

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 699/2003
(22) Anmeldetag: 2003-05-08
(42) Beginn der Patentdauer: 2005-10-15
(45) Ausgabetag: 2006-07-15

(51) Int. Cl.⁷: G01S 13/32

(56) Entgegenhaltungen:
EP 601884A DE 3242551A1
US 5805105A DE 3324693A1

(73) Patentinhaber:
KREUZGRUBER GMBH
A-1150 WIEN (AT).
(72) Erfinder:
KREUZGRUBER PETER DR.
WIEN (AT).
LEITGEB RUDOLF DR.
WIEN (AT).
LÖW CHRISTIAN DIPL.ING.
WIEN (AT).
LENZ MARTIN DIPL.ING.
WIEN (AT).
SEYRINGER CHRISTIAN DR.
HOCHNEUKIRCHEN,
NIEDERÖSTERREICH (AT).

(54) VERFAHREN UND EINRICHTUNG ZUR ABSTANDSMESSUNG ZWISCHEN ZWEI SENDEEMPFÄNGERN

(57) Gezeigt wird ein Verfahren zur Messung der Entfernung zwischen zwei, durch eine Kodierungsinformation einander zugeordneter Messeinrichtungen. Die Entfernungsmessung erfolgt indirekt über die Messung der Signallaufzeit, von zwischen diesen Messeinrichtungen ausgetauschten Messsignalen. Von einer Messeinrichtung wird in einem Modulationssignalgenerator (11) aus einer nur den beiden Messeinrichtung bekannten Kodierungsinformation ein Modulationssignal erzeugt, im Sendemodulator (7) einem Trägersignal aufmoduliert und über die Antenne (1) ausgesendet. Von der zweiten Messeinrichtung wird dieses Trägersignal über die Antenne (1) empfangen und demoduliert. In einer Laufzeitmesseinrichtung (12) wird erstens der Zeitbezug relativ zu einer, von einem Zeitbasisgenerator (10) lokal erzeugten Zeitreferenz gemessen, und zweitens wird die Kodierungsinformation überprüft. Anschließend wird von der zweiten Messeinrichtung ebenfalls ein, mit einer Kodierungsinformation moduliertes Trägersignal ausgesendet, welches in ähnlicher Weise von der ersten Messeinrichtung empfangen und demoduliert wird und von welchem wiederum der Zeitbezug relativ zur lokalen Zeitbasis

gemessen wird. Aus den Messergebnissen der Laufzeitmesseinrichtungen (12) beider Messeinrichtungen wird schließlich die Signallaufzeit berechnet.

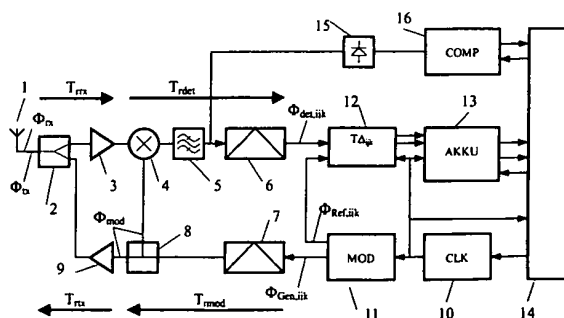


FIG. 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Einrichtung zur Abstandsmessung zwischen einem Messort und einem Ziel, wobei sich am Messort und am Ziel Teile der Einrichtung befinden dürfen, d.h. es handelt sich um ein kooperatives Ziel. Die Abstandsmessung erfolgt in der Weise, dass vom Messort ein elektromagnetisches oder akustisches Signal ausgesendet wird, das vom Ziel entweder reflektiert wird, oder das vom Ziel empfangen, allenfalls geeignet aufbereitet und wiederausgesendet wird. Das vom Ziel reflektierte oder wiederausgesendete Signal wird daraufhin wiederum am Messort empfangen. Die Zeitdifferenz zwischen dem vom Messort ausgesendeten Signal und dem empfangenen Signal wird gemessen. Nach Berücksichtigung der Eigenlaufzeiten in den Einrichtungen im Ziel und im Messort durch Kalibration bleibt die doppelte Signallaufzeit zwischen Messort und Ziel übrig, aus welcher bei bekannter Ausbreitungsgeschwindigkeit die geometrische Distanz einfach berechnet werden kann.

In US Patent *US 4,249,176 A* ist ein System beschrieben, nach welchem die Abstandsmessung zwischen einem Abstandsmessgerät und einem Zielgegenstand in der Weise erfolgt, dass das Abstandsmessgerät ein elektromagnetisches Signal aussendet welches vom Zielgegenstand empfangen wird, und anschließend der Zielgegenstand ein Signal aussendet, welches das Abstandsmessgerät empfängt. Die Zeitdifferenz zwischen ausgesendetem und empfangenem Signal wird im Abstandsmessgerät gemessen und daraus wird der geometrische Abstand berechnet.

In der Europäischen Patentanmeldung *EP 0 066 888 A2* ist dargestellt, wie der Einfluss der Signallaufzeiten im Sende- und Empfangsteil eines Abstandsmessgeräts auf das Messergebnis durch eine Kalibrationsmessung kompensiert werden kann.

In der Europäischen Patentanmeldung *EP 601 884 A* ist eine Distanzmesseinrichtung dargestellt, bei welcher nur ein Sendeempfänger vorhanden ist, und das Verfahren auf einem Reflektionsprinzip beruht. Die kodierte Information lässt sich nicht beliebig wählen, sondern ist eine Pseudo-Zufallsfolge (ähnlich Rauschen). Der kodierte Sendedatenstrom der an der Flüssigkeit reflektiert wird, wird mit einer zweiten kodierten Pseudo-Zufallsfolge demoduliert und daraus folgt dann eine Abstandsbestimmung. Bei der *EP 601 884 A* kann die kodierte Information nicht beliebig gewählt werden. Es ist eine Messung mit gleichzeitiger Identifizierung nicht möglich. Der für die vorliegende Erfindung wesentliche Aspekt der Verwendung der kodierten Information als Referenz für die Bestimmung des Abstandes bei gleichzeitiger Identifikation kann der *EP 6010884 A* nicht entnommen werden.

Im DE Patent *DE 32 42 551 A1* ist eine Anordnung zum Identifizieren eines Objekts, bei welcher nur ein Sendeempfänger und ein Kodeträger vorhanden ist, der auf dem Reflektionsprinzip beruht. Der Kodeträger wird über den Sendeempfänger gespeist und ist selbst kein Sender sondern prägt einem vom Sendeempfänger ausgesendeten unmodulierten Trägersignal durch Änderung der Reflexionseigenschaften eine kodierte Information auf. Die kodierte Information lässt sich nicht beliebig wählen, sondern wird im Kodeträger fest verdrahtet oder durch Schalter festgelegt. Aus dem im Kodeträger reflektierten Datenstrom eine Abstandsbestimmung, durch Auswertung des Modulationsgrades durchgeführt. Der für die vorliegende Erfindung wesentliche Aspekt der Verwendung der kodierten Information als Referenz für die Bestimmung des Abstandes bei gleichzeitiger Messung mit einer bestimmten zweiten Messstelle kann dem *DE 32 42 551 A1* nicht entnommen werden.

Im US Patent *US 5 805 105 A* ist eine Distanzmesseinrichtung, bei welcher nur ein Sendeempfänger vorhanden ist, der die Distanzmessung durchführt. Die kodierte Information ist nur dem einem Sendeempfänger bekannt. Der kodierte Sendedatenstrom wird vom adressierten Sendeempfänger zurückgesandt, und mit der kodierten Sendefolge demoduliert und daraus folgt dann eine Abstandsbestimmung. Der für die vorliegende Erfindung wesentliche Aspekt der Verwendung der kodierten Information als Referenz für die Bestimmung des Abstandes bei gleichzeitiger Identifikation kann der *US 5 805 105 A* nicht entnommen werden.

Im DE Patent DE 33 24 693 A1 betrifft ein Verfahren zur Zweiweg-Hochfrequenz-Laufzeitmessung, bei welcher ein Sendeempfänger zur Laufzeitbestimmung und ein Sendeempfänger für die Sekundärstation vorhanden ist, der das empfangene Signal nach dem beschriebenen Verfahren zurücksendet. Die kodierte Information lässt sich nicht beliebig wählen, sondern ist eine Zufallsfolge. Der kodierte Sendedatenstrom wird in der Sekundärstation demoduliert und mit einer verzögerten Zufallsfolge moduliert wieder ausgesandt. Im Sendeempfänger der Primärstation wird daraus dann eine Abstandsbestimmung vorgenommen. Bei der DE 33 24 693 A1 die kodierte Information nicht beliebig gewählt werden kann, daher ist eine Messung mit gleichzeitiger Identifizierung nicht möglich. Der für die vorliegende Erfindung wesentliche Aspekt der Verwendung der kodierten Information als Referenz für die Bestimmung des Abstandes bei gleichzeitiger Identifikation kann dem DE 33 24 693 A1 nicht entnommen werden.

Für Empfang und Aussendung elektromagnetischer oder akustischer Signale kann ein großes Spektrum an Sendeempfängern verwendet werden, die ausführlich in der einschlägigen Lehrbuchliteratur behandelt sind.

Das erfindungsgemäße Abstandsmessverfahren zeichnet sich dadurch aus, dass durch eine geheime Kodierungsinformation, die nur den einander zugeordneten Messeinrichtungen bekannt sein darf, Gruppen zusammengehöriger Systeme geschaffen werden können. Somit können von einem Messort nur noch jene Ziele erfasst werden, die zum gleichen Messsystem gehören. Weiters kann ein Abstandsbereich festgelegt werden, innerhalb dessen die Erfassung eines Ziels ermöglicht wird, d.h. auch zu einem Messsystem gehörende Ziele werden nicht erfasst, wenn diese außerhalb des Messbereichs liegen. Die Signalverarbeitung im Ziel ist weiters so gestaltet, dass auch durch unbefugte Manipulation eines Zielsystems oder eines Systems am Messort keine Abstandsmessung bewirkt werden kann, sofern die geheime Kodierungsinformation unbekannt ist.

Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Abstandsmessverfahrens liegt darin, dass der Messablauf nicht mehr starr in der Abfolge ist, sondern dass Gruppen von ausgesendeten Messsignalen von Messort und Ziel ineinander verschachtelt werden können, sodass geringfügige Synchronisationsfehler der Zeitbasen in den Messempfängern korrigiert werden können. Schließlich bietet das erfindungsgemäße Abstandsmessverfahren auch die Möglichkeit, eine durch Mehrwegeausbreitung verursachte Verfälschung des gemessenen Abstandes erkennen zu können.

Die Abstandsmessung zwischen zwei Messeinrichtungen "TR1" und "TR2" erfolgt über eine Messung der Signallaufzeit T_{tm} , wobei sich der geometrische Abstand zwischen den beiden Sendeempfängern $d_{\text{TR1-TR2}}$ aus

$$d_{\text{TR1-TR2}} = c_0 \cdot T_{\text{tm}}$$

ergibt und worin c_0 die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum bedeutet.

Die beiden für die Abstands- oder Laufzeitmessung verwendeten Messeinrichtungen weisen beide die in FIG. 1 dargestellte Blockarchitektur auf: Die für die Laufzeitmessung benötigten Funksignale werden über eine Antenne "1" gesendet bzw. empfangen. Ein Sende-Empfangsmultiplexer "2", der entweder als Schalter oder einem Duplexfilter oder beiden bestehen kann trennt Sende- und Empfangspfad. Empfangene Signale werden zunächst in einem rauscharmen Empfangsverstärker "3" verstärkt und in einer Mischstufe "4" mit einem lokal erzeugten Trägersignal in Zwischenfrequenzlage umgesetzt. Das Empfangssignal wird anschließend in einem Kanalfilter "5" bandbegrenzt und dem Demodulator "6" zugeführt.

Der Sendepfad besteht aus einem Sendemodulator "7" in welchem ein vom Modulationsgenerator "11" erzeugtes Mess- oder Kalibrationssignal einem Trägersignal in Sendefrequenzlage

aufmoduliert wird. Der Sendemodulator "7" kann dabei aus einer Kombination von Frequenzsynthesizer und getrennt aufgebautem Modulator bestehen, es kann aber auch ein direkt modulierbarer Frequenzsynthesizer als Sendemodulator verwendet werden, wie dies insbesondere für die Anwendung von Winkelmodulationsverfahren zielführend ist. In einem Signalmultiplexer "8" kann das erzeugte Trägersignal entweder an den Sendeverstärker "9" gelegt und anschließend über den Sende- Empfangsmultiplexer "2" an die Antenne "1" geleitet, oder als lokales Oszillatorsignal dem Empfangsmischer "4" zugeführt werden.

Ein lokaler Zeitbasisgenerator "10" erzeugt ein periodisches Signal als Zeitreferenz für den Modulationsgenerator. Der Modulationsgenerator "11" erzeugt die für die Synchronisation und die Fadingerkennung erforderlichen Modulationssignale, sowie die Messsignale für die Laufzeitmessung. Weiters erzeugt der Modulationsgenerator die Referenzsignale für die Laufzeitmessereinrichtung "12". Die Einzelergebnisse aus der Laufzeitmessung werden im Messwertakkumulator "13" gemittelt, womit eine Reduzierung der Messunsicherheit erzielt wird.

Für die Fadingerkennung enthält die Messeinrichtung weiters eine Pegelmesseinrichtung im Empfangspfad "15" sowie einen Pegelkomparator "16", mit welchem die Empfangspegel in verschiedenen Frequenzlagen verglichen werden können. Die Abfolge des Messablaufs wird von der Ablaufsteuerung "14" festgelegt.

FIG. 2 zeigt den von der Ablaufsteuerung festgelegten Ablauf der einzelnen Abschnitte einer Laufzeitmessung zwischen zwei Messeinrichtungen "TR1" und "TR2", wobei "TR1" die Trägerfrequenzen f_1 zum Senden und f_2 zum Empfangen, und "TR2" die Trägerfrequenzen f_3 zum Senden und f_4 zum Empfangen verwendet. Vor Beginn einer Laufzeitmessung müssen die lokalen Zeitbasisgeneratoren der Messeinrichtungen synchronisiert werden. Der Synchronisationsprozess beginnt damit, dass im Zeitabschnitt "18" der Sendeempfänger "TR1" einen unmodulierten Träger abstrahlt, der in "TR2" dazu verwendet wird, um ein lokal erzeugtes, mit einer Synchronisationsfolge modulierte Hochfrequenzsignal selbst zu empfangen. Der Sendeempfänger "TR2" kann durch Vergleich der für die Modulation verwendeten, mit der empfangenen Korrelationsfolge die Eigenlaufzeit $T_{\Delta_{cal}}^{TR2}$ bestimmen. Als Synchronisationsfolge wird dabei eine Zeichenfolge verwendet, deren Autokorrelationsfunktion eine ausgeprägte Spitze und kleine Nebenmaxima aufweist. Im nächsten Zeitabschnitt "19" sendet "TR1" einen mit einer Korrelationsfolge modulierten Träger aus, der von "TR2" empfangen wird. Nimmt man an, dass die Laufzeiten in den Sendepfaden der beiden Sendeempfänger etwa gleich groß ist, so kann "TR2" seine lokale Zeitbasis jener von "TR1" angleichen. Als Zeitbasis verwendet "TR2" den um die Eigenlaufzeit $T_{\Delta_{cal}}^{TR2}$ nach vor verschobenen Empfangszeitpunkt der von "TR1" ausgesendeten Korrelationsfolge. Im Zeitabschnitt "21" erfolgt die Messung der Eigenlaufzeit in "TR1" in ähnlicher Weise wie Zeitabschnitt "18", und in Zeitabschnitt "22" kann mit einer von "TR2" ausgesendeten Korrelationsfolge die Übereinstimmung der Zeitbasen in beiden Sendeempfängern überprüft werden. Die Zeitdifferenz zwischen der Zeitbasis von "TR1" und des um die Eigenlaufzeit $T_{\Delta_{cal}}^{TR1}$ nach vor verschobenen Empfangszeitpunkts der von "TR2" ausgesendeten Korrelationsfolge, entspricht der doppelten Signallaufzeit $2 \cdot T_{rtm}$ zwischen den beiden Sendeempfängern und der Summe der nicht korrigierbaren Laufzeitanteile der beiden Sendeempfänger. Als nicht korrigierbar werden die Laufzeitanteile im Sendeverstärker T_{rx} und im Vorverstärker T_{rx} betrachtet.

Die Laufzeitmessung oder Abstandsmessung erfolgt in den Zeitabschnitten "23", die im folgenden Abschnitt beschrieben wird. In den Zeitabschnitten "24" wird der Funkkanal auf Fadingerscheinungen untersucht (siehe weiter unten). In den Zeitabschnitten "17" werden die Frequenzsynthesizer der Sendemodulatoren voreingestellt, d.h. in diesen Zeitabschnitten weist das Ausgangssignal des Sendemodulators keine definierte Frequenz auf. In den Zeitabschnitten "25" erzeugt der Sendemodulator ein unmoduliertes und in den Zeitabschnitten "26" ein modulierte Trägersignal. Während der Zeitabschnitte "27" wird ein für die Fadingdetektion geeignetes Messsignal erzeugt. Während der Zeitabschnitte "28" wird das vom Sendemodulator erzeugte Signal über die Antenne der Messeinrichtung ausgesendet.

Die eigentliche Laufzeitmessung findet in den Zeitabschnitten "23" statt und besteht aus einer Abfolge von K Messgruppen, die mit $k=1,2,\dots,K$ nummeriert sind (in FIG. 2 ist $K=4$). Jede Messgruppe besteht ihrerseits aus J Messsignalperioden, die mit $j=1,2,\dots,J$ nummeriert sind, wobei in einer Messsignalperiode einweder ein Messsignal, ein Kalibriersignal oder ein unmodulierter Träger erzeugt oder empfangen wird. Schließlich besteht jedes Mess- oder Kalibriersignal aus I aufeinanderfolgenden Signalfanken, die mit $i=1,2,\dots,I$ nummeriert sind, wobei lediglich jene Signalfanken bezeichnet sind, welche für die Messung oder Kalibration verwendet werden.

Ziel des Messablaufs ist es, die in FIG. 3 dargestellten Zeitdifferenzen $T\Delta_{ijk,mes}^{TR1}$, $T\Delta_{ijk,cal}^{TR1}$, $T\Delta_{ijk,mes}^{TR2}$ und $T\Delta_{ijk,cal}^{TR2}$ zu bestimmen, welche jeweils die Zeit zwischen der lokalen Zeitbasis im betreffenden Sendeempfänger "TR1" oder "TR2" zu dem empfangenen Mess- oder Kalibrationssignal angeben. Aus diesen Zeitdifferenzen kann schließlich die Signallaufzeit zwischen den Sendeempfängern "TR1" und "TR2" berechnet werden.

In Zeitabschnitt "23" für $k=1$ in FIG. 2 sendet "TR2" ein Messsignal aus ($j=1, k=1$) welches von "TR1" empfangen, und das für die Ermittlung von $T\Delta_{i11,mes}^{TR1}$ verwendet wird. Anschließend sendet "TR2" ein unmoduliertes Trägersignal aus ($j=2, k=1$), welches in "TR1" für die Kalibration der Eigenlaufzeit $T\Delta_{i21,cal}^{TR1}$ verwendet wird. In den Messsignalperioden $j=3$ und $j=4$ werden entsprechend die Zeitdifferenzen $T\Delta_{i31,mes}^{TR1}$ und $T\Delta_{i41,cal}^{TR1}$ in "TR1" ermittelt. Für $k=2$ sendet nun "TR1" eine Signalfolge, die von "TR2" empfangen wird, d.h. "TR2" bestimmt in ähnlicher Weise die Zeitdifferenzen $T\Delta_{i12,mes}^{TR2}$, $T\Delta_{i22,cal}^{TR2}$, $T\Delta_{i32,mes}^{TR2}$ und $T\Delta_{i42,cal}^{TR2}$. In ähnlicher Weise werden die weiteren Zeitdifferenzen für die Messgruppen $k=3$ und $k=4$ ermittelt.

In FIG. 3 ist das Messprinzip der Abstandsmessung zwischen zwei Messeinrichtungen "TR1" und "TR2" für eine Abfolge von 4 Messgruppen dargestellt, wobei von jedem Mess- und Kalibrationssignal nur eine einzelne Signalfanke betrachtet wird. Die dargestellten Messabläufe gelten unabhängig von der verwendeten Modulationsart. Messsignale, die durch eine einzige Flanke charakterisiert werden, werden mit Φ , Zeitintervalle werden mit T notiert. Die für die Messeinrichtung charakteristischen Zeitpunkte Φ und Zeitintervalle T sind auch im Blockschaltbild in FIG. 1 eingetragen.

Wird in "TR1" zum Referenzzeitpunkt " Φ_{Ref}^{TR1} " die Flanke eines Messsignals am Ausgang des Modulationsgenerators " Φ_{mod}^{TR1} " erzeugt, so erscheint nach der Signallaufzeit " T_{mod}^{TR1} " die betreffende Signalfanke am Ausgang des Modulationssystems " Φ_{mod}^{TR1} ", wobei hier die Signalfanke des Modulationssignals gemeint ist, welches der vom Sendemodulator erzeugten Hochfrequenzschwingung aufgeprägt ist. Nach der Signallaufzeit " T_{rx}^{TR1} " für Sendeverstärker, Antennenweiche zur Trennung von Sende- und Empfangspfad und ggf. eines Sendefilters, kann der in "TR1" erzeugte Träger mit der Signalfanke " Φ_{tx}^{TR1} " von der Antenne abgestrahlt werden. Soll der lokal erzeugte modulierte Träger für die Kalibration der Eigenlaufzeit in "TR1" verwendet werden, so wird dieser mit einem von "TR2" empfangenen unmodulierten Träger in eine für den Demodulator geeignete Frequenzlage umgesetzt. Die Signallaufzeit durch das Kanalfilter und den Demodulator beträgt " T_{rdet}^{TR1} ", die Signalfanke am Ausgang des Demodulators ist somit " $\Phi_{det,cal}^{TR1}$ ". Die Eigenlaufzeit von "TR1" ist " $T\Delta_{ijk,cal}^{TR1}$ ", da im Kalibrationsfall das modulierte Signal weder durch den Sendeverstärker noch durch den Empfangsverstärker läuft.

Wenn ein von "TR2" abgestrahlter modulierter Träger " Φ_{tx}^{TR2} ", welcher nach der Laufzeit der Funkwellen " T_{rtm} " den Antenneneingang von "TR1" mit der Signalfanke " Φ_{rx}^{TR1} " erreicht, durchläuft dieser die Antennenweiche, einen Vorverstärker und gegebenenfalls ein Empfangsfilter mit der Signallaufzeit " T_{rx}^{TR1} ". Im Fall der Messung erhält man somit die Signalfanke am Ausgang des Demodulators " $\Phi_{det,mes}^{TR1}$ ". Die Zeitabläufe in "TR2" sind ähnlich jenen in "TR1".

Für den in FIG. 3 a) dargestellten Messablauf werden " Φ_{Ref}^{TR1} " bzw. " Φ_{Ref}^{TR2} " als Zeitbasis verwendet, wobei sich diese Referenzzeitpunkte um eine von der Messgruppe k abhängige Offsetzeit $T_{Offs,k}$ unterscheiden. Beginnend mit der Messgruppe $k=1$ sendet "TR2" zum Zeitpunkt " Φ_{Ref}^{TR2} " die Signalfanke " Φ_{Gen}^{TR2} " aus. Nach der Laufzeit $T_{rtm} + T_{TR21}$ wird diese Signalfanke in

"TR1" empfangen und dort als " $\Phi_{\text{det,mes}}^{\text{TR1}}$ " bezeichnet. In der Laufzeitmesseinrichtung wird das Zeitfenster " $\Delta_{ij,1,\text{mes}}^{\text{TR1}}$ " zwischen der lokalen Zeitreferenz " $\Phi_{\text{Ref}}^{\text{TR1}}$ " und der empfangenen Signalfanke " $\Phi_{\text{det,mes}}^{\text{TR1}}$ " gemessen. Anschließend erzeugt "TR1" ein Kalibrationssignal, welches durch die Signalfanke " $\Phi_{\text{Gen}}^{\text{TR1}}$ " beschrieben wird, wobei diese ebenfalls im Detektor von "TR1" zum Zeitpunkt " $\Phi_{\text{det,mes}}^{\text{TR1}}$ " empfangen wird. Als Kalibrationszeitintervall in "TR1" ergibt sich somit das Zeitfenster " $\Delta_{ij,1,\text{cal}}^{\text{TR1}}$ ". In ähnlicher Weise werden anschließend die Messgruppen $k=2$ und $k=3$ von "TR1" ausgesendet und in "TR2" empfangen und gemessen, die Messgruppe $k=4$ wird schließlich wieder von "TR2" ausgesendet.

FIG. 3b) zeigt wie sich die Übertragungs- und Kalibrationszeiten aus den einzelnen Laufzeiten der Schaltungsblöcke zusammensetzen, und dass sich die Summe der Übertragungszeiten von "TR1" nach "TR2" und von "TR2" nach "TR1", i.e. " $T_{\text{TR12}} + T_{\text{TR21}}$ " von der Summe der Kalibrationszeiten, i.e. " $T_{\text{TR11}} + T_{\text{TR22}}$ " in beiden Messeinrichtungen um die nicht korrigierbaren Laufzeiten in den Antennenzweigen der Sendeempfänger " T_{TRX} " unterscheiden.

FIG. 3c) zeigt die graphische Ermittlung der Signallaufzeit " T_{rtm} " aus den in den Messeinrichtungen ermittelten Teilmessungen " $\Delta_{ijk,\text{mes}}^{\text{TR}}$ " und Kalibrationswerten " $\Delta_{ijk,\text{cal}}^{\text{TR}}$ ", wobei für die nicht korrigierbaren Laufzeitanteile " T_{TRX} " ein fester Korrekturwert eingesetzt wird, entsprechend:

$$4. T_{\text{rtm}} = \Delta_{ij,1,\text{mes}}^{\text{TR1}} - \Delta_{ij,1,\text{cal}}^{\text{TR1}} + \Delta_{ij,2,\text{mes}}^{\text{TR2}} - \Delta_{ij,2,\text{cal}}^{\text{TR2}} + \Delta_{ij,3,\text{mes}}^{\text{TR2}} - \Delta_{ij,3,\text{cal}}^{\text{TR2}} + \Delta_{ij,4,\text{mes}}^{\text{TR1}} - \Delta_{ij,4,\text{cal}}^{\text{TR1}} - 2 \cdot T_{\text{TRX}}.$$

Man erkennt, dass durch den Offset $T_{\text{offs},k}$ zwischen den Zeitbasen in "TR1" und "TR2" kein Messfehler entsteht, wenn der Frequenzunterschied der lokalen Zeitbasen zwischen den Messeinrichtungen und der zeitliche Abstand zwischen den Messgruppen konstant sind.

Für die Messung der Signallaufzeit zwischen zwei Messeinrichtungen "TR1" und "TR2" sollen Messsignale verwendet werden, deren zeitlicher Ablauf nach Möglichkeit nicht vorhersagbar sein soll, wenn nicht eine ausschließlich in den Sendeempfängern vorhandene Kodierinformation verwendet wird. Die Kodierinformation soll dabei dem Messsignal als Amplituden- und oder als Phaseninformation aufgeprägt sein.

Jedes Messsignal enthält einen signifikanten Teil, welcher die Kodierinformation trägt, und einen nicht signifikanten Teil ohne Information. Die Messeinrichtungen "TR1" und "TR2" senden ihre Messsignale in der Form aus, dass sich der signifikante Teil des Messsignal des einen Sendeempfängers mit dem nicht signifikanten Teil des Messsignals des anderen Sendeempfängers zeitlich überlagert. Die auf den Messsignalen aufgeprägten Kodierinformationen sind bei beiden Sendeempfängern im Allgemeinen unterschiedlich. In FIG. 4a) ist ein mögliches Messsignal dargestellt. Im ersten, signifikanten Teil des Messsignals mit der Zeitdauer T_m ist die charakteristische Signalabfolge mit aufgeprägter Kodierinformation dargestellt. Im zweiten, nicht signifikanten Signalteil mit der Zeitdauer T_u ist dem Messsignal keine Nutzinformation aufgeprägt. Die Zeitdauer T_m ergibt sich aus dem Maximum der Summe der Zeiten der Teilabschnitte des Messsignals über alle möglichen Kodierinformationen. Die Zeitdauer T_u muss so gewählt werden, dass die signifikanten Anteile der von "TR1" und "TR2" ausgesendeten Messsignale einander auch bei Anwesenheit der maximal zulässigen Asynchronität der Sendeempfänger nicht überlagert sind. In dem in FIG. 4a) gezeigten Beispiel wird die Kodierinformation durch die Zeitdauern T_1 , T_2 und T_3 , sowie die Amplituden A_1 , A_2 und A_3 dargestellt. Das letzte Intervall T_4 mit der Amplitude A_4 kann verwendet werden um das gesamte Messsignal gleichanteilsfrei zu gestalten. Das Messsignal ist naturgemäß nicht auf drei oder vier signifikante Signalanteile begrenzt, sondern kann aus beliebig vielen Zeitabschnitten zusammengesetzt werden.

In FIG. 4b) ist dargestellt, wie eine binäre drei Bit Kodierinformation in Zeitintervalle im signifikanten Teil des Messsignals umgesetzt werden kann. So kann mit dem ersten Bit darüber

entschieden werden, ob die erste Signalflanke zum Zeitpunkt "T1" oder "T1 + Td" erscheint, die nächsten beiden Bits entscheiden darüber, ob die betreffenden Signalflanken jeweils nach "T1" oder "Tt + Td" erscheinen. T2 wird für jede Kodierinformation so gewählt, dass das Messsignal mittelwertfrei ist.

In FIG. 5 sind vier weitere Beispiele für mögliche Phasenkodierung dargestellt. FIG. 5a) zeigt die binäre Kodierung der Zeitpunkte der Signalflanken des Messsignals, wobei ein 5-Bit Kodierwort versendet wird. Ein sechstes Bit der Kodierinformation kann über die Polarität des Messsignals dargestellt werden. Die Referenzzeitpunkte für die Signalflanken sind im Teilbild a) unabhängig von der Kodierinformation festgelegt. In Teilbild b) ist die Kodiervorschrift ähnlich wie im Teilbild a) jedoch ist der Referenzzeitpunkt für die Signalflanken relativ zur jeweils vorhergehenden Signalflanke festgelegt und somit abhängig von der Kodierinformation. Die Teilbilder c) und d) zeigen Beispiele für die binäre Kodierung mit jeweils einem 4-Bit Kodierwort für feste und relative Referenzzeitpunkte für die Signalflanken, wobei die dargestellten Messsignale mittelwertfrei sind.

FIG. 6 zeigt, wie aus einem empfangenen und demodulierten Messsignal die für die Messung verwendeten Signalflanken abgeleitet werden. Die Messung der Laufzeit zwischen den beiden Sendeempfängern sowie die Messung der Eigenlaufzeit erfolgt durch Messung der Zeitdifferenzen $T\Delta_{ijk}$ zwischen den in einem Sendeempfänger lokal erzeugten Referenzzeitpunkten $\Phi_{Ref,ijk}$ und den betreffenden Flanken des quantisierten empfangenen Messsignals Φ'_{ijk} . Die Referenzzeitpunkte für die einzelnen Flanken $\Phi_{Ref,ijk}$ sind abhängig von der jeweils verwendeten Kodierinformation.

Bei der Umsetzung des empfangenen analogen Messsignals in ein für die weitere Auswertung geeignetes digitales Messsignal bewirkt ein DC-Offset, d.h. eine Verschiebung der Entscheidungsschwelle von s_{th1} des analog-digital Umsetzers auf s_{th2} , eine Verschiebung der Signalflanken von Φ_{ijk} nach Φ'_{ijk} und somit eine Verfälschung der gemessenen Signallaufzeit $T\Delta_{ijk}$ um δT . Weiters bewirken dem empfangenen Messsignal überlagerte Störungen ein Jittern des quantisierten Messsignals. Kombiniert man die einzelnen Messwerte $T\Delta_{ijk}$ eines Messsignals mit l Signalflanken gemäß

$$T\Delta_{jk} = \frac{T\Delta_{1,jk} + 2 \cdot \frac{1}{l-1} \sum_{i=2}^{l-1} T\Delta_{ijk} + T\Delta_{l,jk}}{2 \cdot (l-1)} \quad \text{für } l=3,5,7,\dots$$

oder

$$T\Delta_{jk} = \frac{\frac{1}{l} \sum_{i=1}^l T\Delta_{ijk}}{1} \quad \text{für } l=2,4,6,\dots,$$

so erhält man einen von einer DC-Offsetverschiebung unabhängigen Messwert $T\Delta_{jk}$. Weiters erhält man durch Mittelwertbildung über die einzelnen Flankenzeiten $T\Delta_{ijk}$ eine Reduzierung des Jitters im Messergebnis. Diese Kombination der Signallaufzeiten der einzelnen Flanken wird für die Kalibration und die Laufzeitmessung in gleicher Weise ausgeführt.

Ein wesentliches Sicherheitsmerkmal des Messverfahrens besteht darin, dass die Flankenzeitpunkte der Messsignale durch eine Kodierinformation festgelegt sind. Beim Empfang eines Messsignals wird somit überprüft, ob sämtliche Flanken innerhalb eines Toleranzfensters w_{ijk} eintreffen. Weiters wird überprüft, ob innerhalb eines Toleranzfensters w'_{ijk} um jene Zeitpunkte, die einer falschen Kodierinformation entsprechen würden, keine Flanken des Messsignals auftreten. Die Zeitfenster w_{ijk} werden so klein wie möglich gewählt, wobei aber sichergestellt sein muss, dass durch den maximal zu erwartenden DC-Offset und die maximale zu erwartende Asynchronität der Zeitbasen zwischen den beiden Sendeempfängern $\max(T_{offs})$ die empfangene-

nen Signalfanken noch innerhalb der Toleranzfenster auftreten. Die Zeitfenster w'_{ijk} können etwa gleich lang wie die w_{ijk} gewählt werden.

In FIG. 7a) ist ein Beispiel für die Veränderung der effektiven Durchlasskurve eines Empfangsfilters durch einen Fadingkanal anhand von idealisierten Frequenzverläufen dargestellt. Das Bandfilter des Empfängers der Durchlasskurve "29" mit Bandbreite B_1 wird durch einen Funkkanal mit Fading entsprechend der Durchlasskurve "30" verändert. Die effektive Durchlasskurve von Funkkanal und Empfangsfilter "31" weist eine vergrößerte Durchlassbandbreite B_2 auf, die Laufzeit durch Funkkanal und Empfangsfilter ist somit kleiner als jene durch das Empfangsfilter alleine. Fading im Funkkanal hat somit wesentlichen Einfluss auf die gemessene Laufzeit. Diese Verfälschung der Laufzeit kann man dadurch erkennen, dass die Filtercharakteristiken des Empfangsfilters und des Empfangsfilters mit Funkkanal getrennt gemessen und miteinander verglichen werden. In FIG. 7b) ist gezeigt, wie anhand von drei Messwerten das Auftreten eines Fadingkanals erkannt werden kann. Liegt kein Einfluß eines Fading vor, d.h. weist die Übertragungsfunktion des Funkkanals einen flachen Pegelverlauf auf, so müssen die Filterkurven des Empfangsfilters mit der gemeinsam Durchlasskurve von Empfangsfilter und Funkkanal bis auf einen konstanten Faktor übereinstimmen. Die Pegeldifferenzen innerhalb des Durchlassbandes $P\Delta_1$ und jene außerhalb des Durchlassbandes $P\Delta_2$ und $P\Delta_3$ sind gleich. Werden umgekehrt in Bandmitte und außerhalb des Durchlassbandes unterschiedliche Pegeldifferenzen festgestellt, kann man daraus auf einen Fadingkanal schließen und muss die gemessenen Laufzeitwerte gegebenenfalls verwerfen.

Für die Messung der Durchlasskurve des Empfangsfilters von "TR2" sendet "TR1" in Bandmitte bei der Frequenz f_1 einen unmodulierten Träger aus. Der Sendeempfänger "TR2" erzeugt lokal Trägersignale mit den Frequenzen f_4 und $f_4 \pm f_p$, um die Empfangspegel PE_1 , PE_2 und PE_3 zu messen, wobei sich die Frequenzen f_1 und f_4 um die Zwischenfrequenz unterscheiden. Die Messung der kombinierten Durchlasskurve des Empfangsfilters "TR2" und des Funkkanals erfolgt in der Weise, dass der Sendeempfänger "TR2" lokal ein Trägersignal mit der Frequenz f_4 erzeugt, und "TR1" einmal in Bandmitte mit f_1 und weiters bei den Frequenzen $f_1 \pm f_p$ sendet. Der Sendeempfänger "TR2" misst die jeweiligen Empfangspegel PF_1 , PF_2 und PF_3 . Die gesuchten Pegeldifferenzen in "TR2" erhält man aus Differenzbildung der jeweils zugeordneten Messwerte,

$$\begin{aligned} P\Delta_1^{TR2} &= PE_1^{TR2} - PF_1^{TR2}, \\ P\Delta_2^{TR2} &= PE_2^{TR2} - PF_2^{TR2}, \\ P\Delta_3^{TR2} &= PE_3^{TR2} - PF_3^{TR2}. \end{aligned}$$

Die Durchlasskurve des Empfangsfilters von "TR1" sowie die kombinierte Durchlasskurve des Empfangsfilters und des Funkkanals können in ähnlicher Weise gemessen werden, wobei lediglich die Sende- und Empfangsabfolgen entsprechend zu modifizieren sind. Grundsätzlich können die Durchlasskurven der Empfangsfilter und die kombinierten Durchlasskurven von Empfangsfilter und Funkkanal bei beliebigen und beliebig vielen Frequenzen gemessen werden, für die praktische Anwendung sind aber drei Frequenzen ausreichend, und gleiche Frequenzabstände f_p sind aus praktischen Gründen zu bevorzugen.

Patentansprüche:

- Verfahren zum Messen der Entfernung zwischen zwei Messeinrichtungen, die sich an einem Messort und einem Ziel befinden, bei dem
 - vom Messort elektromagnetische Signale ausgesendet werden, die vom Ziel empfangen werden, bei dem
 - vom Ziel nach dem Empfang dieser Signale wiederum elektromagnetische Signale ausgesendet werden, die am Messort empfangen werden, wobei
 - den jeweils ausgesendeten Signalen eine Kodierungsinformation aufmoduliert ist, bei

dem

- die Länge der vom Messort zum Ziel und von diesem zurück zum Messort führenden Messstrecke unter Verwendung des Ergebnisses einer Signal-Laufzeitmessung bestimmt wird, und bei dem

- die Signallaufzeiten innerhalb der Messeinrichtungen durch Kalibrationsmessungen berücksichtigt werden, *dadurch gekennzeichnet*,

dass in beide Übertragungsrichtungen vom Messort zum Ziel und vom Ziel zum Messort eine unterschiedliche und vor jedem einzelnen Messvorgang neu festgelegte Kodierungsinformation übermittelt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, *dadurch gekennzeichnet*,

dass die am Messort und am Ziel jeweils aus dem empfangenen und demodulierten Messsignal rückgewonnene Kodierungsinformation in Zeit-, Phasen- und Amplitudenlage mit der lokal in der Messeinrichtung gespeicherten Kodierungsinformation verglichen wird, wobei die Laufzeitmessung als ungültig erkannt wird, sofern Signalfanken und Signalamplituden der lokal gespeicherten und der empfangenen Kodierungsinformation außerhalb eines festgelegten Toleranzbereichs liegen.

3. Verfahren nach Anspruch 1, *dadurch gekennzeichnet*,

dass in beiden Messeinrichtungen Teilergebnisse der Laufzeitmessung dadurch erhalten werden, dass die Empfangszeitpunkte der mit den Messsignalen übertragenen Kodierungsinformation relativ zu einer lokalen Zeitbasis in der jeweiligen Messeinrichtung getrennt ermittelt werden und dass das Gesamtergebnis der Laufzeitmessung aus den Teilergebnissen in beiden Messeinrichtungen gebildet wird, wobei zu diesem Zweck das am Zielort gebildete Teilergebnis zur Messeinrichtung am Messort übermittelt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, *dadurch gekennzeichnet*,

dass die zwischen den Messeinrichtungen übertragenen Signale jeweils in mehrere aus Messsignalperioden bestehenden Messgruppen unterteilt sind, wobei in den Messsignalperioden entweder ein Messsignal, ein Kalibriersignal oder ein unmodulierter Träger erzeugt oder empfangen wird und die Messeinrichtungen die Messgruppen ineinander verschachtelt aussenden.

5. Verfahren nach Anspruch 1 bis 3, *dadurch gekennzeichnet*,

dass für die Messung der Empfangszeitpunkte der Messsignale sowohl fallende als auch steigende Signalfanken der durch Demodulation gewonnenen Kodierungsinformation ausgewertet werden.

6. Verfahren nach Anspruch 1, *dadurch gekennzeichnet*,

dass die Frequenzabhängigkeit der Empfangspegel innerhalb und knapp außerhalb des verwendeten Frequenzbandes gemessen wird, wobei ein unsymmetrischer Frequenzverlauf des Empfangspegels in Bezug auf die Mitte des vom Messsignal belegten Frequenzbandes als Kriterium für eine ungültige Messung verwendet wird.

Hiezu 4 Blatt Zeichnungen

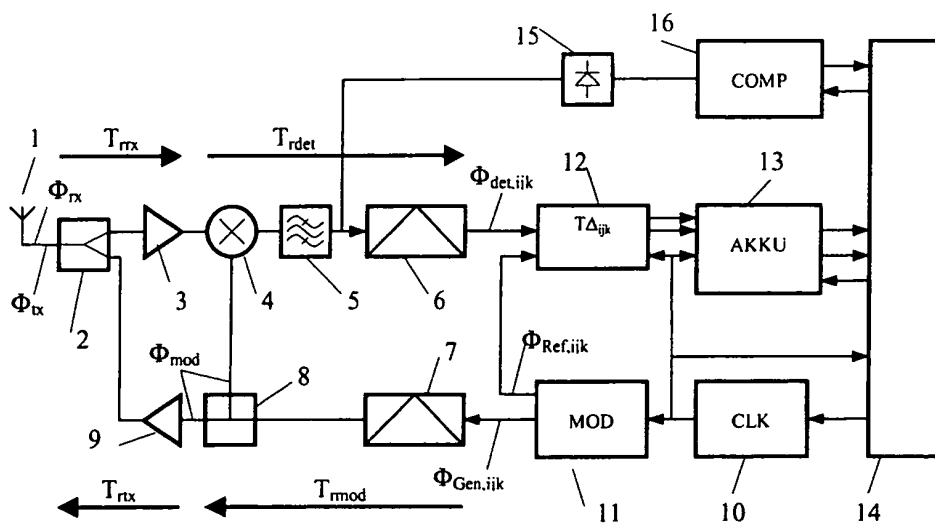


FIG. 1

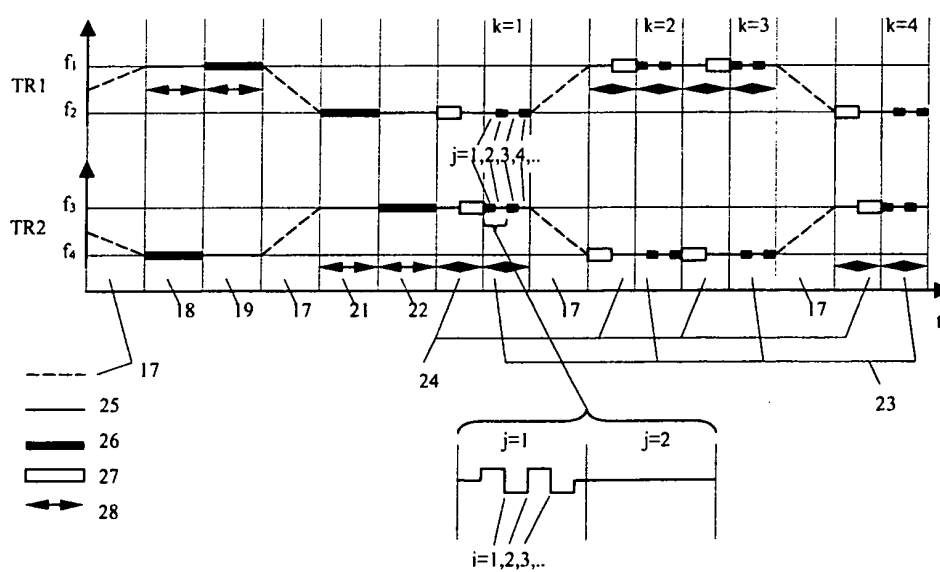


FIG. 2

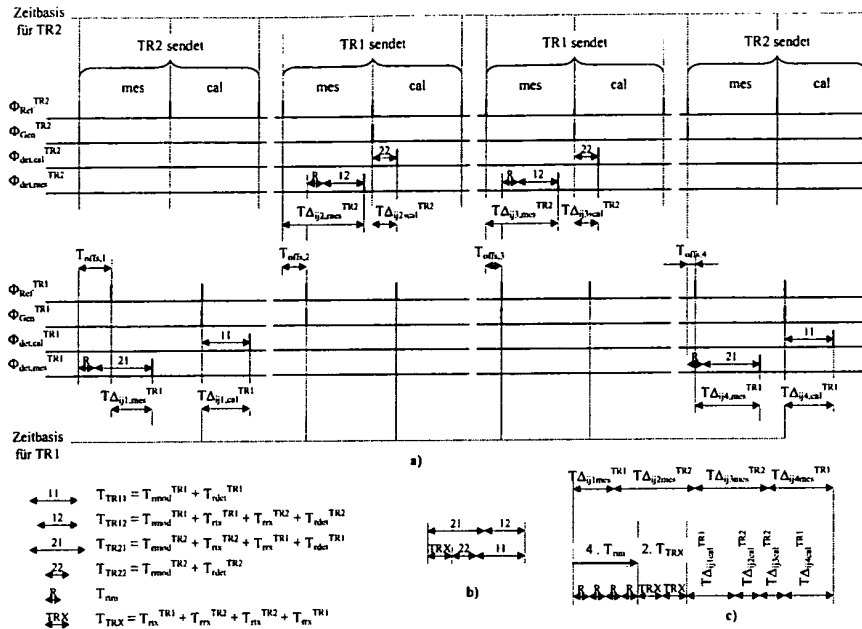


FIG. 3

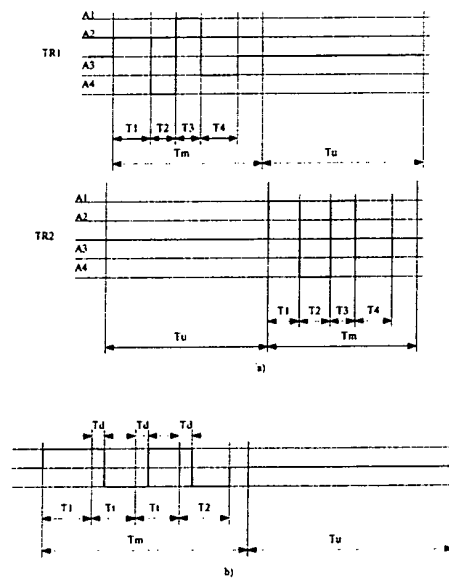


FIG. 4

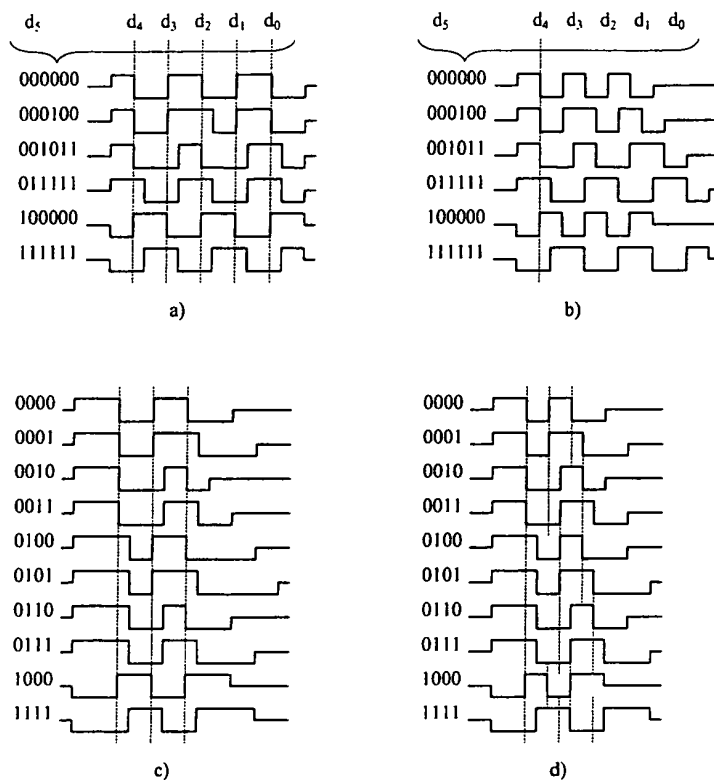


FIG. 5

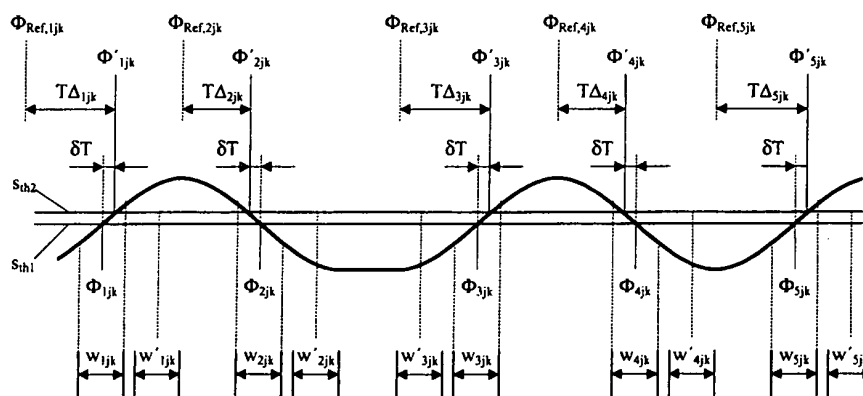


FIG. 6

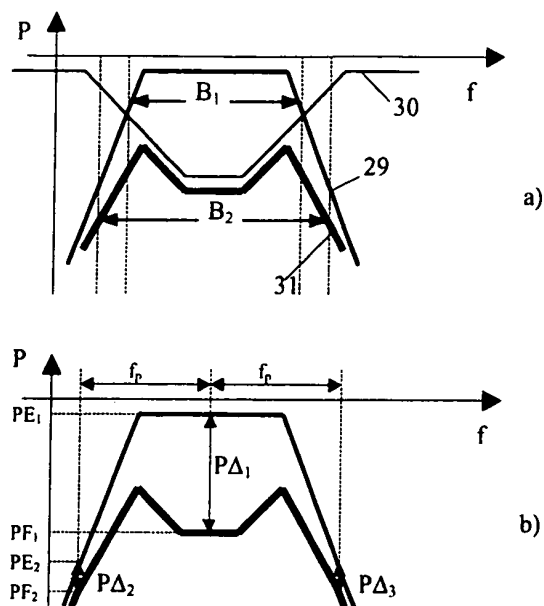


FIG. 7