

(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
5. Juni 2003 (05.06.2003)

PCT

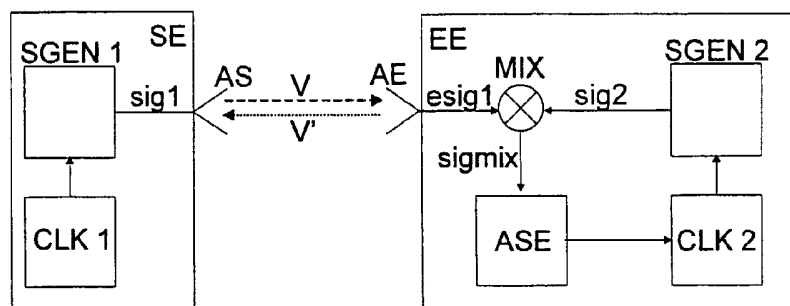
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 03/047137 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: **H04J 3/06** (71) **Anmelder** (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT** [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE02/04263
- (22) Internationales Anmeldedatum: 19. November 2002 (19.11.2002)
- (72) **Erfinder; und**
(75) **Erfinder/Anmelder** (nur für US): **SEISENBERGER, Claus** [DE/DE]; Angersöd 1, 84181 Neufraunhofen (DE).
VOSSIEK, Martin [DE/DE]; An der Renne 18, 31139 Hildesheim (DE).
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (74) **Gemeinsamer Vertreter:** **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).
- (30) **Angaben zur Priorität:**
101 57 931.4 26. November 2001 (26.11.2001) DE
- (81) **Bestimmungsstaaten** (national): CN, JP, US.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title:** METHOD AND DEVICE FOR THE SYNCHRONIZATION OF RADIO STATIONS AND A TIME-SYNCHRONOUS RADIO BUS SYSTEM

(54) **Bezeichnung:** VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR SYNCHRONISATION VON FUNKSTATIONEN UND ZEIT-SYNCHRONES FUNKBUSSYSTEM



(57) **Abstract:** The invention relates to a method for the synchronization of a transmitter station (SE) and a receiver station (EE) which communicate with each other by means of a radio interface (V). A transmission signal (sig1) is produced with a signal source (SGEN1) in the transmitter station (SE) and is transmitted via the radio interface (V). A corresponding receiver signal (esig1) is received in the receiver station (EE) from the radio interface (V) and is evaluated using a receiver signal source signal (sig2) from a signal source (SGEN2) of the receiver adapted to the signal source (SGEN1) of the transmitter. In order to improve synchronization and correction of momentary deviations, the same frequency modulation is applied to the receiver signal source signal (sig2), whereby the receiver signal (esig1) received in the receiver station (EE; SE/EE) is mixed with the receiver signal source signal (sig2) to form a mixed signal (sigmix) and the mixed signal (sigmix) is analysed with respect to frequency unbalance.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Synchronisieren einer Senderstation (SE) und einer Empfängerstation (EE), die über eine Funkschnittstelle (V) miteinander kommunizieren, wobei in der Senderstation (SE) ein Sendesignal (sig1) mit einer Signalquelle (SGEN1) erzeugt und über die Funkschnittstelle (V) ausgesendet wird und in der Empfängerstation (EE) ein entsprechendes Empfangssignal (esig1) von der Funkschnittstelle (V) empfangen und unter Verwendung eines Empfänger-Signalquellensignals (sig2) von einer an die senderseitige Signalquelle (SGEN1) angepassten empfängerseitigen Signalquelle (SGEN2) ausgewertet wird. Zur Verbesserung der Synchronisierung und Korrektur momentaner Abweichungen wird vorgeschlagen, sowohl auf das Sendesignal (sig1) als auch auf das Empfänger-Signalquellensignal (sig2) eine gleiche Frequenzmodulation anzuwenden, wobei das in der Empfängerstation (EE; SE/EE) empfangene Empfangssignal (esig1) mit dem Empfänger-Signalquellensignal (sig2) zu einem Mischsignal (sigmix) gemischt wird und das Mischsignal (sigmix) hinsichtlich einer Frequenzverstimmung analysiert wird.



WO 03/047137 A2



(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR).

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

- hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii) für die folgenden Bestimmungsstaaten CN, JP, europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR)

- Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv) nur für US

Veröffentlicht:

- ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Beschreibung

Verfahren und Vorrichtungen zur Synchronisation von Funkstationen und zeitsynchrones Funkbussystem

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Synchronisation von Funkstationen mit den oberbegrifflichen Merkmalen des Patentanspruchs 1, eine Vorrichtung bzw. ein Bussystem zum Durchführen eines solchen Verfahrens sowie Verwendungsmöglichkeiten dafür.

Bei Mikrowellensystemen ist es üblich, detektierte hochfrequente Signale nicht direkt sondern in Relation zu einem Vergleichssignal auszuwerten. Üblicherweise werden Mischer oder Demodulatoren eingesetzt, mit denen ein detektiertes Signal mit einem Vergleichssignal in ein zumeist niederfrequenteres Band heruntergesetzt wird. Besonders vorteilhaft ist es, wenn das Vergleichssignal einen möglichst exakten Zeit- und Frequenz-Bezug zum detektierten Signal aufweist. Je exakter dieser Bezug ist, desto störsicherer und desto einfacher kann auf die im detektierten Signal enthaltenen Information geschlossen werden. Wird das interessierende Signal von einer Sendestation gesendet und in einer räumlich entfernten Empfangsstation in der beschriebenen Art und Weise empfangen und ausgewertet, so ist dieser gewünschte Zeit- und Frequenzbezug nicht ohne weiteres gegeben, da beide Signal, also das in der Sendestation generierte Sendesignal und das in der Empfangsstation generierte Vergleichssignal, aus unterschiedlichen Quellen stammen bzw. aus unterschiedlichen Quellen abgeleitet wurden.

Daher ist es von generellem Interesse, die Quellen in der Sende- und Empfangsstation in irgendeiner Weise aneinander anzukoppeln. Zu diesem Zweck sind unterschiedliche Verfahren und Anordnungen üblich. Ein einfacher Frequenzbezug kann dadurch realisiert werden, dass im Sender und im Empfänger Oszillatoren mit hoher Frequenzstabilität verwendet werden.

Durch z.B. Temperatur oder Alterungsdriften bleibt hier jedoch immer ein unbekannter Rest-Frequenzversatz. Aufwendigere Anordnungen besitzen Mittel, die geeignet sind, den Rest-Frequenzversatz und/oder den Phasenversatz zu bestimmen. Basierend auf den bestimmten Abweichungsgrößen kann dann z.B. die Vergleichsquelle gesteuert oder geregelt werden. Hierzu werden unterschiedlichste Frequenz- und Phasenregelschleifen eingesetzt. Diese Verfahren sind in aller Regel sehr aufwendig und störanfällig, insbesondere dann, wenn die Quelle der Sendequelle, auf die eingeregelt werden soll, nicht die einzige Quelle von Sendesignalen in der Umgebung der Empfangsstation ist.

Existiert ein Rest-Frequenzversatz, so können die Phasen der beiden Quellen in keinem festen Bezug stehen, wobei die Phasen im Prinzip einer Zeitgröße entsprechen. Wird z.B. von der Sendestation eine Zeitmarke gesendet und von der Empfangsstation detektiert, so stimmen beide Zeitreferenzen nur für kurze Zeit überein und laufen dann je nach Rest-Frequenzversatz mehr oder weniger schnell auseinander, da der Takt der "Uhren" nicht genau gleich schnell ist. Des Weiteren ist es nur sehr schwer möglich, sehr exakte Zeitmarken zu senden, da z.B. die Flanken eines Bits nicht beliebig steil sein können, da die zugelassenen Bandbreiten bei Funksystemen gesetzlichen Beschränkungen unterliegen.

Daher bestehen bei Funksystemen häufig folgenden Probleme:

Bei Funksystemen im Zeitmultiplexbetrieb sendet eine Sendestation ein Signal zu einer Empfangsstation, die ihrerseits auf dieses Signal nach einem vereinbarten Zeitintervall antwortet. Läuft die "Uhr" in der Empfangsstation nicht exakt synchron zu der "Uhr" in der Sendestation, so ist der Antwortzeitpunkt der Sendestation nie exakt bekannt. Dies verhindert z.B., dass basierend auf der Laufzeit der übertragenen Signale der räumliche Abstand zwischen Sende- und Empfangsstation bestimmt werden kann. Auch erschwert dies, ins-

besondere bei sehr breitbandig arbeitenden Funksystemen, die Demodulation bzw. die Informations-Extraktion der Empfangssignale.

Bei zeitsynchronen komplexen Funkbussystemen besteht teilweise die Aufgabe, von einer Masterstation eine oder mehrere Informationen an unterschiedliche Slave-Empfangsstationen zu übertragen. Beinhaltend diese Informationen z.B. Handlungsanweisungen, so ist es bei einigen Anwendungen wünschenswert, dass diese angewiesenen Handlungen zeitsynchronisiert ablaufen, z.B. wenn bei einer Werkzeugmaschine per Funk mehrere Bearbeitungseinrichtungen angesprochen werden, deren Arbeitsabläufe aber zeitlich sehr kritisch gekoppelt sind. Aus den oben genannten Gründen ist eine solche Zeitsynchronität im Allgemeinen bei Funkbussystemen nicht gegeben. Zum einen werden die Anweisungen zu den einzelnen Slave-Empfangsstationen zumeist sequentiell gesendet zum anderen dauern die angewiesenen Handlungen oft relativ lange. D.h. die "Uhren" in allen Funkstationen müssen sehr exakt synchronisiert sein, um derartige Anwendungen bedienen zu können. Eine Synchronisation, mit z.B. der gängigen DCF-77-Funkuhr, ist häufig wesentlich zu ungenau und mit z.B. GPS-basierten Uhren (GPS: Global Positioning System) häufig zu aufwendig und teilweise auch noch zu ungenau.

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Verfahren bzw. eine Vorrichtung vorzuschlagen, welche eine verbesserte Synchronisierung von zwei Stationen ermöglichen, die über eine Funkverbindung miteinander kommunizieren.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren zur Synchronisation von Funkstationen mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1, eine Vorrichtung zum Durchführen eines solchen Verfahrens mit den Merkmalen des Patentanspruchs 17, ein Bussystem mit den Merkmalen des Anspruchs 19 bzw. Verwendungen eines solchen Verfahrens mit den Merkmalen der Ansprüche 20 bzw. 21 gelöst.

Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand abhängiger Ansprüche.

Zweckmäßigerweise wird bei einem Verfahren zum Synchronisieren einer Senderstation und einer Empfängerstation, die über eine Funkschnittstelle in einem funk- oder leitungsgestützten Kommunikationssystem miteinander kommunizieren, wobei in der Senderstation ein Sendesignal mit einer Signalquelle erzeugt und über die Funkschnittstelle ausgesendet wird und in der Empfängerstation ein entsprechendes Empfangssignal von der Funkschnittstelle empfangen und unter Verwendung eines Empfänger-Signalquellensignals von einer an die senderseitige Signalquelle angepassten empfängerseitigen Signalquelle ausgewertet wird, zur jeweils aktuellen Anpassung der Synchronisation sowohl auf das Sendesignal als auch auf das Empfänger-Signalquellensignal eine gleichartige Frequenzmodulation angewendet, wobei das in der Empfängerstation empfangene Empfangssignal mit dem Empfänger-Signalquellensignal zu einem Mischsignal gemischt wird und das Mischsignal hinsichtlich einer Frequenzverstimmung analysiert wird.

Frequenzmodulationen können insbesondere als eine lineare oder streckenweise lineare Rampe mit kontinuierlich steigender und/oder abfallender Frequenz sein. Anstelle einer Rampe können auch beliebige andere Modulationen verwendet werden.

Unter Berücksichtigung eines Proportionalitätswertes, der in einfachen Fällen gleich Eins setzbar ist, sind in der Regel ein konstanter Frequenzdifferenzwert und ein Zeitversatz der Signale zueinander bestimmbar. Zur Lösung kann ein einfaches Gleichungssystem verwendet werden.

Ein solches Verfahren kann in entsprechend ausgestatteten Empfängervorrichtungen oder kombinierten Sende-/ Empfänger-vorrichtungen durchgeführt werden, die für die Modulation Parameter verwenden, welche in dieser Form auch in den Sendeeinrichtungen bei der Signalerzeugung verwendet werden. Ins-

besondere bei Verfahren mit einer Anpassung der Modulation an die momentanen Bedürfnisse sind auch die Sendeeinrichtungen so auszustatten, dass bei der Sendesignalerzeugung verschiedene Modulationsparameter generell oder auf Anforderung durch die damit kommunizierende Empfängerstation hintereinander verwendet werden.

Ein zeitsynchronisiertes Bussystem mit zumindest einer Hauptstation und einer Vielzahl von damit kommunizierenden Kommunikationseinrichtungen ist in vielen technischen Bereichen einsetzbar, beispielsweise zur Steuerung technischer Anlagen mit einer zentralen Hauptstation und einer Vielzahl von Arbeitsstationen, die durch die zentrale Hauptstation gesteuert werden.

Ein Ausführungsbeispiel wird nachfolgend anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 zwei miteinander kommunizierende Funkstationen;

Fig. 2 zwei Signalformen, wie sie durch einen ersten Signalgenerator in einer Sendeeinrichtung bzw. einen zweiten Signalgenerator in einer Empfangseinrichtung erzeugt werden;

Fig. 3 das Spektrum eines frequenzmodulierten Signals;

Fig. 4 Signale mit verschiedenen Frequenzverläufen;

Fig. 5 eine Ausführungsform einer bevorzugten Sende-/ Empfangseinrichtung;

Fig. 6 eine Hauptstation, die mit mehreren Kommunikationseinrichtungen kommuniziert und

Fig. 7 verschiedene Amplitudenspektren von Frequenzkomponenten.

Wie aus Fig. 1 ersichtlich, besteht eine Sendeeinrichtung SE aus verschiedenen Einrichtungen, von denen nachfolgend zur Vereinfachung nur die hier relevanten beschrieben werden. Dies sind insbesondere ein Signalgenerator SGEN 1 zum Erzeugen eines Sendesignals sig1 sowie eine Takteinrichtung CLK 1 zum Erzeugen eines Taktes zum Anregen des Signalgenerators SGEN 1.

Die Sendeeinrichtung SE erzeugt über den Signalgenerator SGEN 1 das Sendesignal sig1, welches über eine Sendeantenne AS über eine Funkschnittstelle V in Richtung der Empfangseinrichtung EE abgestrahlt wird. Die Form des Signals sig1 ist fest vorgegeben, z.B. eine dreieckförmig frequenzmodulierte Rampe, wie in Fig. 2 dargestellt ist. Lediglich Frequenz f und Dauer $2 \cdot T$ des Signals sig1 werden durch einen Basistakt, der in der Takteinrichtung CLK1 der Sendeeinrichtung SE erzeugt wird und die Dauer $2T$ hat, skaliert.

Die Empfangseinrichtung EE ist in weiten Teilen gleichartig aufgebaut. In dieser wird in gleicher Weise wie in der Sendeeinrichtung SE ein Signal sig2 erzeugt. Zur Signalerzeugung dient wiederum ein Signalgenerator SGEN 2, der mit Hilfe eines Taktes von einer Takteinrichtung CLK 2 angeregt wird. Die Form des Signals sig2 soll der Form des Signals sig1 entsprechen. Der Skalierungsfaktor vom Signal sig2, der durch die Takteinrichtung CLK2 bestimmt wird, ist aber im Allgemeinen, d.h. im unsynchronisierten Fall, zunächst unterschiedlich zu dem vom Signal sig1 der Sendeeinrichtung SE. Auch besteht im Allgemeinen zunächst ein Zeit- und Frequenzoffset zwischen diesen Signalen sig1 und sig2.

Das über eine Antenne AE der Empfangseinrichtung EE empfangene Signal, welches zuvor von der Sendeeinrichtung SE erzeugt und gesendet wurde, wird mit einem Mischer MIX mit dem Signal

sig2 gemischt. Das Mischsignal sigmix wird einer Auswerte- und Steuereinrichtung ASE zugeführt, die das Mischsignal sigmix analysiert und basierend auf dem Auswerteergebnis den Takt der Takteinrichtung CLK2 derart modifiziert, dass die Sendeeinrichtung SE und die Empfangseinrichtung EE möglichst synchron laufen.

Das Verfahren zur Synchronisation wird für eine besonders vorteilhafte Signalform im Folgenden näher beschrieben. Als Signalform wird vorzugsweise eine dreieckförmig frequenzmodulierte Rampe, wie sie in Fig. 2 dargestellt ist, verwendet. Von einer Startfrequenz f_{start} ausgehend, wird die Frequenz f des sinusförmigen Sendesignals sig1 direkt linear oder auch linear in Stufen in der Zeit T zunächst bis zu einer Stoppfrequenz f_{stop} erhöht und dann in gleicher Weise wieder bis zur Ausgangsfrequenz f_{start} verringert. Diese Modulation wird vorzugsweise zyklisch wiederholt. Dabei sind die exakten Werte von der Startfrequenz f_{start} , von der Stoppfrequenz f_{stop} und von der Zeit T der Takteinrichtung CLK1 abhängig und daher in dem Rahmen, in dem der Basistakt von der Takteinrichtung CLK1 schwanken kann, unbekannt. Das Signal sig2 der Empfangseinrichtung EE wird in gleicher Weise erzeugt. Anhängig von der Takteinrichtung CLK2 der Empfangseinrichtung EE unterscheidet sich das Signal sig2 der Empfangseinrichtung EE aber bezüglich der Startfrequenz f_{start} , der Stoppfrequenz f_{stop} und der Zeit T von dem Sendersignal sig1 und es besteht ein zunächst beliebiger Zeitversatz bzw. Zeitoffset zwischen den Signalen sig1 und sig2.

Wird zunächst davon ausgegangen, dass die in dem System verwendeten Signalfrequenzen deutlich größer sind als die Modulationsbandbreite B der zur Synchronisation dienenden Signale sig1 und sig2 und dass die Basistakte von den beiden Takteinrichtungen CLK1 und CLK2 in der selben Größenordnung liegen, so kann man den Unterschied zwischen dem Signal sig1 der Sendeeinrichtung SE und dem Signal sig2 der Empfangseinrichtung EE hinreichend genau durch einen Frequenzversatz Δf und ei-

nen Zeitoffset τ beschreiben. Die zumeist leicht unterschiedliche Steigung der Rampen kann bei den genannten Voraussetzungen, die bei üblichen praktischen Ausführungen von Funksystemen im allgemeinen gegeben sind, vernachlässigt werden. In dem Mischer MIX, dem üblicherweise ein Tiefpassfilter nachgeschaltet ist, welches die hochfrequenten Mischanteile eliminiert, wird, wie dies für sich genommen allgemein bekannt ist, die Frequenzdifferenz Δf zwischen den beiden Signalen sig1 und sig2 bestimmt.

Es entstehen folgende Mischfrequenzen:

- 1) ein nahezu monofrequentes Signal mit einer Frequenz f_{up} , wenn sich sowohl das Sendersignal sig1 als auch das Empfängersignal sig2 im steigenden Teil der Rampe befinden,
- 2) ein nahezu monofrequentes Signal mit einer Frequenz f_{dn} , wenn sich sowohl das Sendersignal sig1 als auch das Empfängersignal sig2 im fallenden Teil der Rampe befinden und
- 3) ein stark frequenzmoduliertes Signal modsig, wenn die Rampen der beiden Signale sig1 und sig2 ein umgekehrtes Vorzeichen besitzen, was in Fig. 2 als schraffierter Bereich gekennzeichnet ist.

Wird nun eine Spektralanalyse über die gemischten Signale durchgeführt, vorzugsweise über die Dauer $2T$ einer kompletten Dreiecksrampe des Empfängersignals sig2, so ergibt sich das in Fig. 3 dargestellte Spektrum. Die Amplituden der monofrequenten Signalanteile A_{sig} sind um so höher, desto geringer der Zeitoffset τ zwischen den Signalen sig1 und sig2 ist. Die Amplitude des breitbandigen Signals modsig ist im Allgemeinen deutlich kleiner als die monofrequenten Signalanteile A_{sig} , außer in dem Spezialfall, in dem die Signale sig1 und sig2 relativ genau um T versetzt sind, da die Signalenergie auf eine große Bandbreite verteilt wird. Aus diesem Spektrum sind die beiden Frequenzen f_{up} und f_{dn} der monofrequenten Signale

zu bestimmen. Sind diese bekannt, so kann die Empfangseinrichtung EE sehr genau auf die Sendeeinrichtung SE synchronisiert werden.

Das Verfahren ist nicht nur auf die Signalform, die in Fig. 2 dargestellt ist, anzuwenden. Werden rampenförmige Signale verwendet, ist es lediglich notwendig, zwei Rampenäste mit unterschiedlichen Steigungen zu verwenden, um so zu zwei unterschiedlichen Frequenzwerten zu gelangen, mit denen dann der Frequenzversatz Δf und der Zeitoffset T_{off} berechnet werden können. Zur Erläuterung des Synchronisationsprinzips wird nun als Beispiel ein etwas allgemeinerer Fall betrachtet.

Es wird angenommen, dass, wie dargestellt, zwei linear frequenzmodulierte Signale, sogenannte Sweeps, miteinander gemischt werden. Die Modulationsbandbreite B der Signale sei deutlich kleiner als ihre Mittenfrequenz. Die Signalanteile bei der doppelten Grundfrequenz werden, wie bei solchen Mischieranordnungen üblich, durch ein Tiefpassfilter unterdrückt. Die Sweepraten, d.h. Änderungen der Frequenz pro Zeit der beiden Signale sig1 und sig2 unterscheiden sich um einen Proportionalitätswert α , und die Startfrequenzen der beiden Sweeps weichen um den konstanten Wert Δf voneinander ab. Zudem besitzen die Signale einen Zeitoffset T_{off} zueinander. Man kann zeigen, dass sich in diesem Fall die Momentanfrequenz $f_{\text{sigmix}}(t)$ des in der Empfangseinrichtung EE gemischten Signals sigmix , das in der Auswerteeinrichtung ASE analysiert werden soll, wie folgt ergibt:

$$f_{\text{sigmix}}(t) = \alpha \cdot \mu \cdot t + \Delta f + \alpha \cdot \mu \cdot (t - T_{\text{off}}) - 2 \cdot \mu \cdot t + \mu \cdot \tau,$$

wobei μ die Sweeprate und τ die Laufzeit des Signals von der Sendeeinrichtung SE zur Empfangseinrichtung EE darstellt. Wird nun $f_{\text{sigmix}}(t)$ nacheinander für zwei verschiedene Sweepraten μ_1 und μ_2 gemessen und angenommen, dass sich die zunächst im unsynchronisierten Fall unbekannten Größen Δf , T_{off} und α nicht oder zumindest nur sehr wenig zwischen den beiden Mes-

sungen ändern, so ergibt sich ein übliches Gleichungssystem mit den folgenden Lösungen für Δf und T_{off} :

$$\Delta f = \frac{f_{b2}(t) \cdot \mu_1 - f_{b1}(t) \cdot \mu_2}{\mu_1 - \mu_2} \quad \text{bzw.}$$

$$T_{\text{off}} = \frac{(f_{b2}(t) - f_{b1}(t)) + 2 \cdot t \cdot \alpha \cdot (\mu_1 - \mu_2) - 2 \cdot t \cdot (\mu_1 - \mu_2) + \tau \cdot (\mu_1 - \mu_2)}{\alpha \cdot (\mu_1 - \mu_2)}.$$

Abhängig von der jeweiligen Systemtopologie und den sich daraus ergebenden Zusammenhängen oder möglichen Vereinfachungen kann mit diesen beiden Gleichungen im Allgemeinen sehr einfach eine hochgenaue Synchronisation der beiden Stationen erfolgen. Im folgenden werden einige typische Möglichkeiten zur Synchronisation dargestellt.

Zur Bestimmung des Frequenzversatzes Δf reicht es aus, wenn der Faktor bzw. Quotient k zwischen den beiden verschiedenen Sweepraten, also $k = \mu_1 / \mu_2$, bekannt ist. In diesem Fall ergibt sich der Frequenzversatz Δf auch ohne dass die exakte Sweeprate bekannt sein muss zu

$$\Delta f = \frac{f_{b1}(t) - k \cdot f_{b2}(t)}{1 - k}.$$

Wird z.B. $\mu_1 = -\mu_2$ also $k = -1$ gewählt, was technisch sehr einfach zu realisieren ist, so ergibt sich

$$\Delta f = \frac{f_{b1}(t) + f_{b2}(t)}{2}.$$

Zur Bestimmung des Zeitoffsets T_{off} ist es notwendig, Annahmen bezüglich des Proportionalitätsfaktors α zu treffen. Häufig ist es möglich, den Proportionalitätsfaktor vereinfacht als $\alpha = 1$ und die Sweepraten μ_1 und μ_2 als bekannt anzunehmen. Da die Mittenfrequenz von üblichen Funksystemen im Allgemeinen deutlich größer als die Modulationsbandbreite B ist, wirken sich relative Ungenauigkeiten auf die Größe Δf deutlich

stärker aus als auf die Abweichung der Sweepraten. Für den Zeitoffset T_{off} ergibt sich unter diesen Annahmen

$$T_{\text{off}} = \frac{f_{b2}(t) - f_{b1}(t)}{\mu_1 - \mu_2} + \tau.$$

Folglich ist der Zeitoffset T_{off} bis auf die Signallaufzeit τ bekannt und die beiden Funkstationen SE und EE können auch bezüglich der Zeit t synchronisiert werden.

Ist die vereinfachte Annahme $\alpha = 1$ nicht zulässig, so wird folgende Systemtopologie und Auswertung vorgeschlagen. Wird das Signal einer Station, d.h. sowohl die Mittenfrequenz als auch die Modulation aus einer gemeinsamen Referenzfrequenzquelle hergeleitet, z.B. so, wie dies später in Fig. 5 dargestellt wird, also z.B. durch Mischen, Vervielfachen oder mit Hilfe von Phasen/Frequenz-Regelkreisen, so steht der Proportionalitätsfaktor α immer in einem arithmetischen Verhältnis zum Frequenzversatz Δf . Wird also zunächst der Frequenzversatz Δf wie oben beschrieben bestimmt, so kann daraus der Proportionalitätsfaktor α und demzufolge danach auch der Zeitoffset T_{off} eindeutig abgeleitet werden.

Wird das Empfängersignal sig2 bzw. die Takteinrichtung CLK2 mit den hergeleiteten Zusammenhängen um die entsprechenden Werte Δf und T_{off} korrigiert, so laufen die Sendeeinrichtung SE und die Empfangseinrichtung EE synchron, d.h. sowohl die Signale sig1 und sig2 sind nahezu identisch als auch die Taktsignale in CLK1 und CLK2 sind nahezu gleich. Folglich bleibt die Synchronisation auch über längere Zeiträume bestehen.

Betrachtet man die beiden Funkstationen SE und EE anschaulich als Uhren, so laufen die Uhren nach erfolgreicher Synchronisation gleich schnell und bis auf die Signallaufzeit τ auch absolut exakt gleich.

Im synchronisierten Fall ist die Mischfrequenz $f_{\text{sigmix}}(t)$ keine Funktion der Zeit mehr, sondern konstant. Weicht der Proportionalitätsfaktor α nur wenig von 1 ab, so kann auch im unsynchronisierten Fall die Zeitabhängigkeit von f_{sigmix} vernachlässigt werden, was die Auswertung deutlich vereinfacht, da dann das Mischsignal f_{sigmix} mit üblichen Spektralanalysemethoden, wie etwa der Fouriertransformation gemittelt über die gesamte Messdauer bestimmt werden kann und nicht die Momentanfrequenz, d.h. die Ableitung der Signalphase bestimmt werden muss.

Im folgenden werden nun wieder die Signalformen wie in Fig. 2 dargestellt angenommen. Die Ausführungen sind aber natürlich auch auf den allgemeinen Fall zu übertragen. Bei der Ausführung des Systems sind folgende Verbesserungen der Synchronisationsprozedur vorteilhaft. Wie dies vorstehend dargestellt wurde, kann es sein, dass die Signale sig1 und sig2 relativ genau um die Zeit T versetzt sind und daher die beiden Frequenzen f_{up} und f_{dn} nicht oder nicht eindeutig zu detektieren sind. Vorzugsweise behandelt man diesen Spezialfall derart, dass das Empfängersignal sig2 immer dann um vorzugsweise die halbe Zeit $T/2$ versetzt wird und eine neue Messung gestartet wird, wenn im Spektrum nicht eindeutig die beiden Frequenzen f_{up} und f_{dn} zu detektieren sind.

Um den benötigten Frequenzbereich zur Detektion des Mischsignals sigmix in der Auswerte- und Steuereinrichtung ASE gering zu halten und um etwaige bisher vernachlässigte unterschiedliche Rampensteilheiten im nicht-synchronisierten Fall handhaben zu können, wird die Synchronisation vorzugsweise adaptiv in mehreren Schritten durchgeführt. Hierzu wird die Ausführung aus Fig. 1 vorzugsweise um eine Funkkommunikationsstrecke V' von der Empfangseinrichtung EE zur Sendeeinrichtung SE erweitert. Diese Funkkommunikationsstrecke V' kann nach einem beliebigen Stand der Technik ausgeführt sein und ist hier daher auch nicht näher ausgeführt. Wichtig ist lediglich, dass die Empfangseinrichtung EE Meldungen an die

Sendeeinrichtung SE übertragen kann, um den Synchronisationsablauf zu steuern. Vorzugsweise beginnt man die Synchronisation genau wie oben beschrieben, aber mit einer deutlich verringerten Modulationsbandbreite B . Auch bei zunächst großen Zeitoffsetwerten τ sind die beiden Frequenzen f_{up} und f_{dn} bei weitem nicht so groß, wie wenn die volle Modulationsbandbreite B gewählt worden wäre. Allerdings ist auch die Synchronisation nur entsprechend ungenauer durchzuführen. Basierend auf diesen Werten von den Frequenzen f_{up} und f_{dn} wird daher zunächst eine erste grobe Synchronisation durchgeführt. Sobald diese erste Synchronisation erfolgt ist, teilt die Empfangseinrichtung EE der Sendeeinrichtung SE dies über die Funkschnittstelle V mit. In der Sendeeinrichtung SE und der Empfangseinrichtung EE wird dann die Modulationsbandbreite B erhöht und eine exaktere Synchronisation durchgeführt. Da vor diesem zweiten Schritt schon eine erste Synchronisation erfolgte, sind auch bei erhöhter Bandbreite im zweiten Schritt keine hohen Frequenzen f_{up} und f_{dn} zu erwarten. Die genannten Schritte werden dann bei weiterer Erhöhung der Bandbreite bis zur vollen Modulationsbandbreite B wiederholt. Üblicherweise reichen wenige Schritte, z.B. 1/100 Bandbreite, 1/10 Bandbreite und volle Bandbreite für eine sichere und exakte Synchronisation aus.

Will man auf die zusätzliche Funkkommunikationsstrecke V verzichten, so kann man die schrittweise Synchronisation auch wie folgt realisieren. Die Sendeeinrichtung SE sendet repetierend mehrere Dreiecksrampen mit unterschiedlicher Bandbreite vorzugsweise direkt hintereinander, z.B. N Rampen. Bei $N=3$ ergäben sich z.B. 1/100 Bandbreite, 1/10 Bandbreite und volle Bandbreite, 1/100 Bandbreite, 1/10 Bandbreite usw. Zu Beginn der Synchronisation wird, wie dies auch aus Fig. 4 ersichtlich ist, für das Empfängersignal $sig2$ das Rampensignal mit der geringsten Bandbreite gewählt und dieses mindesten N mal wiederholt. Auch die Frequenzanalyse wird vorzugsweise über einen zeitlichen Bereich von $2NT$ durchgeführt. Die oben dargestellten Frequenzen von f_{up} und f_{dn} ergeben sich dann für

eines der N Rampenpaare. Ist diese erste Synchronisation erfolgt, so wird für das Empfängersignal sig2 das Rampensignal mit der nächst höheren Bandbreite in gleicher Weise verwendet usw., bis die N Rampen dieses Signals sig2 die volle Bandbreite erreicht haben.

Alternativ könnte eine erste Synchronisation der Mittenfrequenzen auch mit einem unmodulierten CW-Signal (Continuous Wave = Dauerstrich-Signal) erfolgen und in einem oder mehreren Schritten danach der Zeitoffset T_{off} wie zuvor beschrieben korrigiert werden.

Der Mischer Mix kann sowohl als reellwertiger Mischer als auch als Quadraturmischer, der Real- und Imaginärteil des Mischsignals sigmix erzeugt, ausgeführt sein. Wird das Mischsignal sigmix reellwertig gemessen, so werden die negativen Frequenzen im Spektrum, wie allgemein bekannt ist, am Nullpunkt gespiegelt in den positiven Frequenzbereich geklappt. Bei Verwendung eines reellwertiger Mischsignals sigmix kann es sinnvoll sein, für das Mischsignal sigmix eine bestimmte von Null verschiedene Zwischenfrequenz f_{zf} zu wählen, also z.B. das Mischsignal sig2 so zu wählen, dass der Frequenzversatz Δf auch nach kompletter Synchronisation nicht Null ist, sondern der Zwischenfrequenz f_{zf} entspricht.

Die Auswerte- und Steuereinrichtung ASE umfasst, wie auch aus dem Beispiel der Fig. 5 ersichtlich, vorzugsweise einen Analog/Digital-Wandler AD, einen Speicher zur digitalen Aufzeichnung des Mischsignals sigmix und einen Prozessor μP zur Spektralanalyse und zur Steuerung der Takteinrichtung CLK2 bzw. zur Erzeugung und Steuerung des Signals sig2 der Empfangseinrichtung EE.

Die Signalgeneratoren werden vorzugsweise unter Verwendung eines Frequenzsynthesizers mit Phasenregelschleife, eines digitalen Signalgenerators oder eines DDS-Bausteins (Direct Digital Synthesis) ausgeführt. Der Frequenzsynthesizer kann

nach einem beliebigen Stand der Technik, z.B. mit programmierbaren fraktionalen oder ganzzahligen Teilern oder mit einem DDS-Baustein ausgeführt sein. Ob die Signale wie dargestellt über die Takteinrichtungen CLK1 und CLK2 oder über andere Mittel, z.B. direkt über einen Frequenzsynthesizer oder eine DDS-Anordnung angepaßt werden oder ob das Signalmuster des Signalgenerators neu berechnet wird, ist natürlich für die Funktion des Verfahrens nicht entscheidend, solange die resultierenden Signale sig1 und sig2 und deren beschriebene Anpassung den obigen Ausführungen entsprechen bzw. auf diese zurückzuführen sind.

Üblicherweise werden die Signalformen in einem niederfrequenten Basisband erzeugt und dann mit Hilfe eines Festfrequenzoszillators z.B. in den Mikrowellenbereich hochgemischt. Generell ist das Verfahren natürlich nicht auf einen bestimmten Frequenzbereich bzw. auf eine bestimmte Wellenart festgelegt sondern z.B. bei akustischen Wellen, elektromagnetischen Wellen anwendbar. Wichtig ist lediglich die Modulierbarkeit der Quelle und die Möglichkeit, die Signale sig1 und sig2 zu mischen. Der Mischvorgang, z.B. eine Multiplikation, kann natürlich auch bei geeigneten Frequenzen arithmetisch in einer Recheneinrichtung erfolgen.

Eine mögliche Ausführungsform zeigt Fig. 5. Das System ist hier so ausgeführt, dass die Station sowohl als Sende- als auch als Empfangseinrichtung fungieren kann.

Im wesentlichen besteht diese kombinierte Station aus einer Antenne A zum Senden und Empfangen von Signalen sig1 bzw. sig2. An die Antenne ist ein Schalter SW angeschlossen, der zwischen einer Empfangs- und einer Sendebetriebsart umschaltet und die Antenne A an entsprechende Baugruppen ankoppelt. Der Ausgang des Schalters SW für empfangene Signale sig1 ist mit einem Mischer MIX verbunden. Ein zweiter Eingang des Mixers MIX ist mit einer Signalquelle VCO verbunden, wie dies vorstehend beschrieben ist. Der Ausgang des Mixers

MIX, über den das Mischsignal sigmix ausgegeben wird, ist mit einem Filter FLT1 verbunden, dessen Ausgang zu der eigentlichen Auswerte- und Steuereinrichtung ASE führt. Diese besteht insbesondere aus einem Analog-/Digitalwandler AD und einem Mikroprozessor μP . Der Ausgang des Mikroprozessors μP ist mit einem DDS-Baustein DDS oder einer entsprechenden Anordnung verbunden. Der Mikroprozessor μP und der DDS-Baustein DDS weisen jeweils einen weiteren Eingang zum Zuführen eines Taktsignals von einem Taktgenerator CLK auf. Der Ausgang des DDS-Bausteins DDS ist, sofern er nicht als Bestandteil dieser ausgebildet ist, mit einem Signalgenerator SGEN2(2) verbunden. Der Signalgenerator SGEN2(2) besteht aus einer Vielzahl von Bauelementen, insbesondere der Signalquelle VCO, deren Ausgang zu dem Mischer MIX, einem Leistungsverstärker PA und einem Frequenzteiler T führt, dem Frequenzteiler T zum Teilen der Signalfrequenz f des Signals sig2 auf einen ganzzahligen Bruchteil f/N , einem weiteren Mischer MIX2, dessen Eingänge mit der Taktquelle CLK und dem Frequenzteiler T verbunden sind, einem zweiten Filter FLT2, dessen Eingang mit dem weiteren Mischer MIX2 verbunden ist, einem Phasenvergleichler bzw. Phasenkomparator Phcmp ϕ , dessen Eingänge mit dem zweiten Filter FLT2 und dem DDS-Baustein DDS verbunden sind, und einem Filter FLT3 dessen Eingang mit dem Ausgang des Phasenvergleichers Phcmp und dessen Ausgang mit dem Eingang der Signalquelle VCO verbunden ist.

Mit dem Schalter SW wird gewählt, ob das vom VCO (Voltage Controlled Oscillator) erzeugte Signal über den Leistungsverstärker PA ausgesendet wird oder ob das über die Antenne A empfangene Signal im Mischer MIX mit dem in der Signalquelle VCO erzeugten Signal gemischt wird. Generell ist es insbesondere in Bezug auf die Signalerzeugung vorteilhaft, wenn gleichartige Systeme in der Sende- und der Empfangseinrichtung verwendet werden. Die Signalerzeugung erfolgt in der beispielhaft dargestellten Ausführung mit einem DDS-Frequenzsynthesizer. Als Basistakt dient die Frequenz der Taktquelle bzw. des Festfrequenzoszillators CLK. Aus diesem

Basistakt werden alle Signale, Frequenzen und Zeitgrößen für das System, d.h. den Prozessor μP und den DDS-Baustein DDS abgeleitet. Der DDS-Baustein DDS, der Phasenkomparator Phcmp, die zweiten und dritten Filter FLT2 und FLT3, die Signalquelle VCO, der weitere Mischer MIX2 und der Frequenz-Teiler T bilden für sich genommen einen Frequenzsynthesizer nach dem Stand der Technik. Der Frequenzsynthesizer könnte natürlich auch nach einem anderen Stand der Technik realisiert werden. So kann z.B. der DDS-Baustein DDS durch einen von Prozessor μP programmierbaren Teiler oder einen digitalen Funktionsgenerator, also einem Speicher mit abgelegtem Signalverlauf und D/A-Wandler, oder einem Frequenz-Synthesizer mit fraktionaler PLL (Phase Lock Loop) ersetzt werden oder z.B. der Mischer MIX2 weggelassen werden.

Wird bei dem System nach Fig. 5 die VCO-Frequenz der Signalquelle bzw. Sendeeinrichtung VCO mit Hilfe des DDS-Bausteins DDS von der Startfrequenz f_{start} ausgehend in der Zeit T um die Bandbreite B hochgestimmt und bei einer entsprechenden ersten Messung die Frequenz f_{up} bestimmt und in einer weiteren Messung mit umgekehrter Sweeprichtung, also von $f_{\text{start}} + B$ ausgehend herunter zu f_{start} , die Frequenz f_{dn} bestimmt, so lassen sich basierend auf den bestimmten Frequenzen f_{up} und f_{dn} die folgenden Lösungen für den Frequenzversatz Δf und den Zeitoffset T_{off} aus den oben dargestellten Zusammenhängen herleiten:

$$\Delta f = \frac{f_{\text{up}} + f_{\text{dn}}}{2} \quad \text{und} \quad T_{\text{off}} = \frac{T}{B} \cdot \frac{f_{\text{dn}} \cdot B + f_{\text{dn}} \cdot f_{\text{start}} - f_{\text{up}} \cdot f_{\text{start}}}{2 \cdot (f_{\text{start}} + B/2 - f_{\text{up}} - f_{\text{dn}})}.$$

Die Frequenzen f_{up} und f_{dn} werden im Ausführungsbeispiel nach A/D-Wandlung des Mischsignals sigmix im Prozessor μC mit Hilfe der schnellen Fouriertransformation (FFT) oder einer anderen bekannten Spektralanalysemethode bestimmt.

Sehr vorteilhaft ist das Verfahren bei zeitsynchronen Bussystemen anwendbar. Ein Kommunikationssystem nach einem beliebigen

gen Stand der Technik wird hierbei um die beschriebene Ausführung erweitert. Nach erfolgreicher Synchronisation ist es dann z.B. möglich, Anweisungen oder Anweisungsfolgen mit Zeitmarken per Funk zu übertragen und die Anweisungen oder Anweisungsfolgen höchstgenau, z.B. im Mikrosekundenbereich oder sogar im Nanosekundenbereich, nach dem angewiesenen Zeitschema abzuarbeiten. Dies kann insbesondere dann notwendig sein, wenn, wie in Fig. 6 dargestellt, von einer Haupt- bzw. Masterstation ME mehrere Kommunikationseinrichtungen KE angewiesen werden, wie z.B. bei einer Werkzeugmaschine, bei der per Funk mehrere Bearbeitungseinrichtungen angesprochen werden, deren Arbeitsabläufe zeitlich sehr kritisch miteinander gekoppelt sind. Alle Kommunikationseinrichtungen werden dann mit dem erfindungsgemäßen Verfahren mit der Mastereinrichtung synchronisiert.

In besonders vorteilhafter Ausführungsform kann die Synchronisation mit dem beschriebenen Verfahren auch derart exakt vollzogen werden, dass eine genaue Kanallängenmessung, also der Abstand zwischen zwei Kommunikationseinrichtungen, z.B. nach einem "Challenge-Response-Verfahren" im Zeitmultiplexbetrieb erfolgen kann. Nach erfolgter verfahrensgemäßer Synchronisation sendet eine erste Station KE 1 oder ME ein Signal zu einer zweiten Station KE 2, die ihrerseits nach einer vereinbarten Zeitspanne ein Antwortsignal zurück überträgt. Aus der Zeitdifferenz zwischen Abfrage und Antwort kann dann unter Berücksichtigung der vereinbarten Zeitspanne die Signallaufzeit und somit die Funkkanallänge berechnet werden. Bei üblichen Systemen ohne die verfahrensgemäße Synchronisation scheitert dieses Verfahren in aller Regel daran, dass zwei räumlich getrennte Systeme keine exakte Zeitspanne, insbesondere keine längere Zeitspanne vereinbaren können, da ihre Taktbasen nicht identisch sind. Durch die Synchronisation kann aber ein hochgenauer Angleich der Takte erfolgen.

Als weiteres Verfahren zur Abstandsmessung zwischen einer Basisstation und einem Transponder sei hierbei auch auf die DE

199 46 161, DE 199 46 204 und DE 199 46 168 verwiesen. Darin sind insbesondere Ausführungen zur Entfernungsmessung mit aktivem Mikrowellenreflektor oder zur Positionsbestimmung von Gegenständen beschrieben, bei denen verzögert auf ein Abfragesignal geantwortet wird. Diese Verfahren sind sehr vorteilhaft mit dem hier beschriebenen Verfahren kombinierbar. Da die linear frequenzmodulierten Signale, die in der Ausführung zur Synchronisation verwendet werden, den Signalen entsprechen, die üblicherweise bei FMCW-Radarsystemen (FMCW: Frequency Modulated Continuous Wave) verwendet werden, können zudem alle bekannten FMCW-Entfernungsmessverfahren günstig mit dem verfahrensgemäßen System und dem Synchronisierungsverfahren kombiniert werden.

Sind die Abstände zwischen der Masterstation ME und mehreren Kommunikationseinrichtungen KE 1, KE 2, KE 3 z.B. mit Hilfe der zuvor dargestellten Messung bekannt, so kann die Zeitsynchronisation noch weiter verbessert werden, indem die Signallaufzeiten mit berücksichtigt werden. In diesem Fall ist es möglich, mehrere verteilte Stationen KE 1, KE 2, KE 3, die auch örtlich weit und unterschiedlich weit auseinander liegen dürfen, höchst genau, d.h. besser als die Signallaufzeitunterschiede zwischen den Stationen, zu synchronisieren.

Sehr vorteilhaft kann das verfahrensgemäße System auch zur Vermessung und Charakterisierung von Funkkanälen eingesetzt werden. Insbesondere eignet sich das System zur Detektion und Bewertung von Mehrfachreflexionen. Treten Mehrfachreflexionen auf, d.h. das ausgesendete Signal der Sendestation gelangt nicht nur über einen sondern über mehrere unterschiedlich lange Wege zur Empfangsstation, so verändert sich das Spektrum aus Fig. 2 in der Art, wie dies in Fig. 7 dargestellt ist. Neben den Frequenzen des kürzesten Übertragungsweges f_{up1} und f_{dn1} treten je nach Anzahl K der Übertragungswege zusätzliche Spektrallinien (f_{up2} , f_{dn2} , ..., f_{upK} , f_{dnK}) von längeren Übertragungswegen auf. Bei bekannter Rampensteigung lassen sich aus den Frequenzdifferenzen zwischen den Linien sehr

einfach die Laufzeitunterschiede bzw. die Längenunterschiede der Übertragungswege berechnen. Zudem ist jedem Übertragungsweg auch eine genaue Übertragungsdämpfung zuzuordnen. Folglich ist der gesamte Übertragungskanal sehr detailliert zu analysieren. Basierend auf einer solchen verfahrensgemäßen Analyse wäre es zur Verbesserung von Kommunikationssystemen möglich, das Codierungsschema der Datenübertragung bzw. die Datenrate des Kommunikationssystems situationsabhängig an die jeweiligen Kanaleigenschaften anzupassen. Hiermit kann eine verbesserte Übertragungssicherheit und eine erhöhte effektive Datenrate gewährleistet werden. Auch ist es ausführbar, die gemessenen Kanaleigenschaften bei der Auswertung des Datenstroms z.B. mit Hilfe einer Rückfaltung, die die unterschiedlichen Längen und Dämpfungen der Übertragungswege kompensiert, zu berücksichtigen.

Die dargestellten Synchronisationssignale haben sehr gute Autokorrelations- und Kreuzkorrelationseigenschaften, so dass es auch möglich ist, einen Datenstrom parallel, also zeitgleich, mit den Synchronisationssignalen zu übertragen. Die Korrelationseigenschaften der Synchronisationssignale bewirken ferner, dass das verfahrensgemäße System und Verfahren generell sehr robust gegen Störungen von anderen Funksystemen ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Synchronisieren einer Senderstation (SE; SE/EE) und einer Empfängerstation (EE; SE/EE), die über eine Schnittstelle (V) miteinander kommunizieren, wobei
 - in der Senderstation (SE; SE/EE) ein Sendesignal (sig1) mit einer Signalquelle (SGEN1) erzeugt und über die Schnittstelle (V) ausgesendet wird und
 - in der Empfängerstation (EE; SE/EE) ein entsprechendes Empfangssignal (esig1) von der Schnittstelle (V) empfangen und unter Verwendung eines Empfänger-Signalquellensignals (sig2) von einer an die senderseitige Signalquelle (SGEN1) angepassten empfängerseitigen Signalquelle (SGEN2) ausgewertet wird,
dadurch gekennzeichnet, dass
 - sowohl auf das Sendesignal (sig1) als auch auf das Empfänger-Signalquellensignal (sig2) eine gleichartige Modulation angewendet wird,
 - das in der Empfängerstation (EE; SE/EE) empfangene Empfangssignal (esig1) mit dem Empfänger-Signalquellensignal (sig2) zu einem Mischsignal (sigmix) gemischt wird und
 - das Mischsignal (sigmix) analysiert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem auf das Sendesignal (sig1) und auf das Empfänger-Signalquellensignal (sig2) eine Frequenzmodulation angewendet wird und das Mischsignal (sigmix) Spektral analysiert wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die Modulation auf das Sendesignal (sig1) und auf das Empfänger-Signalquellensignal (sig2) linear oder streckenweise linear erfolgt.
4. Verfahren nach einem vorstehenden Anspruch, bei dem auf das Sendesignal (sig1) und auf das Empfänger-Signalquellensignal (sig2) eine Frequenzmodulation angewendet wird, deren Modulationsbandbreite (B) deutlich kleiner, ins-

besondere eine Größenordnung kleiner als deren Signal-Mittenfrequenz ist.

5. Verfahren nach einem vorstehenden Anspruch, bei dem sich nach dem Mischen in dem Anteil des Empfangssignals (e-sig1) und dem Anteil des Empfänger-Signalquellensignals (sig2) die Änderungen der Frequenz pro Zeit (t) dieser beiden Signale zueinander um einen Proportionalitätswert (α) unterscheiden und die Modulations-Startfrequenzen der Anteile des Empfangssignals (sig1) und des Empfänger-Signalquellensignals (sig2) um einen konstanten Frequenzdifferenzwert Δf voneinander abweichen, wobei die gemischten Signalanteile in der Regel einen Zeitversatz (T_{off}) zueinander aufweisen.

6. Verfahren nach einem vorstehenden Anspruch, bei dem zum Erstellen eines Gleichungssystems Parameter aus zwei nacheinander mit zwei verschiedene Modulationsraten (μ_1 bzw. μ_2) gemessen Mischsignalen ($f_{\text{sigmix}}(t)$) verwendet werden.

7. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem bei zwei Messungen mit verschiedenen Modulationsraten als Parameter zwei verschiedene Frequenzen (f_{b1} und f_{b2}) verwendet werden und angenommen wird, dass sich in einem unsynchronisierten Fall die zunächst unbekannten Größen des Frequenzdifferenzwertes (Δf), des Zeitversatzes (T_{off}) und des Proportionalitätswertes (α) zwischen dem Empfangssignal (e-sig1) und dem Empfänger-Signalquellensignal (sig2) nicht oder zumindest nur geringfügig zwischen den beiden Messungen ändern, insbesondere das Gleichungssystem für den Frequenzdifferenzwert (Δf) und den Zeitversatz (T_{off}) gelöst wird gemäß

$$\Delta f = \frac{f_{b2}(t) \cdot \mu_1 - f_{b1}(t) \cdot \mu_2}{\mu_1 - \mu_2} \quad \text{bzw.}$$

$$T_{\text{off}} = \frac{(f_{b2}(t) - f_{b1}(t)) + 2 \cdot t \cdot \alpha \cdot (\mu_1 - \mu_2) - 2 \cdot t \cdot (\mu_1 - \mu_2) + \tau \cdot (\mu_1 - \mu_2)}{\alpha \cdot (\mu_1 - \mu_2)}.$$

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 - 7, bei dem zur Frequenzsynchronisation eine Frequenzdifferenz (Δf) zwischen dem Empfangssignal (esig1) und dem Empfänger-Signalquellensignal (sig2) bei bekanntem Faktor ($k=\mu_1/\mu_2$) zwischen zwei verschiedenen Modulationsraten (μ_1 und μ_2) ohne Kenntnis der exakten Modulationsraten (μ_1 bzw. μ_2) bestimmt wird, insbesondere aus

$$\Delta f = \frac{f_{b1}(t) - k \cdot f_{b2}(t)}{1 - k}.$$

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 - 8, bei dem zur zeitlichen Synchronisation ein Zeitversatz (T_{off}) zwischen dem Empfangssignal (esig1) und dem Empfänger-Signalquellensignal (sig2) unter der Annahme bezüglich des Proportionalitätsfaktors (α) bestimmt wird, dass sich bei einer Mittenfrequenz deutlich größer als einer Modulationsbandbreite (B) relative Ungenauigkeiten auf einen Frequenzdifferenzwert (Δf) deutlich stärker auswirken als auf die Abweichung verschiedener Modulationsraten, insbesondere verwendet wird:

$$T_{\text{off}} = \frac{f_{b2}(t) - f_{b1}(t)}{\mu_1 - \mu_2} + \tau.$$

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 - 8, bei dem zur zeitlichen Synchronisation ein Zeitversatz (T_{off}) zwischen dem Empfangssignal (esig1) und dem Empfänger-Signalquellensignal (sig2) unter Verwendung einer Mittenfrequenz und einer Modulation aus einer gemeinsamen Referenzfrequenzquelle angenommen wird, dass der Proportionalitätsfaktor (α) immer in einem arithmetischen Verhältnis zu einer Frequenzdifferenz (Δf) zwischen den Signalen (sig1, sig2) steht.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 - 8, bei dem alle in der Senderstation (SE; SE/EE) erzeugten Signale in

einem festen Bezug zu einer senderseitigen Referenzquelle (CLK1) stehen und alle in der Empfängerstation (EE; SE/EE) erzeugten Signale in einem festen Bezug zu einer empfängerseitigen Referenzquelle (CLK2) stehen.

12. Verfahren nach einem vorstehenden Anspruch, bei dem bei der Synchronisierung das Empfänger-Signalquellensignal (sig2) bzw. eine entsprechende Takteinrichtung (CLK2) auf das Empfangssignal (esig1) bzw. auf die Takteinrichtung (CLK2) synchronisiert wird.

13. Verfahren nach einem vorstehenden Anspruch, bei dem bei der Synchronisierung das Empfänger-Signalquellensignal (sig2) versetzt wird, insbesondere um die halbe Dauer einer Modulationsperiode ($T/2$) versetzt wird, und eine neue Messung gestartet wird, wenn im Spektrum des Mischsignals (sigmix) zwei Frequenzanteile (f_{up} und f_{dn}) für die Auswertung nicht ausreichend eindeutig zu detektieren sind.

14. Verfahren nach einem vorstehenden Anspruch, bei dem bei der Synchronisierung das Empfänger-Signalquellensignal (sig2) und/oder das Sender-Signalquellensignal (sig1) adaptiv in mehreren Schritten durch Veränderung der verwendeten Modulation modifiziert werden.

15. Verfahren nach Anspruch 14, bei dem die Synchronisierung in einem ersten Schritt mit einer deutlich geringen Modulationsbandbreite B begonnen und in weiteren Schritten in der Sendeeinrichtung SE und in der Empfangseinrichtung EE die Modulationsbandbreite B schrittweise erhöht und eine exaktere Synchronisation durchgeführt wird.

16. Verfahren nach einem vorstehenden Anspruch, bei dem eine Signalquelle (VCO) von einer Startfrequenz (f_{start}) ausgehend in der Dauer einer Modulationsperiode (T) um eine vorbestimmte Bandbreite (B) zu einer Endfrequenz ($f_{stop} = f_{start} + B$) hochgestimmt wird und bei einer ersten Messung eine erste

Frequenz (f_{up}) bestimmt wird und in einer weiteren Messung mit umgekehrter Modulationsrichtung von der Endfrequenz ($f_{stop} = f_{start} + B$) ausgehend zur Startfrequenz (f_{start}) herunter eine zweite Frequenz (f_{dn}) bestimmt wird, insbesondere basierend auf den bestimmten Frequenzen (f_{up} , f_{dn}) Lösungen für einen Frequenzversatz (Δf) und einen Zeitversatz (T_{off}) bestimmt werden mittels:

$$\Delta f = \frac{f_{up} + f_{dn}}{2} \quad \text{und} \quad T_{off} = \frac{T}{B} \cdot \frac{f_{dn} \cdot B + f_{dn} \cdot f_{start} - f_{up} \cdot f_{start}}{2 \cdot (f_{start} + B/2 - f_{up} - f_{dn})}.$$

17. Empfängervorrichtung (EE) oder kombinierte Sende-/ Empfängervorrichtung (SE/EE) zum Durchführen eines Verfahrens nach einem vorstehenden Anspruch, mit:

- einem Schnittstelleneingang (A) zum Empfangen eines Empfangssignals ($esig1$) einer senderseitigen Signalquelle (SGEN1),
- einer empfängerseitigen Signalquelle (SGEN2) zum Erzeugen eines Empfänger-Signalquellensignals ($sig2$),
- einer Verarbeitungseinrichtung (MIX, ASE) zum Verarbeiten des Empfangssignals ($esig1$) unter Berücksichtigung des Empfänger-Signalquellensignals ($sig2$),

g e k e n n z e i c h n e t durch

- eine Synchronisierungseinrichtung (MIX, ASE, CLK2, SGEN2) zum Synchronisieren des Empfänger-Signalquellensignals ($sig2$) auf eine senderseitige Signalquelle (CLK1, SGEN1) und
- eine Modulationseinrichtung zum Erzeugen des Empfänger-Signalquellensignals ($sig2$) mit einer Frequenzmodulation gleich einer Frequenzmodulation, wie sie ursprünglich auf das Sendesignal ($sig1$) angewendet wurde.

18. Empfängervorrichtung (EE) oder kombinierte Sende-/ Empfängervorrichtung (SE/EE) nach Anspruch 17, bei der die Synchronisierungseinrichtung (MIX, ASE, CLK2, SGEN2)

- einen Mischer (MIX) zum Mischen des Empfangssignals ($esig1$) mit dem Empfänger-Signalquellensignal ($sig2$) zu einem Mischsignal ($sigmix$) und
- eine Auswerte- und Steuereinrichtung (ASE) zum Analysieren des Mischsignals ($sigmix$) hinsichtlich einer Frequenzverstimmung (Δf) und/oder eines Zeitversatzes (T_{off}) und zum entsprechenden Synchronisieren der empfängerseitigen Signalquelle (SGEN2) auf die senderseitige Signalquelle (SGEN1) aufweist.

19. Zeitsynchronisiertes Bussystem mit

- zumindest einer Hauptstation (ME) und
- einer Vielzahl von Kommunikationseinrichtungen (KE), wobei
 - die Hauptstation (ME) mit den Kommunikationseinrichtungen über eine Schnittstelle (V) kommuniziert und
- zumindest ein Teil der Kommunikationseinrichtungen mit einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 - 13 auf die Hauptstation (ME) synchronisiert wird.

20. Verwendung eines Verfahrens, einer Empfängervorrichtung bzw. eines Bussystems nach einem der vorstehenden Ansprüche zur Vermessung und Charakterisierung von Funkkanälen.

21. Verwendung eines Verfahrens, einer Empfängervorrichtung bzw. eines Bussystems nach einem der vorstehenden Ansprüche zum Erfassen und Bewerten von Mehrfachreflexionen durch Analyse einzelner Spektrallinien (f_{up1} , f_{dn1} , ..., f_{upK} , f_{dnK}), die verschiedenen Laufwegen zugeordnet sind, und Berücksichtigung einer bekannten Frequenzmodulation bei der Signalerzeugung.

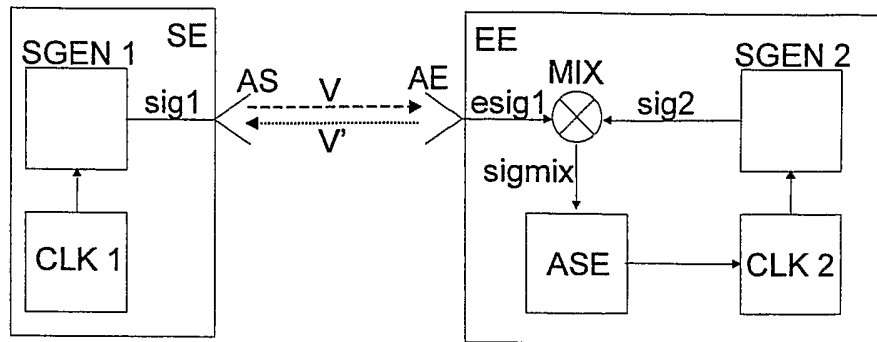


Fig. 1

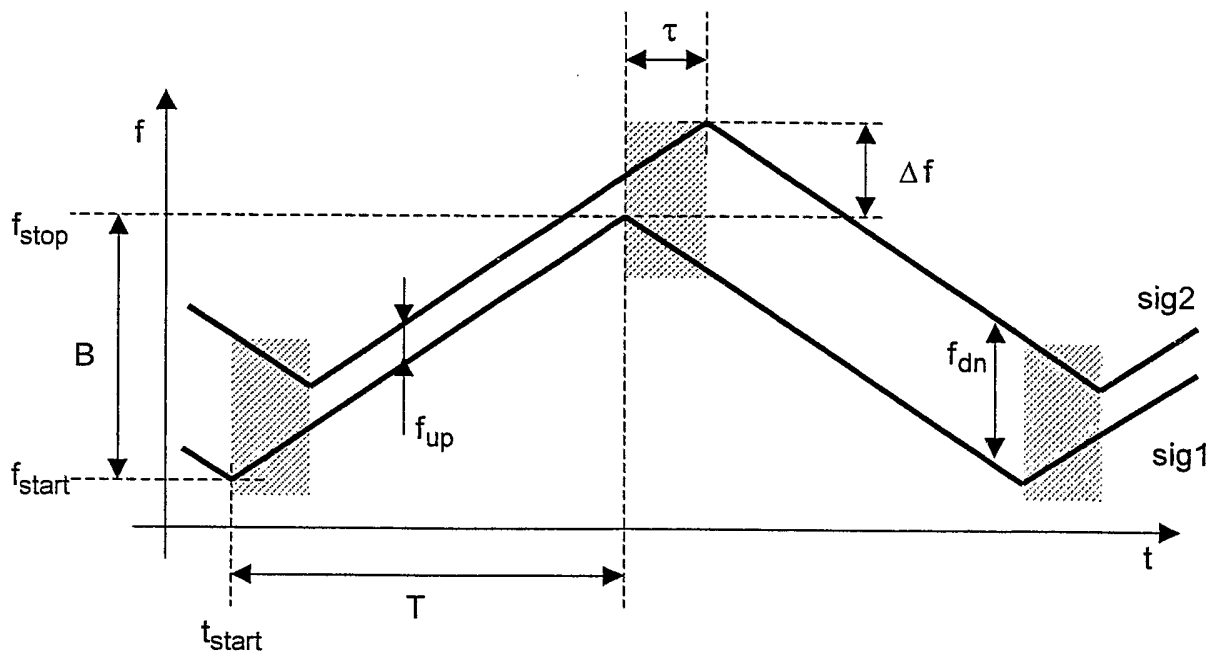


Fig. 2

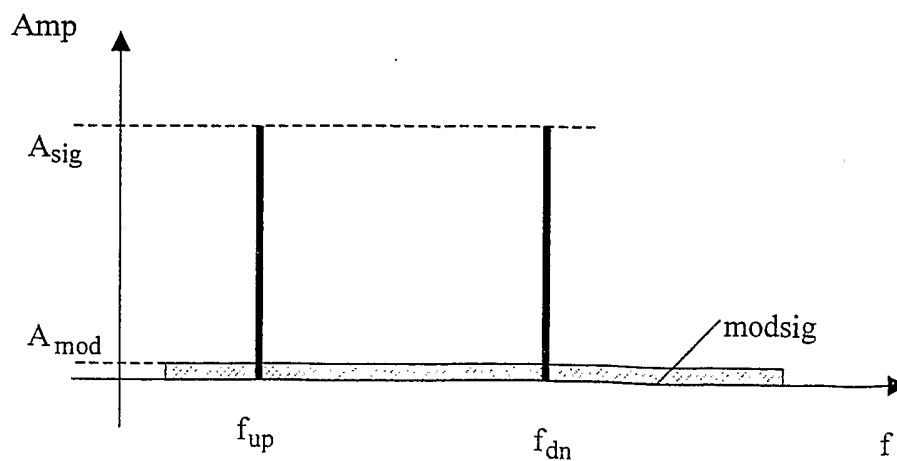


Fig. 3

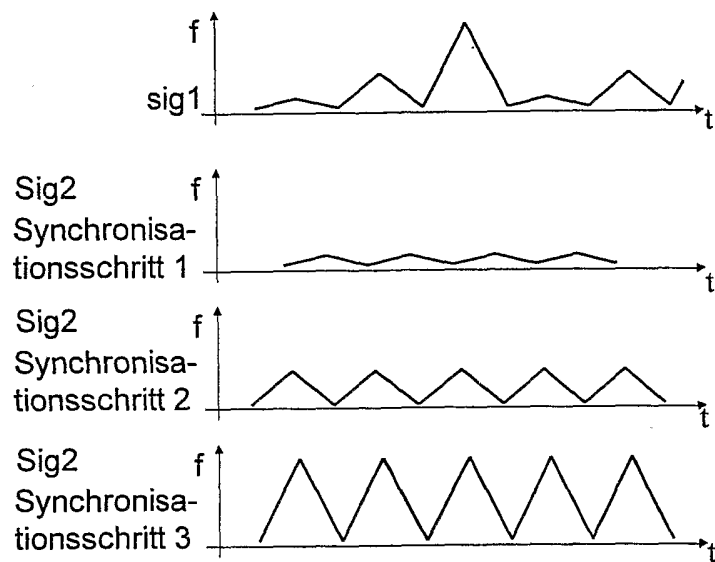


Fig. 4

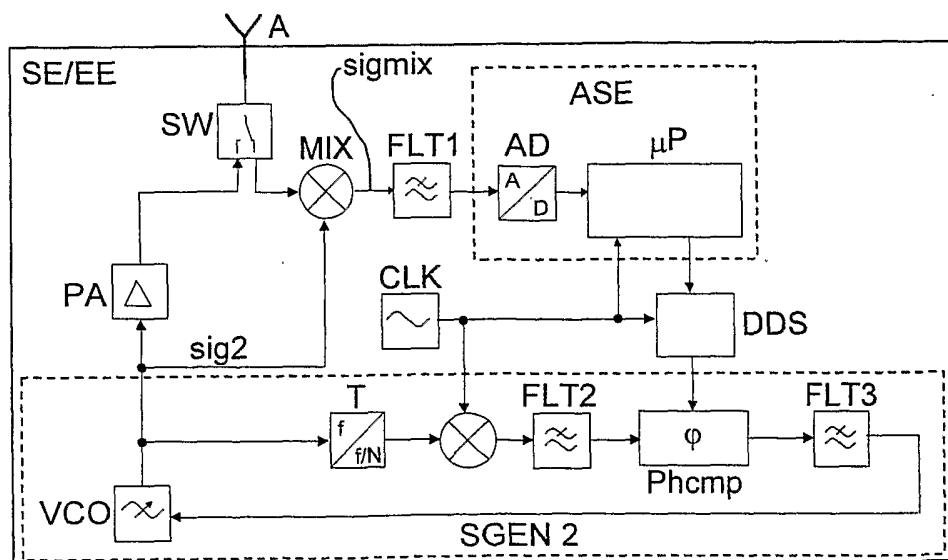


Fig. 5

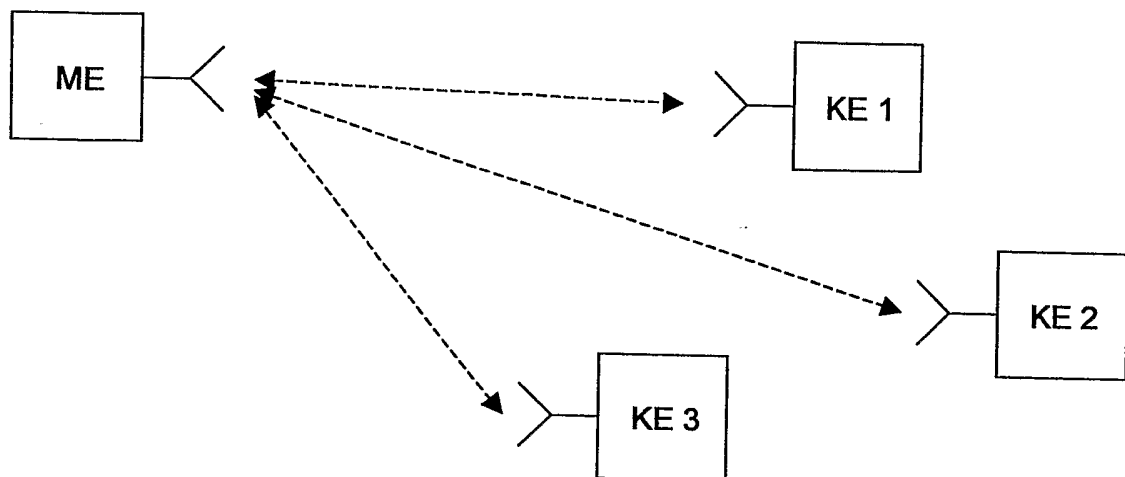


Fig. 6

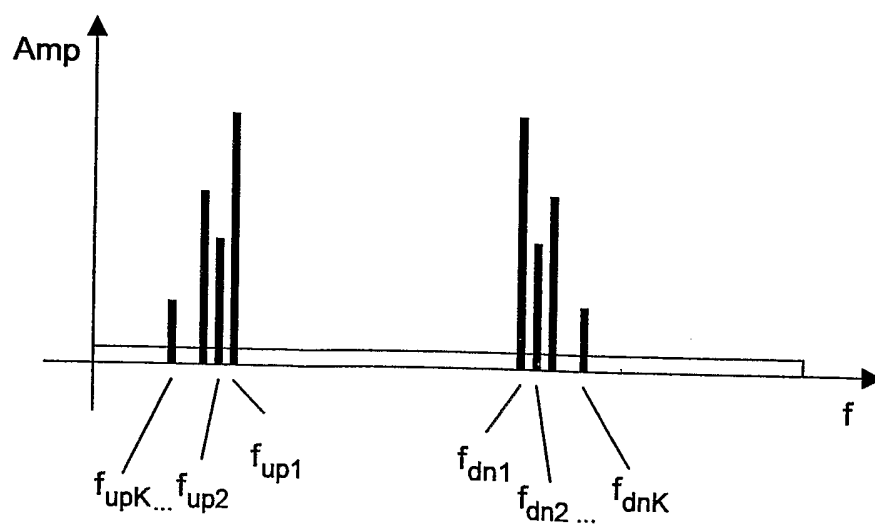


Fig. 7