr,  
 Sven, 81379 München, DE; Gulden, Peter, Dr.,  
 80469 München, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht zu ziehende Druckschriften:

**DE 101 57 931 C2**

**DE 101 57 931 C2**

**DE 199 46 161 A1**

**US 60 54 950 A**

**US 57 48 891 A**

**US 23 79 395 A**

**US 64 83 461 B1**

**US 63 00 903 B1**

**WO 05/0 98 465 A2**

**LIUQING YANG, et al: Ultrawideband communications:**

**an idea whose time has come. In: Signal Processing Magazin, IEEE, Vol.21, Issue 6, Nov.2004, S.26-54;;**

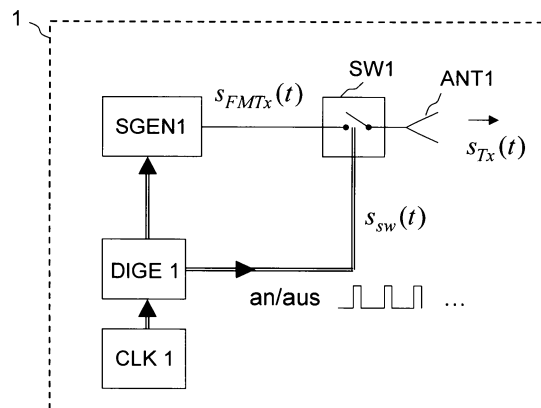
Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Funksender**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen Funksender (1, 4), mindestens umfassend einen Signalgenerator (SGEN1) zum Erzeugen eines kontinuierlichen Signals ( $s_{FMTx}(t)$ ) und eine Antenne (ANT1) zum Ausgeben eines Sendesignals ( $s_{Tx}(t)$ ), wobei mindestens ein Ausgang des Signalgenerators (SGEN1) mit mindestens einem Eingang der Antenne (ANT1) verbunden ist. Dabei ist der Signalgenerator (SGEN1) mit der Antenne (ANT1) über eine diesen zwischengeschalteten Unterbrechereinheit (SW1) zum wahlweise Unterbrechen und Aufrechterhalten einer Signalverbindung zwischen dem Signalgenerator (SGEN1) und der Antenne (ANT1) verbunden ist.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft einen Funksender, einen Funkempfänger, Kombinationen daraus, sowie zum Betreiben der Vorrichtungen geeignete Verfahren, insbesondere für eine Synchronisation und/oder eine Entfernungsmessung mittels UWB ("Ultra Wide Band"; Ultrabreitband)-Signalen.

**[0002]** Bei modernen Funkortungssystemen und Funkidentifikationssystemen werden vermehrt sehr breitbandige UWB-Signale eingesetzt. Der Begriff UWB wird gemäß der Definition der US-amerikanischen Behörde Federal Communications Commission (FCC) üblicherweise dann verwendet, wenn die Signalbandbreite entweder mindestens 20% der Mittenfrequenz des Signals beträgt oder aber größer als 500 MHz ist.

**[0003]** Ein Problem bei UWB-Systemen ist die Erzeugung und Detektion der UWB-Signale. Bei der Generierung von UWB-Signalen müssen strenge gesetzliche Vorschriften eingehalten werden und die Signalspektren innerhalb scharf definierter Frequenzmasken liegen. In den öffentlichen Bekanntmachungen der FCC oder des Europäischen Electronic Communications Committee (ECC) sind beispielsweise derartige Forderungen an die Spektralmasken veröffentlicht. Bei üblichen UWB-Systemen werden als Signale sehr kurze Pulse (Pulsdauer typisch im Bereich 100 ps-1 ns) und vergleichsweise niedrige Pulswiederholraten (1-100 MHz) verwendet. Die gewählten Puls-Pausenverhältnisse von typischerweise 1:100 sind notwendig, damit die erzeugten Signale die durch die gesetzlichen Bestimmungen geforderte sehr niedrige mittlere Leistung aufweisen.

**[0004]** Bedingt durch die sehr kurzen Pulsdauern und verstärkt durch die langen Pulspausen ist es jedoch aufwendig, die Signale von zwei UWB Funkstationen zu synchronisieren. Diese Synchronisation erfolgt üblicherweise mittels spezieller Hardwarekorrelatoren. Diese Hardwarekorrelatoren sind notwendig, da es wegen der extremen Bandbreite der UWB Signale bisher nicht kostengünstig möglich ist, die Signale mit einem Analog-zu-Digitalwandler zu digitalisieren und die Korrelation bzw. die Synchronisierung per Software rein rechnerisch durchzuführen. Nachteilig bei einem Signalvergleich mit Hardwarekorrelatoren ist, dass die Korrelation für verschiedene Verschiebezeitpunkte nur sequentiell bestimmt werden kann und dadurch zum einen Zeit benötigt wird – also die Synchronisation nur schrittweise bzw. langsam erfolgt – und zum anderen unnötig Leistung verbraucht wird, da für den Synchronisationsvorgang eine Vielzahl von Signalen ausgesendet werden muss, um sequentiell das Synchronisationsoptimum – also das Korrelationsmaximum – zu finden.

**[0005]** Deutlich günstiger wäre eine Software-Korrelation, da hierbei nur ein UWB-Signal gesendet und empfangen werden müsste, um eine komplette Korrelation zu rechnen und um das Korrelationsmaximum zu finden. Diese Möglichkeit ist aber heutzutage nicht kostengünstig umsetzbar, da bei großen Signalbandbreiten die nötigen Hardwarevoraussetzungen fehlen bzw. extrem aufwendig sind.

**[0006]** Wie schon ausgeführt wurde, arbeiten aktuelle UWB-Systeme häufig mit Pulssignalen und sehr einfachen Modulationsarten wie der Pulspositionsmodulation oder der Amplitudenmodulation. Grundlegenden Prinzipien sind z.B. in „Terence W.Barrett "History of UltraWideBand (UWB) Radar&Communications: Pioneers and Innovators; [http://www.ntia.doc.gov/osmhome/uwbtestplan/barret\\_history\\_\(piersw-figs\).pdf](http://www.ntia.doc.gov/osmhome/uwbtestplan/barret_history_(piersw-figs).pdf)" dargestellt. Eine der ersten Veröffentlichungen, in denen speziell UWB-Ortungssysteme behandelt werden, ist US 5,748,891. Weitere Beschreibungen von UWB-Ortungssystemen finden sich z.B. in US 6,054,950, US 6,300,903, und US 6,483,461.

**[0007]** Einfachen Pulssystemen ist gemein, dass es äußerst kompliziert ist, die Spektren der erzeugten Pulse gezielt zu formen. Üblicherweise und insbesondere bei den geplanten Europäischen Zulassungsbestimmungen ist es notwendig, dass die Pulse eine sehr definierte Einhüllende – etwa eine gaussförmige oder  $\cos^2$ -förmige Einhüllende aufweisen, damit sie in den von den Zulassungsbehörden geforderten spektralen Masken verbleiben und extrem wenig Leistung in den Seitenbändern erzeugen. Eine solche gezielte Amplitudenbeeinflussung innerhalb so kurzer Pulszeiten ist technisch jedoch nur sehr schwierig lösbar.

**[0008]** Aus den genannten Gründen verwenden neuere UWB Systeme zunehmend auch alternativ komplexere Modulationsarten wie etwa die OFDM Modulation. Da hierbei die Basisbandsignale zumeist mit einem D/A-Wandler erzeugt werden, ist es jedoch bisher noch nötig, die Signale auf eine relativ kleine Bandbreite zu beschränken bzw. die Signale auf verschiedene Unterbänder zu verteilen, da die D/A-Wandler heutzutage die direkte Erzeugung von Signalen mit z.B. einer Bandbreite von mehreren GHz nicht effizient zulassen. Ein bereits diskutierter Ansatz ist z.B. das sogenannte UWB-MB-OFDM, das z.B. in „Ultra-wideband communications: an idea whose time has come" Liuing Yang; Giannakis, G.B., Signal Processing Magazine, IEEE Volume 21, Issue 6, Nov. 2004 Page(s): 26-54", dargestellt wird. Hierbei wird das verfügbare Spektrum in mehrere Bänder aufgeteilt und in jedem Band die Information mittels OFDM-Modulation übertragen.

- [0009]** Aus DE 101 57 931 C2 ist eine Möglichkeit zur Synchronisation von Funkstationen für FMCW-Systeme unter Aussendung und Empfang von kontinuierlichen Wellen bekannt.
- [0010]** Aus WO 2005/098465 A2 ist ein Verfahren zur Synchronisation von Takteinrichtungen auf der Grundlage von FMCW-Systemen unter Aussendung und Empfang von kontinuierlichen Wellen bekannt.
- [0011]** Aus DE 199 46 161 A1 ist ein Verfahren zur Abstandsmessung auf der Grundlage von FMCW-Systemen unter Aussendung und Empfang von kontinuierlichen Wellen bekannt.
- [0012]** Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine einfache und kostengünstige Möglichkeit zur Synchronisation von UWB-Funkstationen, insbesondere für UWB-Funkortungssysteme, bereitzustellen.
- [0013]** Die Aufgabe wird durch einen Funksender nach Anspruch 1, einen Funkempfänger nach Anspruch 8 oder 16, ein Funk-Sende/Empfangs-System nach Anspruch 10, eine Vorrichtung nach Anspruch 12, sowie Verfahren nach Anspruch 18, 20 oder 21 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind insbesondere den Unteransprüchen einzeln oder in Kombination entnehmbar.
- [0014]** Der erfindungsgemäße Funksender umfasst mindestens einen Signalgenerator zum Erzeugen eines kontinuierlichen Signals und eine Antenne zum Ausgeben eines Sendesignals, wobei mindestens ein Ausgang des Sendesignalgenerators mit mindestens einem Eingang der Antenne verbunden ist. Ferner ist der Sendesignalgenerator mit der Antenne über eine diesen zwischengeschaltete Unterbrechereinheit zum wahlweise Unterbrechen und Aufrechterhalten einer Signalverbindung zwischen dem Sendesignalgenerator und der Antenne verbunden.
- [0015]** Dieser Funksender wandelt ein in ihm erzeugtes kontinuierliches Signal, insbesondere ein frequenzmoduliertes kontinuierliches Signal, in ein gepulstes Signal um. Da die Erzeugung eines kontinuierlichen Signal gut bekannt ist und sich kostengünstig umsetzen lässt, ist auch der Funksender mit nur geringem Mehraufwand realisierbar. Insbesondere bei Verwendung von frequenzmodulierten pulsförmigen Signalen lassen sich die für frequenzmodulierte kontinuierliche Signale bewährten Verfahren unter Kenntnis der erfinderischen Lehre und entsprechender erfinderischer Anpassungen zur Synchronisation und Abstandsmessung bei UWB-Signalen nutzen.
- [0016]** Vorteilhafterweise erfolgt das wahlweise Unterbrechen und Aufrechterhalten der Signalverbindung durch die Unterbrechereinheit mittels eines an die Unterbrechereinheit extern angelegten Schaltsignal.
- [0017]** Vorteilhafterweise erfolgt das wahlweise Unterbrechen und Aufrechterhalten der Signalverbindung durch die Unterbrechereinheit in zumindest abschnittsweise regelmäßigen Abständen.
- [0018]** Dabei ist es insbesondere günstig, wenn das wahlweise Unterbrechen und Aufrechterhalten der Signalverbindung durch die Unterbrechereinheit mit einer festen Pulsperiode erfolgt.
- [0019]** Es ist auch vorteilhaft, wenn das vom Sendesignalgenerator erzeugte kontinuierliche Signal ein zumindest abschnittsweise linear frequenzmoduliertes Signal ist.
- [0020]** Es ist dann vorteilhaft, wenn die Dauer der Pulsperiode kleiner ist als eine Dauer einer Frequenzmodulation des vom Signalgenerator erzeugten kontinuierlichen Signals, insbesondere mindestens 10 mal kleiner.
- [0021]** Es ist auch vorteilhaft, wenn eine Dauer einer Frequenzmodulation des vom Signalgenerator erzeugten kontinuierlichen Signals zwischen 100  $\mu$ s und 100 ms liegt.
- [0022]** Besonders günstig ist ein Funksender, bei dem der Sendesignalgenerator zum Erzeugen des kontinuierlichen Signals und die Unterbrechereinheit zum wahlweisen Unterbrechen und Aufrechterhalten der Signalverbindung durch jeweilige Taktsignale angesteuert werden, welche in einem bekannten deterministischen Verhältnis zueinander stehen.
- [0023]** Dann ist es besonders vorteilhaft, wenn der Sendesignalgenerator und die Unterbrechereinheit zur Ansteuerung mit einer Digitalelektronik verbunden sind, welche die jeweiligen Taktsignale auf der Grundlage einer gemeinsamen Taktbasis erzeugt.

**[0024]** Besonders günstig ist dann ein Funksender, der einen Taktgeber zum Ausgeben eines von ihm erzeugtes Taktsignals an die Digitalelektronik aufweist; wobei die Digitalelektronik ein erstes abgeleitetes Taktsignal zur Eingabe in den Sendesignalgenerator und ein zweites abgeleitetes Taktsignal zur Eingabe in die Unterbrechereinheit erzeugt; und wobei der Sendesignalgenerator auf der Grundlage des ersten abgeleiteten Taktsignals das kontinuierliche Signals erzeugt, das in die Unterbrechereinheit eingegeben wird; und wobei die Unterbrechereinheit auf der Grundlage des zweiten abgeleiteten Taktsignals die Signalverbindung zwischen dem Sendesignalgenerator und der Antenne wahlweise unterbricht und aufrechterhält.

**[0025]** Bei diesem Funksender ist es besonders günstig, wenn die Unterbrechereinheit einen extern ansteuerbaren Schalter umfasst, insbesondere eine PIN-Diode, einen Mischer, einen Transistor oder ein mikromechanisches Bauelement.

**[0026]** Die Aufgabe wird auch gelöst durch einen Funkempfänger zum Empfang von frequenzmodulierten und pulsformigen Funksignalen der dazu eingerichtet ist, aus den empfangenen frequenzmodulierten und pulsformigen Funksignalen zumindest ein Paar zugehöriger Spektrallinien zu extrahieren. Insbesondere lassen sich aus einem Paar zugehöriger Spektrallinien erfindungsgemäß Größen berechnen, die eine Verwendung der bekannten Verfahren für frequenzmodulierte kontinuierliche Signale ermöglichen.

**[0027]** Dabei ist es besonders günstig, wenn die Spektrallinien des Paares zugehöriger Spektrallinien eine gleiche Ordnung und eine bekannte Symmetrielage aufweisen.

**[0028]** Der Funkempfänger ist günstigerweise dazu eingerichtet, aus dem Paar zugehöriger Spektrallinien einen Frequenzversatz und/oder einen Zeitversatz zu bestimmen.

**[0029]** Der Funkempfänger ist ferner vorteilhafterweise dazu eingerichtet ist, sich auf der Grundlage des berechneten Frequenzversatzes und/oder Zeitversatzes auf einen Takt eines die frequenzmodulierten und pulsformigen Funksignale ausgesandt habenden Funksenders zu synchronisieren.

**[0030]** Vorteilhafterweise weisen die Spektrallinien des Paares zugehöriger Spektrallinien eine gleiche Ordnung und eine bekannte Symmetrielage auf.

**[0031]** Günstigerweise ist der Funkempfänger dazu eingerichtet, aus dem Paar zugehöriger Spektrallinien einen Frequenzversatz und/oder einen Zeitversatz zu bestimmen.

**[0032]** Günstigerweise ist der Funkempfänger dann dazu eingerichtet, sich auf der Grundlage des berechneten Frequenzversatzes und/oder Zeitversatzes auf einen Takt eines die frequenzmodulierten und pulsformigen Funksignale ausgesandt habenden Funksenders zu synchronisieren.

**[0033]** Die Aufgabe wird auch durch ein Funk-Sende/Empfangs-System aus mindestens einem wie oben beschriebenen Funksender und mindestens einem passend eingerichteten Funkempfänger, insbesondere wie oben beschrieben, gelöst.

**[0034]** Insbesondere vorteilhaft ist ein System, bei dem der Funksender und der Funkempfänger die gleiche Taktquelle zur Bereitstellung einer gemeinsamen Taktbasis aufweisen.

**[0035]** Die Aufgabe wird auch durch eine Anordnung mit mindestens einem Funk-Sende/Empfangs-System zur Synchronisation des Funk-Sende/Empfangs-Systems und/oder zur Entfernungsmessung zu einem Antwortgerät gelöst.

**[0036]** Vorteilhafterweise ist das Antwortgerät als als Transponder umfassend ein zweites Funk-Sende/Empfangs-System ausgeführt, wie auch weiter unten beschrieben.

**[0037]** Alternativ kann das Antwortgerät günstigerweise als Backscattertransponder ausgeführt sein, wie auch weiter unten beschrieben.

**[0038]** Die Erfindung wird auch gelöst durch einen Funkempfänger, insbesondere zur Verwendung in einem Funk-Sende/Empfangs-Systems, der mindestens einen Mischer aufweist, der ein Empfangssignal mit einem Mischsignal mischt und dadurch ein Messsignal zum Zwecke einer Synchronisation oder Entfernungsmessung bildet, wobei das Mischsignal eine ähnliche oder identische Modulation wie das Signal des Sendesignalgenerator aufweist.

**[0039]** Dabei bedeutet 'ähnlich' insbesondere, dass die Modulation einen Zeitversatz  $\Delta t$  und/oder einen Frequenzversatz  $\Delta f$  bezüglich des Signals des Sendesignalgenerators aufweist. Durch einen Frequenzversatz in der Trägersignalfrequenz wird üblicherweise, und insbesondere dann wenn alle Takte aus einem gemeinsamen Takt abgeleitet werden, die Modulationsrate, d.h. die Geschwindigkeit, mit der die Modulation erfolgt, unterschiedlich.

**[0040]** Die Erfindung wird auch gelöst durch ein Verfahren zur Erzeugung und Auswertung des Messsignals des Funkempfängers wobei ein Unterbrechen und Aufrechterhalten einer Signalverbindung zwischen dem Signalgenerator und der Antenne so durchgeführt wird, dass sich die Signalverbindung im Messsignal als eine Zeitdiskretisierung mit einem realen Abtaster darstellt, und wobei ein Unterbrechen und Aufrechterhalten der Signalverbindung mittels der Unterbrechereinheit zeitlich so durchgeführt wird, dass für das Messsignal das Abtasttheorem erfüllt ist.

**[0041]** Dazu ist es insbesondere günstig, wenn zumindest die Abtastfrequenz doppelt so groß gewählt wird wie die Bandbreite des Messsignal und die Dauer des Aufrechterhalten der Signalverbindung deutlich kleiner, z.B. um einen Faktor 10 kleiner, ist als der Kehrwert der höchsten im Messsignal vorkommenden Frequenz.

**[0042]** Dadurch kann die Information des so zeitdiskretisierten Messsignal mit Hilfe einer Filterung oder Spektralanalyse vollständig rekonstruiert und extrahiert werden; im Prinzip wird also ein Messsignal dergestalt gebildet, als ob die Unterbrechereinheit nicht vorhanden wäre.

**[0043]** Die Aufgabe wird auch gelöst durch eine Kombination eines entsprechenden Funksenders und Funkempfängers.

**[0044]** Ferner wird die Erfindung gelöst durch ein Verfahren zur Synchronisation mindestens eines Funksenders und mindestens eines Funkempfängers, wobei mindestens einer der Funksender mindestens einen Signalgenerator zum Erzeugen eines kontinuierlichen Signals und eine Antenne zum Ausgeben eines Sendesignals umfasst, wobei der Funksender aus dem kontinuierlichen Signal durch wahlweises Unterbrechen und Aufrechterhalten einer Signalverbindung zur Antenne über die Antenne ein pulsförmiges Funksendesignal ausstrahlt, und wobei der Funkempfänger aus den empfangenen pulsförmigen Funksignalen zumindest ein Paar zugehöriger Spektrallinien extrahiert und daraus einen Frequenzversatz und/oder einen Zeitversatz bestimmt, auf dessen bzw. deren Grundlage der Funkempfänger sich auf einen Takt des Funksenders synchronisiert.

**[0045]** Auch wird die Erfindung gelöst durch ein Verfahren zur Entfernungsmessung und/oder Ortung eines Transponders, wobei ein Funksender mindestens einen Sendesignalgenerator zum Erzeugen eines kontinuierlichen Signals und eine Antenne zum Ausgeben eines Sendesignals umfasst, wobei der Funksender aus dem kontinuierlichen Signal durch wahlweises Unterbrechen und Aufrechterhalten einer Signalverbindung zur Antenne über die Antenne ein pulsförmiges Funksendesignal in Richtung des Transponders ausstrahlt, und wobei der Transponder dieses Signal zu einem Funkempfänger moduliert reflektiert und wobei der Funkempfänger aus den empfangenen pulsförmigen Funksignalen zumindest eine Spektrallinie extrahiert und daraus eine Entfernung und/oder Position des Transponders bestimmt.

**[0046]** Im folgenden wird die Erfindung nicht beschränkend und rein schematisch anhand von Ausführungsbeispielen genauer erklärt:

**[0047]** [Fig. 1](#) zeigt skizzenhaft einen UWB-Funksender;

**[0048]** [Fig. 2](#) zeigt skizzenhaft eine erste Ausführungsform eines UWB-Funkempfängers;

**[0049]** [Fig. 3](#) zeigt skizzenhaft eine zweite Ausführungsform eines UWB-Funkempfängers;

**[0050]** [Fig. 4](#) zeigt skizzenhaft eine dritte Ausführungsform eines UWB-Funkempfängers;

**[0051]** [Fig. 5](#) zeigt eine Auftragung eines Frequenzspektrums mit Spektrallinien;

**[0052]** [Fig. 6](#) zeigt eine Auftragung einer Frequenz eines empfangenen und eines lokal erzeugten Signals über einer Zeit.

**[0053]** [Fig. 1](#) zeigt das Grundprinzip der Anordnung zur Erzeugung der verwendeten Funk-Sendesignale (Funksender 1). Der Signalgenerator SGEN1 des Funksenders 1 erzeugt ein vorzugsweise linear frequenzmo-

duliertes Signal SFMTx(t). Dieses Signal wird mit einem Schalter SW1 durch ein Schaltsignal ssw(t) ausgetastet, so dass ein pulsförmig moduliertes und zusätzlich frequenzmodulierte UWB-Sendesignal sTx(t) erzeugt wird. Typischerweise wird mit dem Schaltsignal der Schalter z.B. für eine Zeitdauer von ca. 100 ps bis zu 10 ns geschlossen und ca. 10 bis 1000 mal so lange geöffnet. Dem Fachmann ist bekannt, dass solch ein Schalter auf unterschiedlichste Weise z.B. mit PIN-Dioden, mit einem Mischer, einen Transistor oder ggf. mit mikromechanischen Bauelementen realisiert werden kann. Die Frequenzmodulation – also z.B. die Dauer der Frequenzrampe bei einer linearen Frequenzmodulation – sollte eine Dauer aufweisen, die um einige Größenordnungen über der Pulsperiode liegt. Sinnvolle Werte können insbesondere im Bereich von 100 Mikrosekunden bis 100 Millisekunden liegen. Vorzugsweise ist ein zentrales Element der Schaltung eine Digitalelektronik DIGE1 die aus einer gemeinsamen Taktbasis – z.B. einem Quarzoszillator CLK1 – alle Taktsignale ableitet, so dass alle Taktperioden bzw. Frequenzen aller Signale in der Schaltung in einem bekannten deterministischen Verhältnis zueinander stehen; falls dies nicht erfolgt, kann häufig nicht aus dem Frequenzversatz auf den während des Messens und der Synchronisation entstehenden Zeitversatz geschlossen werden. Bei einem Frequenzunterschied von nur 1 ppm und 30 ms vergehender Zeit lassen sich so 30 ns an zusätzlichem Zeitversatz erreichen. Bei einer Entfernungsmessung mit Funksignalen entspricht dieser Zeitversatz einem Entfernungsmeßfehler von mehrere Metern.

**[0054]** Fig. 2 zeigt das Grundprinzip der Anordnung zum Empfang der mit der Anordnung aus Fig. 1 erzeugten Funksignale (Funkempfänger 2). Erfindungsgemäß können die Anordnungen aus Fig. 1 und Fig. 2 zusammen eine erste erfindungsgemäße Anordnung darstellen, mit der zwei Funkstationen miteinander synchronisiert werden können. Eine zweite erfindungsgemäße Anordnung ergibt sich, wenn zwei Funkstationen jeweils beide Anordnungen – also jeweils die aus Fig. 1 und Fig. 2 – beinhalten, um so Funksignale hin- und zurück-senden zu können; diese zweite erfindungsgemäße Anordnung ist insbesondere geeignet um den Abstand zwischen den beiden Funkstationen zu bestimmen.

**[0055]** Auch bei der Anordnung in Fig. 2 werden wie bei der Anordnung in Fig. 1 vorzugsweise (siehe oben) alle Takte bzw. Signale aus einer gemeinsamen Taktbasis (CLK2, DIGE2) abgeleitet.

**[0056]** Der Signalgenerator SGEN2 erzeugt – in analoger Weise wie zu Fig. 1 ausgeführt – ein frequenzmoduliertes Signal SFMRx(t). Dieses Signal sollte vorzugsweise nach dem gleichen Bildungsgesetz aufgebaut sein, also eine möglichst identische Modulation wie das Signal SFMTx(t) aufweisen. In einem Mischer MIX wird dieses Signal mit dem empfangenen UWB-Signal sRx(t) gemischt, und man erhält so das Signal Smix(t). Geht man vereinfacht von einem idealen verzerrungsfreien Kanal aus, so entspricht das Empfangssignal sRx(t) dem Sendesignal sTx(t) wobei es allerdings durch die Signallaufzeit  $\tau$  verzögert und aufgrund der Übertragung um den Faktor  $\alpha$  abgeschwächt ist.

**[0057]** Vom Mischer wird das gemischte Signal über einen Filter FLT und einen Analog-Digital-Wandler ADC in eine Signalauswerteeinheit SAE geführt, wo das Signal ausgewertet wird und weitere Größen berechnet werden können. Mit diesen Größen können anschließend Takt- und Frequenzparameter des Signalgenerators verändert werden.

**[0058]** Zur Erhöhung der Eingangsleistung, insbesondere aber auch zur besseren Isolation etwaiger, durch den Mischer MIX nach Außen dringender hochfrequenter Signalanteile, kann zwischen Antenne ANT2 und Mischer MIX ein LNA (low noise amplifier; niedrigrauschender Verstärker) eingesetzt werden, der das empfangene Signal verstärkt. Alternativ kann auch ein Richtkoppler verwendet werden.

**[0059]** Zur systemtheoretischen Betrachtung wird davon ausgegangen, dass das Schaltsignal ssw(t) das frequenzmodulierte Signal SFMTx(t) periodisch mit einer pulsförmigen Aperturfunktion p(t) gewichtet, also:

$$s_{Tx}(t) = s_{FMx}(t) \cdot \sum_{n=-\infty}^{\infty} p(t - n \cdot T) \quad (1)$$

**[0060]** Eine einfache Aperturfunktion könnte z.B. eine Rechteckfunktion sein, also Pulse mit der Breite  $T_0$  die sich mit der Periode T wiederholen. In diesem Fall folgt:

$$s_{Tx}(t) = s_{FMx}(t) \cdot \sum_{n=-\infty}^{\infty} \text{rect}\left(\frac{t - n \cdot T}{T_0}\right) \quad (2)$$

**[0061]** Da der Mischer wie ein Multiplizierer arbeitet, entsteht hinter dem Empfangsmischer MIX ein Signal der Form

$$s_{mix}(t) = s_{FMRx}(t) \cdot s_{Rx}(t) = s_{FMRx}(t) \cdot s_{Tx}(t - \tau) = \underbrace{s_{FMRx}(t) \cdot s_{FMTx}(t - \tau)}_{s_{mixc}(t)} \cdot \sum_{n=-\infty}^{\infty} p(t - \tau - n \cdot T) \quad (3)$$

**[0062]** Vereinfachend sind hier alle Amplituden- und Dämpfungsfaktoren vernachlässigt worden, da sie ohnehin das Ergebnis nur linear skalieren würden.

**[0063]** Aus der Formel ergibt sich, dass sich das Mischsignal  $s_{mix}(t)$  als Mischprodukt zweier nicht pulsmodulierter Signale also  $s_{mixc}(t)$  ergibt und dieses Mischprodukt der kontinuierlichen Signale nur mit der Pulsfolge zu gewichten ist. Aus der Abtasttheorie für einen realen Abtaster mit endlicher Aperturzeit ist bekannt, dass die periodische Abtastung mit einer Aperturfunktion zu folgenden Effekten führt:

- die Abtastung von  $s_{mixc}(t)$  mit der periodischen Pulsfolge mit der Periode  $T$  führt im Spektrum von  $s_{mix}(t)$  zu einer periodischen Wiederholung des Spektrums von  $s_{mixc}(t)$  mit der Periode  $1/T$
- das Signal  $s_{mixc}(t)$  kann aus dem abgetasteten Signal  $s_{mix}(t)$  vollständig rekonstruiert werden, wenn die allgemein bekannten Abtastbedingungen eingehalten werden
- die periodische Multiplikation mit der Aperturfunktion  $p(t)$  im Zeitbereich führt im Spektrum dazu, dass das Spektrum von  $s_{mixc}(t)$  sich nicht nur periodisch wiederholt, sondern auch noch mit der Fouriertransformierten der Aperturfunktion zu wichten ist.

**[0064]** Aus dem Gesagten ist zu folgern, dass nach der erfindungsgemäßen Behandlung der gepulsten Signale die berechneten Ausgangsgrößen vorteilhafterweise und überraschenderweise in sämtlichen Verfahren zur Synchronisation von Takteinrichtungen und zur Entfernung- bzw. Laufzeitmessung zwischen Funkstationen mit FMCW-Funksignalen verwendet werden können, wenn bei der Abtastung bzw. bei der Formung der Pulsfolgen gewisse Regeln eingehalten werden und bei der Auswertung der Signale die Effekte der Abtastung berücksichtigt werden.

**[0065]** Als Konsequenz der oben genannten Zusammenhänge zwischen dem gepulsten und dem ungepulsten Signal betrachten wir bei der Darstellung des Verfahrens und der Anordnungen zur Synchronisation von UWB Funkstationen nun zunächst den kontinuierlichen Fall. Die Betrachtungen liefern also z.B. zunächst  $s_{mixc}(t)$ , die Übertragung auf den gepulsten Fall kann dann wie oben dargestellt wurde leicht im Anschluss erfolgen.

**[0066]** Am Anfang einer Messung ( $t = 0$ ) sendet eine der beiden am Synchronisations- bzw. Entfernungsmessvorgang beteiligten Funkstationen (Station 1) ein linear frequenzmoduliertes Signal aus. Dieses Signal erreicht nach der Laufzeit  $\tau$  die zweite Station. Der Frequenzverlauf des von Station zwei empfangenen Signals  $s_{Rx}(t)$ , das durch die Bandbreite  $B_s$ , die Rampendauer  $T_s$  und durch die Startfrequenz  $f_s$  gekennzeichnet ist, ist in [Fig. 6](#) dargestellt.

**[0067]** Mit dem Signalgenerator der zweiten Station wird ein dem Empfangssignal ähnliches Signal erzeugt. Dieses lokal generierte Signal  $s_{FMRx}(t)$  unterscheidet sich von dem empfangenen Signal durch einen Zeitversatz  $\Delta t$ , da beide Stationen zu unterschiedlichen Zeitpunkten aktiviert wurden, und einen Frequenzversatz  $\Delta f$ , der durch die Abweichung der zur Signalerzeugung genutzten Taktquellen beider Stationen hervorgerufen wird. Der Frequenzverlauf des lokal generierten Signals ist ebenfalls in [Fig. 6](#) dargestellt.

**[0068]** Um der ersten Station eine Entfernungsmessung zu ermöglichen, muss die zweite Station ihr lokal generiertes Signal zunächst auf das Empfangssignal synchronisieren. Nachdem Zeit- und Frequenzversatz korrigiert wurden, wird das lokal generierte Signal schließlich mit bekannter Verzögerungszeit zur ersten Station zurück gesendet. Damit kann die erste Station ihre Entfernung zur zweiten Station nach dem Standard-FM-CW-Radarprinzip ermitteln.

**[0069]** Um den Zeit- und Frequenzversatz zwischen dem empfangenen und dem lokal generierten Signal zu bestimmen, werden beide Signale miteinander gemischt/multipliziert und das Mischsignal einer Tiefpassfilterung unterzogen. Das Tiefpassgefilterte Mischsignal  $s_{md,flt}(t)$  wird durch

$$s_{md,flt}(t) = C_1 \cos \left( 2\pi \Delta f (t - \Delta t) + \pi \frac{B_s}{T_s} (-2t\Delta t + \Delta t^2) + C_2 \right) \quad \forall t \in (\tau + \Delta t, \tau + T_s) \quad (4)$$

beschrieben. Dabei stellt  $C_1$  eine Konstante dar, die von den Amplituden des empfangenen und des lokal generierten Signals bestimmt wird. Die Konstante  $C_2$  hängt von der Startfrequenz  $f_s$  und den Anfangsphasen der beiden Sinussignale ab.

**[0070]** Die Frequenz des Tiefpass gefilterten Mischsignals,

$$f_{\text{smd,flt}} = \Delta f - \frac{B_s}{T_s} \Delta t \quad \forall t \in (\tau + \Delta t, \tau + T_s), \quad (5)$$

hängt lediglich von Zeitversatz  $\Delta t$  und Frequenzversatz  $\Delta f$  ab.  $B_s$  und  $T_s$  sind konstante Systemparameter. Wird nun die Frequenz des Tiefpass gefilterten Mischsignals während einer Aufwärtsrampe ( $f_1$ ) und einer Abwärtsrampe ( $f_2$ ) mittels des FFT-Algorithmus' bestimmt, so ist durch

$$f_1 = \Delta f - \frac{B_s}{T_s} \Delta t \quad \forall t \in (\tau + \Delta t, \tau + T) \quad (6)$$

$$f_2 = \Delta f + \frac{B_s}{T_s} \Delta t \quad \forall t \in (\tau + \Delta t + T, \tau + 2T) \quad (7)$$

ein lineares Gleichungssystem gegeben. Als Lösung ergeben sich Zeit und Frequenzversatz zu

$$\Delta f = \frac{f_2 + f_1}{2} \quad (8)$$

$$\Delta t = \frac{T_s}{B_s} \frac{f_2 - f_1}{2}. \quad (9)$$

**[0071]** Nachdem Zeit- und Frequenzversatz nach den Gleichungen (8) und (9) berechnet wurden, kann das lokal generierte Signal an das empfangene angepasst werden.

**[0072]** Ein entscheidender Unterschied besteht bei Verwendung von UWB-Signalen, die gemäß [Fig. 1](#) erzeugt wurden, darin, dass sich die Frequenzlinien bei  $f_1$  und  $f_2$  – bzw. auch die bei  $-f_1$  und  $-f_2$  wenn man keinen IQ-Mischer verwendet und somit nur reellwertige Messsignale vorliegen hat – nun periodisch wiederholen und zwar gemäß:

$$f_{1n+} = n \cdot \frac{1}{T} + f_1 \quad \text{und} \quad f_{1n-} = n \cdot \frac{1}{T} - f_1 \quad (10)$$

$$f_{2n+} = n \cdot \frac{1}{T} + f_2 \quad \text{und} \quad f_{2n-} = n \cdot \frac{1}{T} - f_2$$

**[0073]** Da es sich bei den Abtastpulsen um relativ kurze Pulse handeln soll, und die Spektren der Messsignale bei einer linearen Modulation primär Linienspektren sind, sind die unter Punkt b) dargestellten Effekte der spektralen Wichtung in aller Regel vernachlässigbar.

**[0074]** Daher müssen die unter Punkt a) dargestellten Effekte der periodischen Wiederholung der Spektren berücksichtigt werden. Es ist notwendig, im gemessenen Spektrum zwei Spektrallinien  $f_{1k}$  und  $f_{2k}$  vorzugsweise einer gleichen und bekannten Ordnung  $k$  und bekannter Symmetrielage (+ oder –) zu extrahieren um daraus dann  $f_1$  und  $f_2$  abzuleiten und in die o.g. Formeln einzusetzen.

**[0075]** Zu einer eindeutigen Detektion der Ordnung und Symmetrielage der Spektrallinien gibt es unterschiedliche Möglichkeiten.

1) Vorsynchronisierung mit Schmalband-FM:

Wird für die Synchronisation eine Bandbreite von  $B_s < 0.5/T$  verwendet, so sind im auszuwertenden Spektralbereich keine Spiegelfrequenzen auf Grund der periodischen Fortsetzung wegen der UWB-Abtastung (vgl. [Fig. 5](#)) vorhanden. Für die Ordnung der Spektrallinien folgt daher  $n = 0$  und die Symmetrielage ist eindeutig.

2) Zusätzlicher Frequenzversatz  $\Delta f_z$ :

Man verstimmt eine der beiden Stationen um einen zusätzlichen Frequenzversatz  $\Delta f_z$  in der Art, dass die Frequenzen  $f_1$  und  $f_2$  nach den Gleichungen (6) und (7)

$$f_1 = \Delta f + \Delta f_z - \frac{B_s}{T_s} \Delta t \quad f_2 = \Delta f + \Delta f_z + \frac{B_s}{T_s} \Delta t \quad (11)$$

stets positiv sind. Dadurch wird die Symmetrielage eindeutig bestimmt.

- 3) Man geht davon aus, dass  $\Delta f$  klein ist: eine Korrektur kann dann mit Permutationen von plausiblen Frequenzpaaren erreicht werden.
- 4) Veränderung von Sweep-Parametern: wird eine höhere Bandbreite  $B_s < 0.5/T$  für die Synchronisierung verwendet, so entstehen auf Grund der periodischen Fortsetzung des Spektrums wegen der UWB-Abtastung Spiegelfrequenzen im auszuwertenden Spektralbereich. Werden Sweepparameter, wie die Sweepbandbreite  $B_s$  oder die Sweeppdauer  $T_s$  verändert, verschiebt sich die Lage der Spiegelfrequenzen. Aus dieser Verschiebung kann auf Ordnung und Symmetrielage geschlossen werden.
- 5) Eine Vorsynchronisierung kann über eine normale Funkkommunikation erreicht werden. Dazu können beispielsweise beiden Stationen bekannte binäre Folgen übertragen werden, über deren Korrelation eine grobe Synchronisierung der Takte erreicht werden kann.

#### Beispiel 1

**[0076]** Das FMCW-modulierte Signal wird rechteckförmig ausgetastet. Das dazu verwendete Schaltsignal ist 9 ns an und 991 ns aus. Die Startfrequenz des Sweeps beträgt 6,8 GHz, die Endfrequenz 7,7 GHz und somit die Bandbreite  $B_s = 900$  MHz. Die Sweeppdauer betrage  $T_s = 10$  ms und die Peakleistung  $-3$  dBm.

**[0077]** Wird nun durch eine normale Funkkommunikation eine Vorsynchronisierung auf  $5 \mu\text{s}$  genau erreicht, so ergibt sich für die zu untersuchenden Spektrallinien eine maximale Frequenzabweichung von ca. 0,45 MHz. Da die Periode des Spektrums durch die UWB-Abtastung 1 MHz beträgt, ist eine direkte Zuordnung der Spektrallinien möglich ( $n = 0$ ).

#### Beispiel 2

**[0078]** Für das FMCW modulierte Signal wird der gleiche Frequenzbereich wie in Beispiel 1 verwendet, auch die Schaltzeiten seien identisch. Allerdings betrage die Sweeppdauer nur 2 ms. Durch eine normale Funkkommunikation werde eine Vorsynchronisierung auf  $100 \mu\text{s}$  genau erreicht.

**[0079]** Nun wird im ersten Synchronisierungsschritt die Sweepbandbreite auf 10 MHz verringert. Damit ergibt sich eine maximale Frequenzabweichung von ca. 0,5 MHz, so dass wiederum eine direkte Zuordnung der Spektrallinien möglich ist. Mit der geringen Bandbreite wird eine Vorsynchronisierung auf  $1 \mu\text{s}$ , so dass im zweiten Synchronisierungsschritt die Synchronisierung mit voller Bandbreite erfolgen kann.

**[0080]** Eine Vorsynchronisierung ist auch dadurch möglich, dass man  $N$  zeitlich leicht versetzte Sweeps verwendet und den Amplitudenverlauf des Messsignals (bzw. seiner Spektrallinien) auswertet. Je größer die Amplitude desto besser ist die Synchronisation bzw. desto geringer ist die Ordnung der Frequenzpaare.

**[0081]** Günstig kann es sein, nach einer ersten Vorsynchronisierung auf einen S&H-Modus umzuschalten, wie am Beispile einer zweiten Ausführungsform eines Funkempfänger **3** in [Fig. 3](#) dargestellt ist. Im Empfänger **3** ist nun ein "Sample & Hold" (S&H)-Glied vorgesehen, das die empfangene Pulsfolge immer gerade dann abtastet und den Wert hält, wenn auch wirklich ein reflektierter Puls eintrifft. Hierzu ist es jedoch nötig, die Abtastpulsfolgen auf die empfangene Pulsfolge zu synchronisieren. Die Vorsynchronisierung kann mit dem o.g. Verfahren ohne S&H erfolgen oder auch adaptiv im Sinne einer Korrelation, indem die beiden Pulsfolgen langsam übereinander geschoben werden und man das Maximum der Korrelation bestimmt.

**[0082]** Der Vorteil dieser Variante mit synchroner Abtastung gegenüber der Variante ohne S&H besteht darin, dass man im Empfangszweig nur eine deutlich geringere Verstärkung notwendig ist und man ein deutlich besseres Signal-zu-Rauschverhältnis erwarten kann, da nicht über die langen Perioden in denen kein Signal sondern nur Rauschen vorhanden ist gemittelt werden muss.

**[0083]** Auch wenn bei der synchroner Abtastung durch die erforderliche Vorsynchronisierung ein Zusatzaufwand entsteht, so ist dieser dennoch deutlich kleiner als bei normalen korrelierenden Pulssystemen: die Pulsdauer kann deutlich länger sein und die Synchronisation muss auch nicht sehr exakt sein (es reicht im Prinzip, wenn sich die Pulsfolgen irgendwie nennenswert überlappen), da die hochgenaue Korrelation nach wie vor rechnerisch auf Basis der FM-Modulation erfolgt und die große Bandbreite mit der FM-Modulation erzeugt wird, und nicht zwangsläufig mit den Pulsen. Dadurch ist die Synchronisation bzw. die Hardwarekorrelation viel einfacher und viel schneller als bei normalen Puls-UWB-Systemen. Auch kann die Messung schneller und energieeffizienter durchgeführt werden, da man bei jeder Messung einen Laufzeitbereich abdecken kann, der 10 bis 100 mal so groß ist wie bei Pulssystem.

**[0084]** Allgemein kann eine Vorsynchronisation dadurch erfolgen, dass man ein erstes Spektrallinienpaar abtastet und man dann, nach dem ersten Abtasten auf einen Schalttakt synchronisiert, um das Signal-zu-Rausch-Verhältnis zu verbessern.

**[0085]** Die grundlegenden Idee des o.g. UWB-FMCW-Radar lässt sich in analoger Form auch auf Ortungssysteme mit einem sogenannten Backscattermodulator bzw. -transponder übertragen, siehe [Fig. 4](#). Hierzu ordnet man die Sender und Empfänger in einer gemeinsamen Sende/Empfangs-Einheit **4** an und bestimmt die Laufzeit zurückgestreuter Signale.

**[0086]** Zur Messung des Abstandes zu einem Backscattermodulator bzw. -transponder **5** wird die Anordnung aus [Fig. 1](#) mit Elementen aus [Fig. 2](#) zu [Fig. 4](#) erweitert. Wie ersichtlich wird das Sendesignal mit einer periodischen Aperturfunktion ausgetastet, um so ein UWB-Signal entsprechend der gesetzlichen Vorschriften erzeugen zu können. Am Backscatter-Modulator **5** wird das Sendesignal moduliert reflektiert, wobei üblicherweise die Modulationsfunktion den komplexen Reflexionsfaktor hinter der Antenne ANTB bzgl. Betrag und/oder Phase mit einem modulierbaren Anpassnetzwerk MAN moduliert. Das Mischsignal hinter dem Empfangsmischer MIX ergibt sich zu

$$s_{mix}(t) = s_{FMRx}(t) \cdot s_{Rx}(t) = s_{FMTx}(t) \cdot s_{Tx}(t - \tau) \cdot m(t) = \underbrace{s_{FMTx}(t) \cdot s_{FMTx}(t - \tau) \cdot m(t)}_{s_{mixc}(t)} \cdot \sum_{n=-\infty}^{\infty} p(t - \tau - n \cdot T) \quad (12)$$

**[0087]** Man erkennt anhand der Formel, dass sich das Mischsignal  $s_{mix}(t)$  als Mischprodukt zweier nicht pulsmodulierter Signale, also  $s_{mixc}(t)$ , ergibt und dieses Mischprodukt der kontinuierlichen Signale nur mit der Abtastfolge gewichtet wird.

**[0088]** Wird also die Modulationsfrequenz von  $m(t)$  niedrig genug gewählt bzw. die Periode  $T$  der Abtastung klein genug und die Aperturzeit hinreichend kurz, so entspricht die Information im Signal  $s_{mix}(t)$  exakt der Information, die eine kontinuierlich sendende Variante (also wenn SW 1 stets geschlossen wäre) liefern würde.

**[0089]** Vorzugsweise ist die höchste Frequenz von  $m(t)$  so zu wählen, dass sie kleiner als halb so gross wie die Abtastfrequenz als keiner als  $0,5/T$  ist. Vorzugsweise ist ferner die niedrigste Frequenz von  $m(t)$  so zu wählen dass sie sehr viel größer als der Kehrwert der Sweeplänge ist. Vorzugsweise ist die Dauer der UWB-Pulse so zu wählen dass sie deutlich kürzer sind als der Kehrwert der höchste Frequenz die im Signal  $m(t)$  vorkommt.

**[0090]** Sinnvolle Parameter zur Auslegung eines Systems nach [Fig. 4](#) wären und zur Erzeugung der UWB Pulse durch pulsformiges ausgetasteten des FMCW modulierten Signals wären z.B.: Pulsdauer 9 ns; Pulspause 991 ns; niedrigste Frequenz der FMCW-Sweeps:  $f_{MinSweep}$  6,8 GHz; höchste Frequenz der FMCW-Sweeps:  $f_{MaxSweep}$  7,7 GHz; Dauer des FMCW-Sweeps 100 ms; und höchste Frequenz von  $m(t)$  ca. 400 kHz.

**[0091]** Ist  $m(t)$  ein periodisches bandbegrenztetes Signal mit der Periodendauer  $T_m = 1/f_m$  und einer Bandbreite  $\ll 0,5/T$ , so ergibt sich ein Spektrum  $S_{mix}(f)$  des Zeitsignals  $s_{mix}(t)$  in der Form wie sie in [Fig. 5](#) dargestellt ist.

**[0092]** Der Abstand  $\Delta f$  der symmetrisch um die Modulationsfrequenz liegenden Spektrallinien (die linke Spektrallinie ist jeweils die Spiegelung der negativen Frequenzkomponenten an der Ordinate) ist proportional zur Entfernung. Es kann auch die Phase der beiden symmetrisch um die Modulationsfrequenz liegenden Spektrallinien zur Entfernungs- und Geschwindigkeitsmessung verwendet werden.

**[0093]** Das ausgeführte Backscattersystem lässt sich hervorragend für kostengünstige, stromsparende Ortungssysteme mit kleiner Reichweite verwenden, z.B. Zugangssysteme (für Haus, Fahrzeuge und Rechner), Systeme für kontextabhängigen Informationstransfer (auf Messen, in Museen, in der Produktion und Wartung von Maschinen und zur Unterstärkung behinderter oder älterer Leute), RFID Systeme, Logistik aber auch für die hochpräzise Ortung von Werkzeugen und Robotern/Roboterarmen in der Automatisierungstechnik oder Medizin.

**[0094]** Die oben beschriebenen Ausführungsbeispiele sind nicht dazu gedacht, die Erfindung oder ihre Anwendungen in irgendeinerweise zu beschränken.

## Patentansprüche

1. Funksender (**1, 4**), mindestens umfassend
  - einen Signalgenerator (SGEN1) zum Erzeugen eines kontinuierlichen Signals (sFMTx(t)),
  - eine Antenne (ANT1) zum Ausgeben eines Sendesignals (sTx(t)),
  - wobei mindestens ein Ausgang des Sendesignalgenerators (SGEN1) mit mindestens einem Eingang der Antenne (ANT1) verbunden ist,

**dadurch gekennzeichnet**, dass

  - der Sendesignalgenerator (SGEN1) mit der Antenne (ANT1) über eine diesen zwischengeschaltete Unterbrechereinheit (SW1) zum wahlweise Unterbrechen und Aufrechterhalten einer Signalverbindung zwischen dem Sendesignalgenerator (SGEN1) und der Antenne (ANT1) verbunden ist, und dadurch, dass
  - das wahlweise Unterbrechen und Aufrechterhalten der Signalverbindung durch die Unterbrechereinheit (SW1) mittels eines an die Unterbrechereinheit (SW1) extern angelegten Schaltsignals (ssw(t)) erfolgt, und dadurch, dass
  - das wahlweise Unterbrechen und Aufrechterhalten der Signalverbindung durch die Unterbrechereinheit (SW1) in zumindest abschnittsweise regelmäßigen Abständen, insbesondere mit einer festen Pulsperiode, erfolgt.
  
2. Funksender (**1, 4**) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das vom Sendesignalgenerator (SGEN1) erzeugte kontinuierliche Signal ein zumindest abschnittsweise linear frequenzmoduliertes Signal(sFMTx(t)) ist.
  
3. Funksender (**1, 4**) nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Dauer der Pulsperiode kleiner ist als eine Dauer einer Frequenzmodulation des vom Sendesignalgenerator (SGEN1) erzeugten kontinuierlichen Signals, insbesondere mindestens 10 mal kleiner.
  
4. Funksender (**1, 4**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Signalgenerator (SGEN1) zum Erzeugen des kontinuierlichen Signals (sFMTx(t)) und die Unterbrechereinheit (SW1) zum wahlweisen Unterbrechen und Aufrechterhalten der Signalverbindung durch jeweilige Taktsignale (ssw(t)) angesteuert werden, welche in einem bekannten deterministischen Verhältnis zueinander stehen, wobei der Sendesignalgenerator (SGEN1) und die Unterbrechereinheit (SW1) zur Ansteuerung mit einer Digitalelektronik (DIGE1) verbunden sind, welche die jeweiligen Taktsignale (ssw(t)) auf der Grundlage einer gemeinsamen Taktbasis erzeugt.
  
5. Funksender (**1, 4**) nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass
  - er einen Taktgeber (CLK1) zum Ausgeben eines von ihm erzeugtes Taktsignals an die Digitalelektronik (DIGE1) aufweist;
  - wobei die Digitalelektronik (DIGE1) ein erstes abgeleitetes Taktsignal zur Eingabe in den Sendesignalgenerator (SGEN1) und ein zweites abgeleitetes Taktsignal (ssw(t)) zur Eingabe in die Unterbrechereinheit (SW1) erzeugt;
  - und wobei der Sendesignalgenerator (SGEN1) auf der Grundlage des ersten abgeleiteten Taktsignals das kontinuierliche Signals (sFMTx(t)) erzeugt, das in die Unterbrechereinheit (SW1) eingegeben wird;
  - und wobei die Unterbrechereinheit (SW1) auf der Grundlage des zweiten abgeleiteten Taktsignals (ssw(t)) die Signalverbindung zwischen dem Sendesignalgenerator (SGEN1) und der Antenne (ANT1) wahlweise unterbricht und aufrechterhält.
  
6. Funkempfänger (**2, 3, 4**) zum Empfang von frequenzmodulierten und pulsförmigen Funksignalen (sRx(t)), dadurch gekennzeichnet, dass er dazu eingerichtet ist, aus den empfangenen frequenzmodulierten und pulsförmigen Funksignalen (sRx(t)) zumindest ein Paar zugehöriger Spektrallinien (f1k, f2k) zu extrahieren, insbesondere Spektrallinien (f1k, f2k) gleicher Ordnung (k) und bekannter Symmetrielage.
  
7. Funkempfänger (**2, 3, 4**) nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass er dazu eingerichtet ist, aus dem Paar zugehöriger Spektrallinien (f1k, f2k) einen Frequenzversatz und/oder einen Zeitversatz zu bestimmen und sich insbesondere auf der Grundlage des berechneten Frequenzversatzes und/oder Zeitversatzes auf einen Takt eines die frequenzmodulierten und pulsförmigen Funksignale (sRx(t)) ausgesandt habenden Funksenders (**1, 4**) zu synchronisieren.
  
8. Funk-Sende/Empfangs-System aus mindestens einem Funksender (**1, 4**) nach einem der Ansprüche 1 bis 5 und mindestens einem Funkempfänger (**2, 3, 4**) zum Empfang von vom Funksender (**1, 4**) ausgesandten Signalen, insbesondere mit einem Funkempfänger (**2, 3, 4**) nach einem der Ansprüche 6 bis 7.

9. Funk-Sende/Empfangs-System (4) nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Funksender (1, 4) und der Funkempfänger (2, 3, 4) die gleiche Taktquelle (CLK1) zur Bereitstellung einer gemeinsamen Taktbasis aufweisen.

10. Anordnung mit mindestens einem Funk-Sende/Empfangs-System (4) nach einem der Ansprüche 8 oder 9 zur Synchronisation des Funk-Sende/Empfangs-Systems (4).

11. Anordnung mit mindestens einem Funk-Sende/Empfangs-System nach einem der Ansprüche 9 oder 10 zur Entfernungsmessung zu einem Antwortgerät.

12. Anordnung nach Anspruch 11, wobei das Antwortgerät als Transponder umfassend ein zweites Funk-Sende/Empfangs-System (4) nach einem der Ansprüche 16 oder 17 ausgeführt ist.

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 11, wobei ein Antwortgerät als ein Backscattertransponder (5) ausgeführt ist.

14. Funkempfänger (2, 3, 4) zur Verwendung in einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 13, aufweisend mindestens einen Mischer (MIX), der ein Empfangssignal mit einem Mischsignal (sFMTx(t), sFMTx(t)) mischt und dadurch ein Messsignal (smd(t)) zum Zwecke einer Synchronisation oder Entfernungsmessung bildet, wobei das Mischsignal eine ähnliche oder identische Modulation wie das Signal des Sendesignalgenerators (SGEN1) aufweist.

15. Funkempfänger (2, 3, 4) nach Anspruch 14, wobei die ähnliche Modulation einen Zeitversatz und/oder einen Frequenzversatz bezüglich des Signals des Sendesignalgenerator (SGEN1) aufweist.

16. Verfahren zum Erzeugen und Auswerten des Messsignals (smd(t)) des Funkempfängers (2, 3, 4) nach einem der Ansprüche 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, dass ein Unterbrechen und Aufrechterhalten einer Signalverbindung zwischen dem Signalgenerator (SGEN1) und der Antenne (ANT1) so durchgeführt wird, dass sich die Signalverbindung im Messsignal (smd(t)) als eine Zeitdiskretisierung mit einem realen Abtaster darstellt, und dass ein Unterbrechen und Aufrechterhalten der Signalverbindung mittels der Unterbrechereinheit (SW1) zeitlich so durchgeführt wird, dass für das Messsignal (smd(t)) das Abtasttheorem erfüllt ist.

17. Verfahren nach Anspruch 16, wobei zumindest die Abtastfrequenz doppelt so groß gewählt wird wie die Bandbreite des Messsignal, und wobei und die Dauer des Aufrechterhalten der Signalverbindung deutlich kleiner, insbesondere kleiner als um den Faktor 4, ist als der Kehrwert der höchsten im Messsignal vorkommenden Frequenz.

18. Verfahren zur Synchronisation mindestens eines Funksenders (1, 4) und mindestens eines Funkempfängers, wobei mindestens einer der Funksender mindestens einen Signalgenerator (SGEN1) zum Erzeugen eines kontinuierlichen Signals (sFMTx(t)) und eine Antenne (ANT1) zum Ausgeben eines Sendesignals (sTx(t)) umfasst,

dadurch gekennzeichnet, dass

– der Funksender (1, 4) aus dem kontinuierlichen Signal (sFMTx(t)) durch wahlweises Unterbrechen und Aufrechterhalten einer Signalverbindung zur Antenne (ANT1) über die Antenne (ANT1) ein pulsformiges Funkensignal (sTx(t)) ausstrahlt,

– und dass der Funkempfänger (2, 3, 4) aus den empfangenen pulsformigen Funkensignalen (sRx(t)) zumindest ein Paar zugehöriger Spektrallinien (f1k, f2k) extrahiert und daraus einen Frequenzversatz und/oder einen Zeitversatz bestimmt, auf dessen bzw. deren Grundlage der Funkempfänger (2, 3, 4) sich auf einen Takt des Funksenders (1, 4) synchronisiert.

19. Verfahren zur Entfernungsmessung und/oder Ortung eines Transponders, wobei ein Funksender (1, 4) mindestens einen Signalgenerator (SGEN1) zum Erzeugen eines kontinuierlichen Signals (sFMTx(t)) und eine Antenne (ANT1) zum Ausgeben eines Sendesignals (sTx(t)) umfasst,

dadurch gekennzeichnet, dass

– der Funksender (1, 4) aus dem kontinuierlichen Signal (sFMTx(t)) durch wahlweises Unterbrechen und Aufrechterhalten einer Signalverbindung zur Antenne (ANT1) über die Antenne (ANT1) ein pulsformiges Funkensignal (sTx(t)) in Richtung des Transponders (5) ausstrahlt,

– und dass der Transponder (5) dieses Signal zu einem Funkempfänger (4) moduliert reflektiert und dass der Funkempfänger (4) aus den empfangenen pulsformigen Funkensignalen (sRx(t)) zumindest eine Spektrallinie (f1k, f2k) extrahiert und daraus eine Entfernung und/oder Position des Transponders (5) bestimmt, auf dessen

bzw. deren Grundlage der Funkempfänger sich auf einen Takt des Funksenders (1, 4) synchronisiert.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 18 oder 19, dadurch gekennzeichnet, dass wobei der Transponder als ein Backscattertransponder (5) ausgeführt ist.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

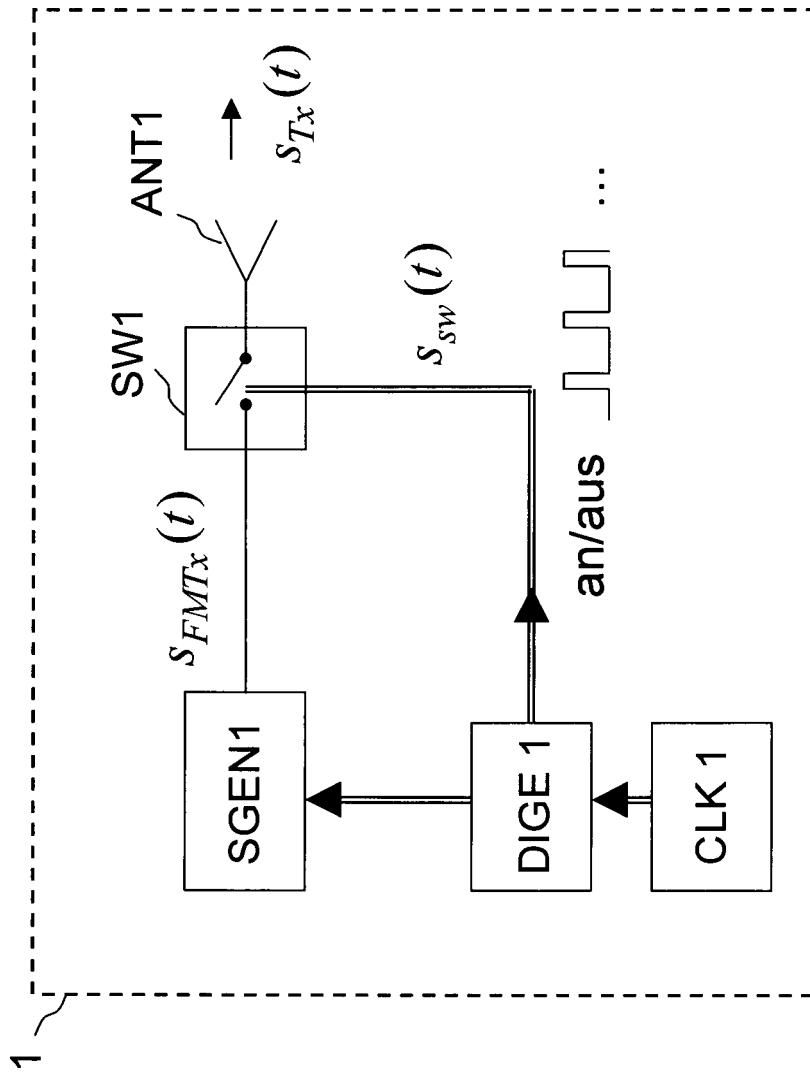


FIG 1

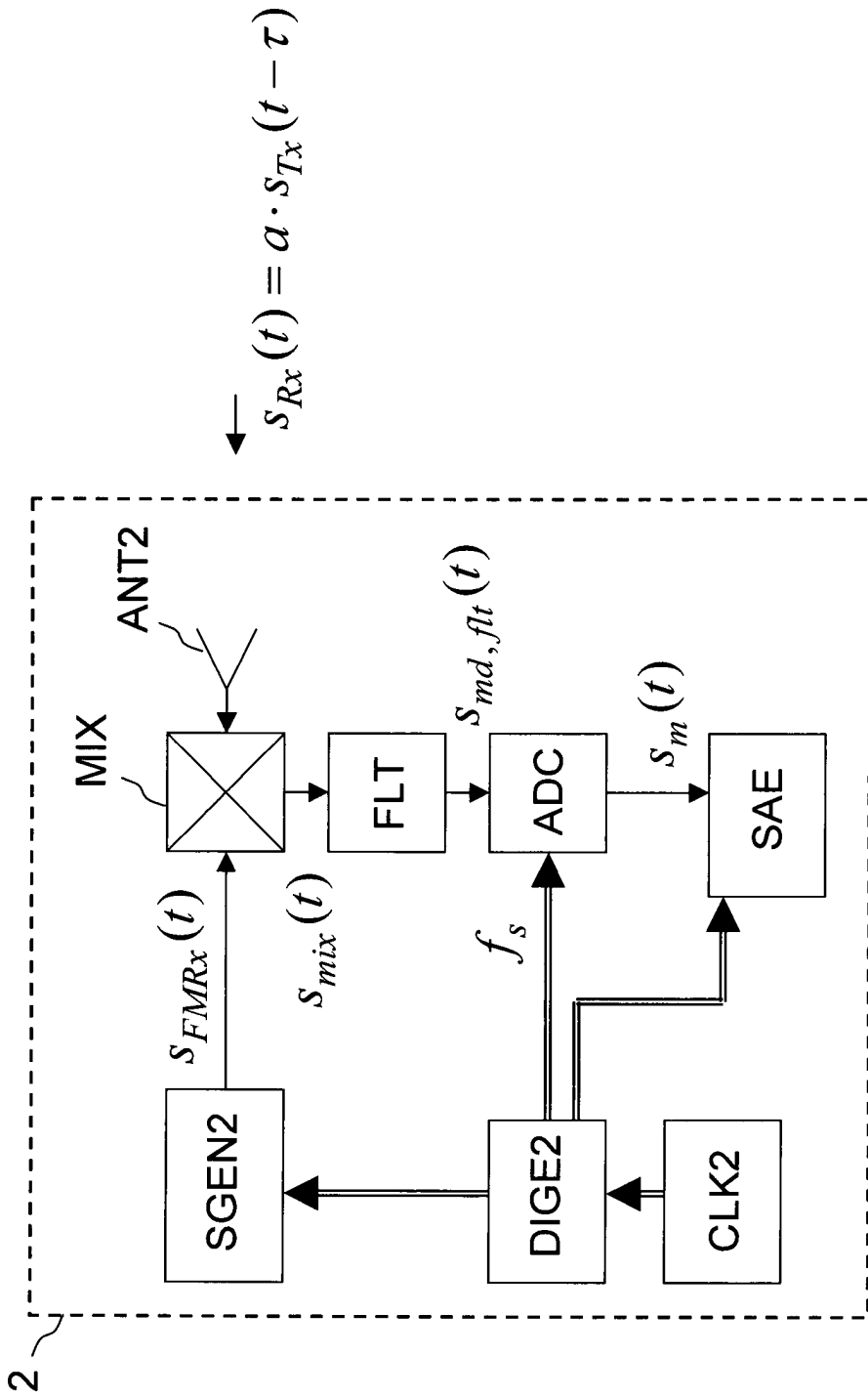


FIG 2

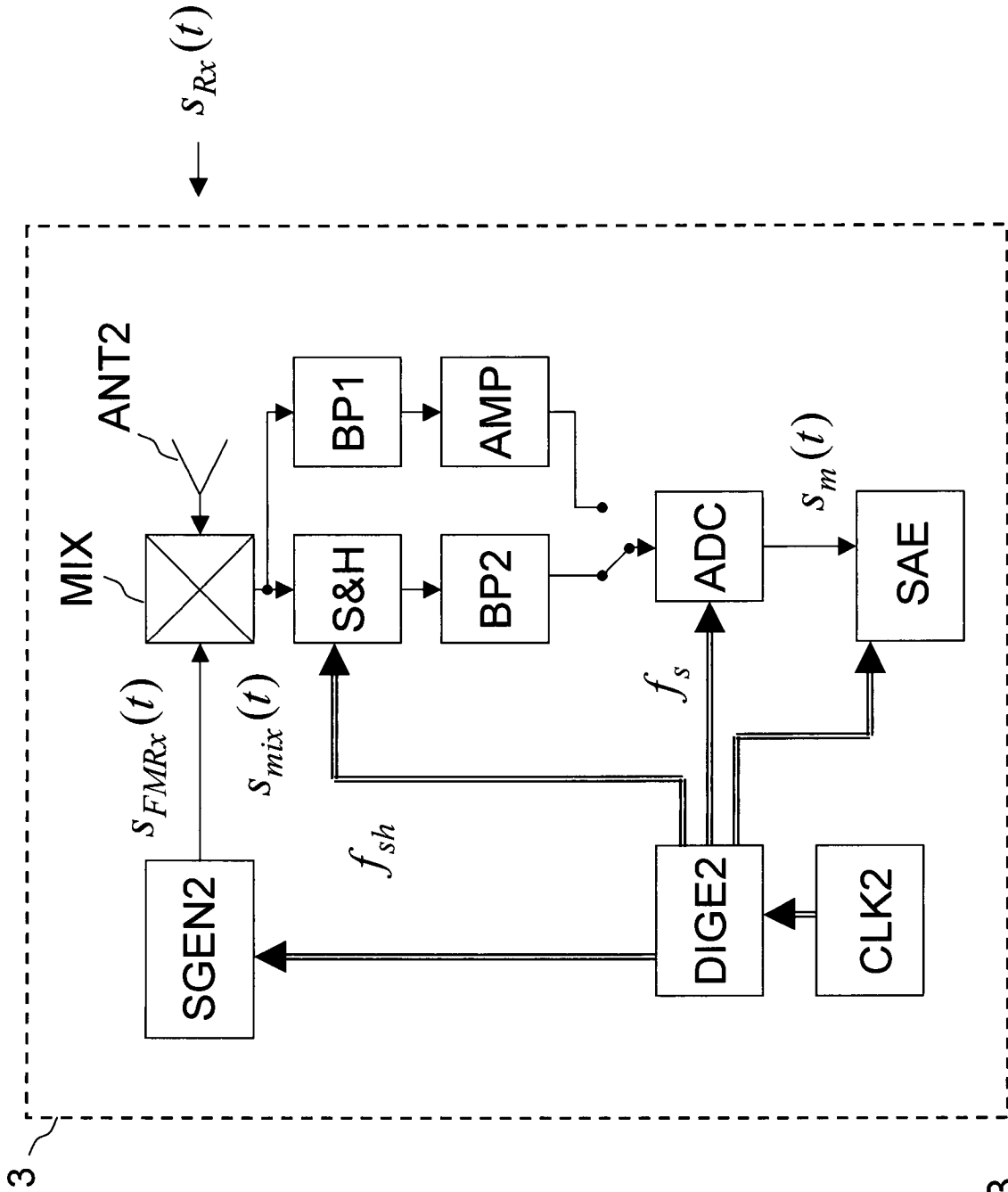


FIG 3

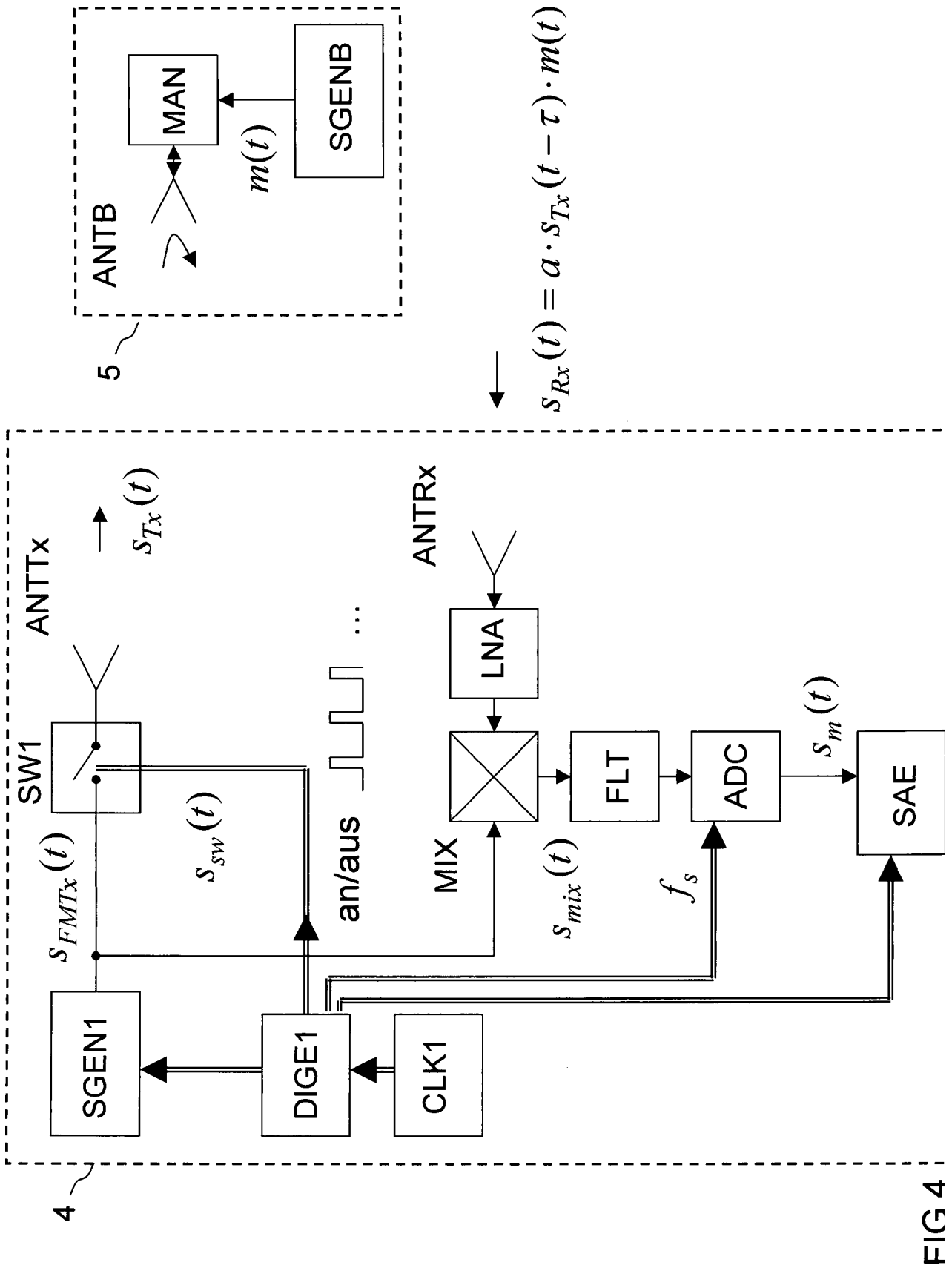


FIG 4

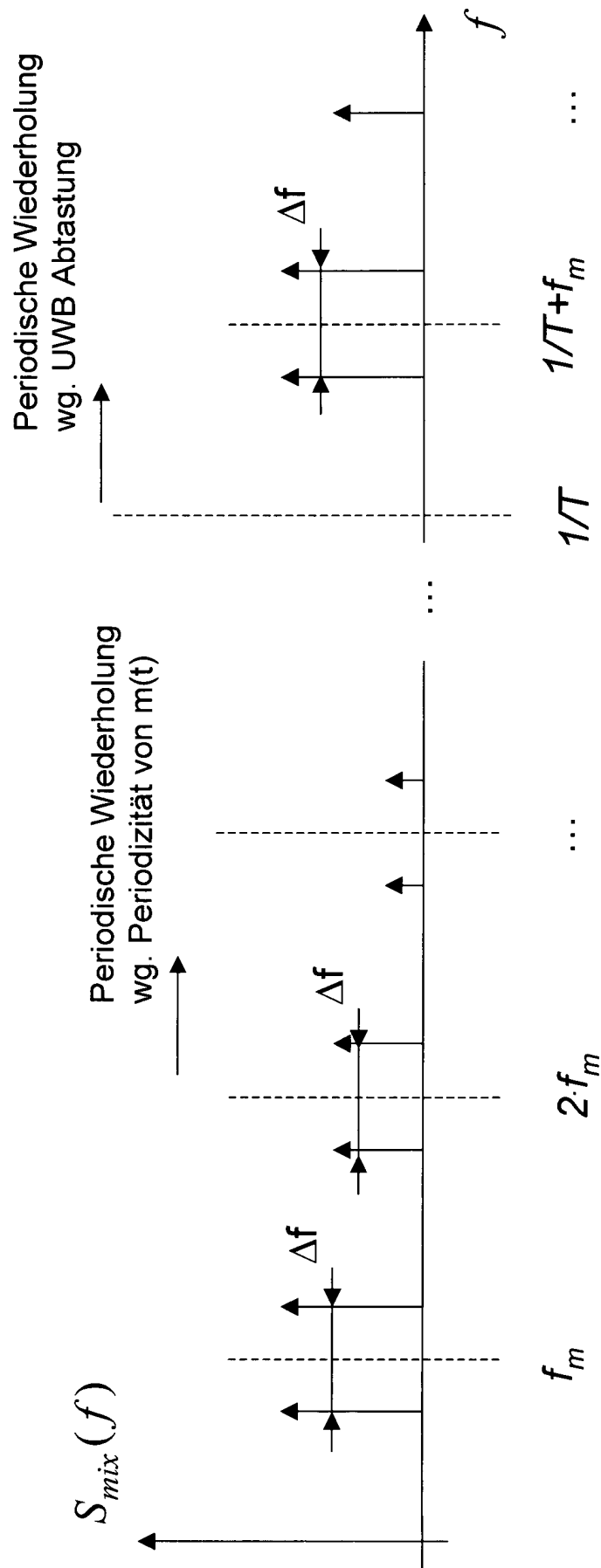


FIG 5

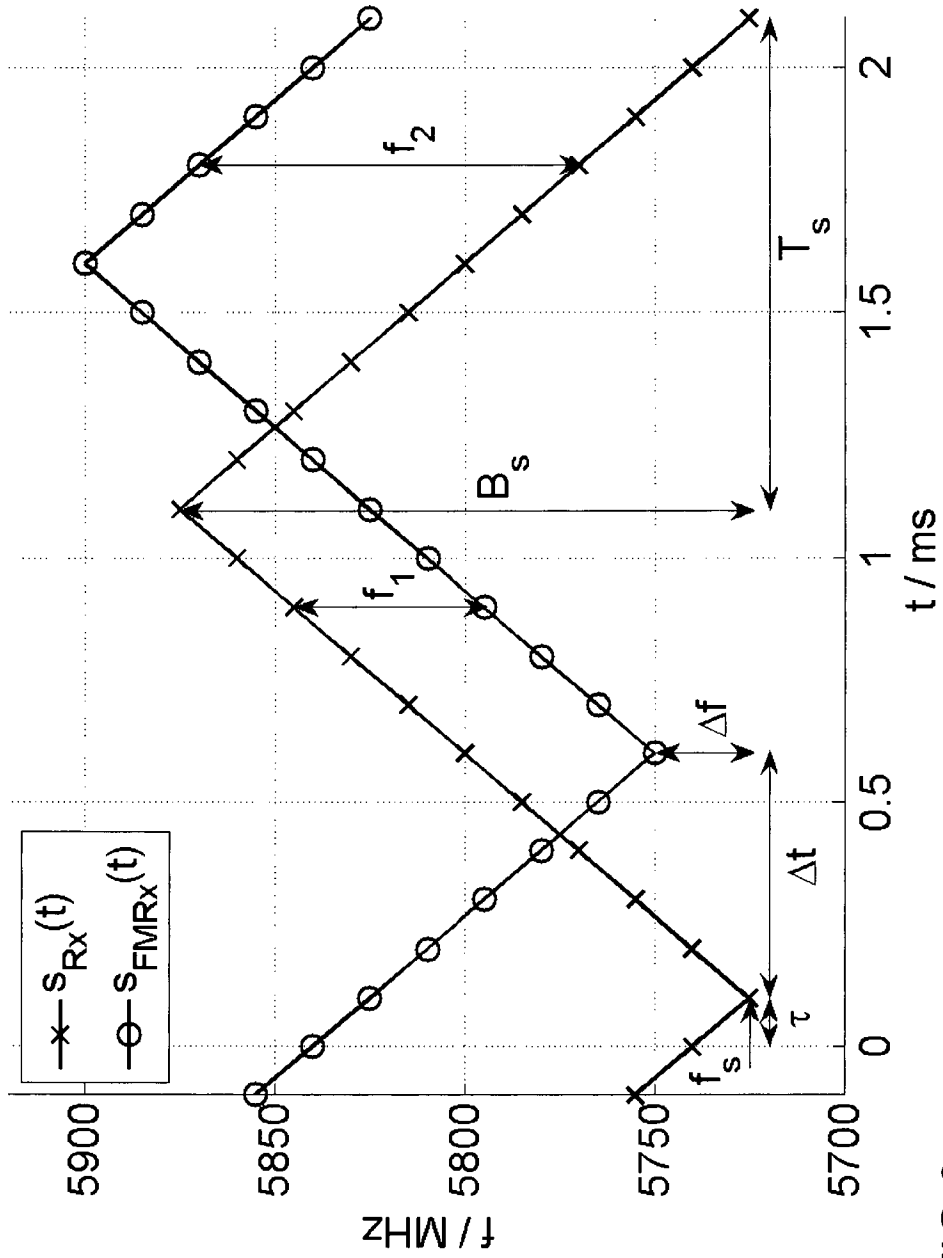


FIG 6