



(11) **EP 1 439 607 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
13.01.2010 Patentblatt 2010/02

(51) Int Cl.:
H01Q 3/26 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **03026217.4**

(22) Anmeldetag: **14.11.2003**

(54) **Verfahren zur Erzeugung von Kalibriersignalen zur Kalibrierung räumlich entfernter
Signalzweige von Antennensystemen**

Method for generating of calibrating signals for calibration of remotely located signal branches of antenna systems

Méthode de génération des signaux étalonnage pour étalonnage de branches des signaux éloignés dans systèmes d antennes

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE FR GB

(30) Priorität: **14.01.2003 DE 10301125**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
21.07.2004 Patentblatt 2004/30

(73) Patentinhaber: **EADS Deutschland GmbH**
85521 Ottobrunn (DE)

(72) Erfinder:
• **Schuster, Manfred, Dr.**
89257 Illertissen (DE)

• **Herrmann, Franz**
89614 Öpfingen (DE)

(74) Vertreter: **Meel, Thomas**
c/o Dornier GmbH
Patentabteilung
88039 Friedrichshafen (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
WO-A-97/01226 DE-A1- 19 943 952

EP 1 439 607 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Kalibrierung von Signalzweigen von Antennensystemen gemäß dem Patentanspruch 1.

[0002] Aus DE 199 41 473 A1 ist ein Verfahren zur Kalibrierung von Signalzweigen von Antennensystemen bekannt. Bei diesen Verfahren werden die Kalibriersignale zentral mit der entsprechenden Frequenz bei der die Kalibrierung durchgeführt werden soll erzeugt. Problematisch hierbei ist, dass die Verteilerleitungen ein dispersives Verhalten über die Frequenz aufweisen, d.h. die Signallaufzeiten sind frequenz- und temperaturabhängig, wobei die Abhängigkeit um so größer ist, je höher die Absolutfrequenz ist. Außerdem weist eine Signalleitung in Abhängigkeit von Frequenz, Temperatur, Biegeradius der Leitungen sowie Alter verschiedene Dämpfung auf.

[0003] Aufgrund von ungenauen Impedanzanpassungen kommt es bei bekannten Verfahren zu Stehwellen, wodurch ein wellenförmiges Amplitudenverhalten der Signale auftritt. Eine Kalibrierung wird somit erschwert.

[0004] Bekannte Kalibrier-Messgeräte werden üblicherweise ortsfest in das zu vermessenden-Antennensystem eingebaut. Nachteilig hierbei ist der hohe Raumbedarf der Messgeräte sowie die erschwerten und wechselnden Umgebungsbedingungen z.B. beim Einbau der Messgeräte in die Flügelspitzen eines Flugzeugs.

[0005] Ein weiterer Nachteil ist, dass bei bekannten Systemen frequenzselektive Filter verwendet werden, was zu einer unzureichenden Zeitgenauigkeit aufgrund von frequenzspezifischen Gruppenlaufzeiten führt. Diese Gruppenlaufzeiten sind darüber hinaus temperatur- und alterungsabhängig.

[0006] Für bestimmte Messverfahren wird jedoch eine hohe Zeitgenauigkeit gefordert, da die Zeitunterschiede des Auftreffens der empfangenen Signale an den verschiedenen Signalzweigen des Antennensystems zur Ermittlung der Empfangsrichtung herangezogen werden. Dies wird auch als Delta-Time-of-Arrival-Verfahren bezeichnet. Die Empfangsrichtung ist dabei ein wichtiges Kriterium für die Lokalisierung von Sendern.

[0007] Aufgabe der Erfindung ist es, ein Kalibrierverfahren von räumlich entfernten Signalzweigen von Antennensystemen anzugeben, bei welchem Kalibriersignale erzeugt werden, deren Laufzeit- und Amplitudenschwankungenmöglichst gering, sind.

[0008] Diese Aufgabe wird mit dem Verfahren gemäß Patentanspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens sind Gegenstand von Unteransprüchen.

[0009] Erfindungsgemäß wird mittels eines Taktgebers in einer Anordnung zur Signalerzeugung ein Basissignal erzeugt, welches einer Verteilereinheit zur Verteilung des Basissignals an Verstärkerschaltungen auf ihnen jeweils zugeordneten Signalverteilungs-Leitungen zugeführt wird und dass am Ausgang der Verstärkerschaltungen jeweils ein Kalibriersignal durch Verstärkung des Basissignals innerhalb definierter Ober- und Untergrenzen eines Referenzsignals erzeugt und dem jeweiligen, einer Verstärkerschaltung zugeordneten Einspeisepunkt des zu kalibrierenden Signalzweiges zugeführt wird.

[0010] Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren können amplitudenstabile hochfrequente (im GHz-Bereich) Kalibriersignale mit einem definierten Amplitudenverhalten bei räumlich verteilten Einspeisepunkten in zu kalibrierende Signalzweige generiert werden. Außerdem können mit dem erfindungsgemäßen Verfahren zeitgenaue Kalibriersignale bei beliebigen Frequenzen, z.B. gepulste HF-Signale im GHz-Bereich, erzeugt werden. Im Frequenzbereich von 1 GHz bis 20 GHz liegt die Zeitgenauigkeit der erfindungsgemäß erzeugten Kalibriersignale im Sub-Nanosekundenbereich.

[0011] Das Basissignal wird z.B. mit einem Clock Divider erzeugt und kann ein gepulstes Signal (für Zeitkalibrierung) oder ein Dauersignal (für Amplitudenkalibrierung) sein mit einer Frequenz je nach Anwendungsfall im Bereich zwischen 200 und 750 MHz (bis zu 5 GHz). Vorteilhaft ist für die Zeitkalibrierung ein Puls-Burst, das in einem J-K-Flipflop erzeugt wird. Dabei kann das J-K-Flipflop z.B. durch das Ausgangssignal des Clock-Dividers gesteuert werden. Ein Vorteil hierbei ist, dass die Puls-Bursts immer phasenrichtig starten und dass alle Pulse eines Puls-Bursts gleiche Pulsbreite und Tastverhältnisse haben, solange der Referenztakt, z.B. vom Clock Divider eine konstante Frequenz aufweist. Dadurch wird gewährleistet, dass bis zur Bandbreitengrenze eine symmetrische Pulsfolge erzeugt wird.

[0012] Die Erzeugung der Kalibriersignale erfolgt durch die Verstärkung des Basissignals im Ausgangsverstärker der Verstärkerschaltung. Der Ausgangsverstärker, hier auch als Treiberverstärker bezeichnet, weist zweckmäßig eine hohe Bandbreite auf. Mittels des Treiberverstärkers wird am Ausgang der Verstärkerschaltung ein Rechtecksignal mit definierten Ober- und Untergrenzen, auch als High- und Low-Level bezeichnet, und mit einer hohen Flankensteilheit im Bereich von einigen Pikosekunden. Zur Verbesserung der Flankensteilheit des Kalibriersignals können vorteilhaft dem Ausgangsverstärker der Verstärkerschaltung eine oder mehrere weitere Verstärkerstufen vorgeschaltet werden (Fig. 2). Die Hochfrequenzbandbreite des dem Ausgangsverstärker vorgeschalteten Verstärkers kann vorteilhaft kleiner als die des Ausgangsverstärkers oder gleich der Hochfrequenzbandbreite des Ausgangsverstärkers sein. Das Verhältnis richtet sich dabei insbesondere nach der zu erzeugenden Flankensteilheit, welche üblicherweise durch die sogenannte Rise- und Fall-time angegeben wird.

[0013] Die Frequenzanteile des Kalibriersignals verhalten sich gemäß der Fourier-Reihenentwicklung:

$$U(t) = a * \sin(t) + 1/3 * a * \sin(3t) + 1/5 * a * \sin(5t) + \dots + 1/19 * a * \sin(19t) + \dots$$

5 wobei gilt : $a = (U_{\text{High}} - U_{\text{Low}}) * (2/\pi)$
mit

U_{High} : Ausgangsspannung des High-Levels

U_{Low} : Ausgangsspannung des Low-Levels

10

[0014] Eine beispielhafte Darstellung der Ausgangsleistung der einzelnen harmonischen Frequenzen ist in Fig. 3 dargestellt.

[0015] Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahren ist, dass die Verstärkerschaltung zur Erzeugung der Rechtecksignale eine kurze Gruppenlaufzeit aufweist, insbesondere beträgt die Gruppenlaufzeit des Treiberverstärkers weniger als 50 ps. Dadurch wird eine hohe Zeitgenauigkeit des Kalibriersignals erreicht. Da bei dem erfindungsgemäßen Verfahren die Verstärkerschaltung keine frequenzselektiven Bauteile, z.B. Filter aufweist, ist die Laufzeitdispersion des Kalibriersignals gering.

[0016] Mit dem erfindungsgemäßen Kalibrierverfahren wird somit eine hohe Messgenauigkeit der Empfangszeitpunkte bezogen auf die Antennenpositionen gewährleistet, wodurch die Empfangsrichtung eines Signals genau ermittelt werden kann. Ein mögliches Einsatzgebiet des erfindungsgemäßen Verfahrens ist z.B. ein Radar-Warnempfänger oder ein Aufklärungsempfänger (ESM), welche bekanntermaßen aus allen Richtungen empfangsbereit sein müssen. Die hohe Ermittlungsgenauigkeit der Empfangsrichtung eines Signals mit dem erfindungsgemäßen Verfahren erlaubt somit eine genaue Positionsermittlung des Senders.

[0017] Um die Laufzeit auf den Signalverteilungs-Leitungen, welche insbesondere impedanzangepasste Leitungen sind, zu erfassen, umfaßt die Verstärkerschaltung vorteilhaft einen Kalibrierungsschalter, der direkt vor dem jeweiligen Treiberverstärker angeordnet ist. Der Kalibrierungsschalter KLS ist dabei vorteilhaft zwischen einem Durchgangszustand und einem signalreflektierenden Zustand schaltbar. Zur Bestimmung der Leitungslaufzeit wird nun bei auf "reflektierend" gestelltem Kalibrierungsschalter KLS ein Puls-Signal in die Signalverteilungs-Leitung eingespeist und gleichzeitig, sowohl das eingespeiste Signal, als auch der reflektierte Signalanteil mit einer Auswerteeinheit gemessen, die mit einer in die jeweilige Signalverteilungs-Leitung zwischen die Verstärkerschaltung und die Verteilereinheit geschalteten Widerstandsmatrix verbunden ist. Diese Auswerteeinheit ist z.B. ein Hochgeschwindigkeits-Breitband- A/D Wandler mit nachgeschaltetem digitalen Signalrecorder.

[0018] Zweckmäßig ist hier die Verwendung eines Puls-Signals mit einer Pulsbreite kleiner als die kleinste doppelte Leitungslaufzeit (Laufzeit bis zum Auftreten der reflektierten Signalanteile am Einspeisepunkt).

[0019] Die Erfindung sowie weitere vorteilhafte Ausführungen der Erfindungen werden im weiteren anhand von Zeichnungen erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine beispielhafte Schaltungsanordnung einer Kalibrierschaltung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens,

40

Fig. 2 eine beispielhafte Schaltungsanordnung der Verstärkerschaltung,

Fig. 3 eine beispielhafte Darstellung der Ausgangsleistung der einzelnen harmonischen Frequenzen.

[0020] Die in Fig. 1 gezeigte beispielhafte Schaltungsanordnung einer Kalibrierschaltung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahren umfaßt einen Taktgeber TG, der mittels eines integrierten sogenannten Clock Dividers ein Basissignal mit einem vorgebbaren Referenztakt erzeugt. Der Ausgang A des Taktgebers TG ist mit dem Eingang K eines J/K-Flipflops FF verbunden. Bei dem J/K-Flipflop FF handelt es sich um einen sogenannten gesteuerten 2/1-Frequenzteiler. Mit dem verwendeten Flipflop FF ist es somit möglich, exakt gleiche Pulse zu erzeugen, ohne dass weitere Abgleicharbeiten an den erzeugten Pulsen vorgenommen werden müssen. Es wird somit gewährleistet, dass alle Pulse gleich lang sind. Statt eines J/K-Flipflops FF kann aber auch eine Verzögerungsleitung und ein Schmitt-Trigger-Gatter verwendet werden. Am anderen Eingang J des J/K-Flipflops FF wird ein Steuerungssignal (Gate-Signal) angelegt.

[0021] Der Ausgang Q des J/K-Flipflops FF ist mit einem Eingang 4 eines nachgeschalteten Mehrfachumschalters MUX verbunden. Ein weiterer Eingang 3 des Mehrfachumschalters MUX ist direkt mit dem Ausgang A des Taktgebers TG verbunden. Am Eingang 1 des Mehrfachumschalters MUX liegt ein Low-Signal und am Eingang 2 des Mehrfachumschalters MUX liegt ein High-Signal an.

[0022] Der Ausgang AA des Mehrfachumschalters MUX ist mit dem Eingang der Verteilereinheit VN verbunden, das

das Basissignal auf mehrere Signalverteilungs-Leitungen KL verteilt. Die Signalverteilungs-Leitung KL umfassen dabei an ihrem einen Ende jeweils eine Widerstandsmatrix WM und an ihrem anderen Ende eine Verstärkerschaltung VS mit einem Ausgangsverstärker AT und einem Kalibrierleitungsschalter KLS. Die Ausgangsverstärker AT sind mit den Eingängen der jeweils zugeordneten zu kalibrierenden Signalzweig KE verbunden. Diese Verbindung ist dabei hinreichend klein gegenüber den Signalverteilungs-Leitung KL. Die Ausgänge der Signalzweige KE sind mit einer Auswerteeinheit AE verbunden. Die Widerstandsmatrizen WM sind dabei derart geschaltet, dass ein anliegendes Basissignal gleichzeitig durch die Widerstandsmatrix WM auf die Signalverteilungs-Leitung KL geleitet und zu der mit der Widerstandsmatrix WM verbundenen Auswerteeinheit AE geleitet wird.

[0023] Fig. 2 zeigt eine beispielhafte Schaltungsanordnung einer Verstärkerschaltung VS mit einem Kalibrierleitungsschalter KLS. Der Kalibrierleitungsschalter KLS ist hierbei beispielhaft auf Durchgang D eingestellt. Dem Ausgangsverstärker AT der Verstärkerschaltung VS ist ein weiterer Verstärker VV vorgeschaltet. Dadurch wird erreicht, dass die Flankensteilheit des Ausgangssignals (Kalibriersignals) vergrößert wird. Die Hochfrequenzbandbreite des dem Ausgangsverstärker AT vorgeschalteten Verstärkers W kann vorteilhaft kleiner als die des Ausgangsverstärkers AT oder gleich der Hochfrequenzbandbreite des Ausgangsverstärkers AT sein. Am Ausgang AV des Ausgangsverstärkers AT ist eine Spannungsmesseinrichtung SE geschaltet, mittels der die Ausgangsspannungen für High und Low Pegel des Kalibriersignals gemessen werden. Außerdem ist dem Ausgang AV eine Gleichspannungssperre GS, z.B. ein Kondensator, nachgeschaltet.

[0024] Die Messung der Ausgangsspannung von Referenzsignalen am Ausgang der Verstärkerschaltung umfaßt folgende Verfahrensschritte:

- Schalten des Mehrfachumschalters MUX auf Eingang 1 zur Einstellung des Low-Levels und Einstellen des Kalibrierleitungsschalters KLS auf "Durchgang",
- Übertragung des statischen Low-Signals an den Ausgangsverstärker AT über eine Signalverteilungs-Leitung KL
- Messung der Ausgangsspannung des Ausgangsverstärkers AT für das Low-Signal an der Spannungsmesseinrichtung SE
- Schalten des Mehrfachumschalters MUX auf Eingang 2 zur Einstellung des High-Levels
- Übertragung des statischen High-Signals an den Ausgangsverstärker AT über eine Signalverteilungs-Leitung KL
- Messung der Ausgangsspannung des Ausgangsverstärkers AT für das High-Signal an der Spannungsmesseinrichtung SE
- Berechnung der frequenzabhängigen Ausgangsleistung eines Basissignals am Ausgang der Verstärkerschaltung gemäß:

$$P_{Ausgang} = 10 * \log \left[\frac{2 * (U_{High} - U_{Low})}{\pi * \sqrt{2}} \right]^2 / IMP$$

mit

U_{High} : Ausgangsspannung High-Signal
 U_{Low} : Ausgangsspannung Low-Signal
 IMP : Impedanz der Signalleitungen in Ohm

[0025] Die Amplitudenkalibrierung eines Signals in einem Sende- und Empfangspfad erfolgt vorteilhaft gemäß folgender Verfahrensschritte:

- Einstellen des Mehrfachumschalters MUX auf Eingang 3, wobei der Ausgang A des Taktgebers TG direkt mit dem Mehrfachumschalter MUX verbunden ist und wobei das Basissignal des Taktgebers eine Frequenz aufweist die gleich oder kleiner ist als die in den Signalzweig KE zu kalibrierende Frequenz
- Übertragung des so erzeugten Basissignals an den Ausgangsverstärker AT über die Signalverteilungs-Leitung KL und den auf "Durchgang" geschalteten Kalibrier-Leitungsschalter KLS.
- Verstärkung des Basissignals durch den Ausgangsverstärker AT, wobei eine Begrenzung der Ausgangsspannung auf die zuvor gemessenen High- und Low Ausgangsspannungen erfolgt. Dabei kommt die Ausgangsspannung durch die hohe Bandbreite des Ausgangsverstärkers einem idealen Rechteck-Ausgangssignal sehr nahe. Insbesondere weist dieses Ausgangssignal entsprechend der Fourier Reihe definierte Ausgangsleistungen sowohl auf der Grundfrequenz als auch auf den ungeraden Vielfachen der Grundfrequenz auf, wobei der Frequenzbereich für

die Gültigkeit der Fourier Beziehung nur durch die Anstiegs- und Abfallgeschwindigkeit des Ausgangssignals, sowie durch Symmetriefehler des Basissignals eingeschränkt wird.

- Einspeisung des generierten Kalibriersignals in den zu kalibrierenden Signalzweig KE. Durch die spezifischen Frequenzeigenschaften der Signalzweige KE werden aus dem Kalibriersignal die entsprechenden Frequenzanteile selektiert und vermessen. Dies kann z.B. durch eine Reihe von Verstärker-, Filter- und Mischeranordnungen zur Erhöhung des Nutzfrequenzbereichs des Signalzweiges KE erfolgen.
- Berechnung des Verhältnisses der vorbekannten Leistung des Kalibriersignals bei den entsprechenden Vielfachen der Grundfrequenz (oder auch der Grundfrequenz selbst) und der durch den Signalzweig KE gemessenen Leistung, welches als Kalibrierwert für die Ermittlung der tatsächlichen Eingangsleistungen bei der entsprechenden Frequenz verwendet werden kann.

[0026] Die Bestimmung der Eigenlaufzeit des Basissignals zwischen der Verteilereinheit und der Verstärkerschaltung erfolgt vorteilhaft gemäß folgender Verfahrensschritte:

- Einstellen des Mehrfachumschalters MUX auf den Eingang 4, welcher mit dem Ausgang Q des J/K-Flipflops FF verbunden ist und Einstellen des Kalibrier-Leitungsschalter KLS auf den reflektierenden Zustand.
- Erzeugung eines Puls-Paketes durch Umschaltung des J/K Flipflops von "Hold" auf "Toggle" durch einen Wechsel des Gate-Signals am Eingang J des J/K - Flipflops FF, wobei das J/K-Flipflop FF für die Dauer der aktiven Freischaltung durch das Gate-Signal am Eingang J des J-K-Flipflops FF ein Pulspaket erzeugt, dessen Frequenz der halben Frequenz des im Taktgeber TG erzeugten Basissignals entspricht. Alle Pulse innerhalb des Pulspaketes sind gleich lang.
- Das erzeugte Pulspaket wird über eine Verteilereinheit VN, welche z.B. weitere Treiberverstärker umfaßt, zu der Widerstandsmatrix WM weitergeleitet. Über die Widerstandsmatrix WM wird das Pulspaket sowohl direkt an die Auswerteeinheit AE, welches z.B. der Analog-Digital-Wandler der Empfangseinheit ist, als auch auf die Signalverteilungs-Leitung KL weitergeleitet.
- Das auf die Signalverteilungs-Leitung KL weitergeleitete Signal wird an dem sich in einem reflektierenden Zustand befindlichen Kalibrier-Leitungsschalter KLS reflektiert und über die Signalverteilungs-Leitung KL und die Widerstandsmatrix WM ebenfalls an die Auswerteeinheit AE weitergeleitet. Der gemessene Zeitunterschied zwischen dem Empfang des ersten Pulspaketes und dem reflektierten Pulspaket entspricht genau der doppelten Signallaufzeit auf der Signalverteilungs-Leitung KL.

[0027] Die Signallaufzeit im Ausgangsverstärker AT ist klein gegenüber den Laufzeiten in den Signalverteilungs-Leitung KL. Außerdem ist das Signal über den Frequenzbereich über den eine Laufzeitkalibrierung durchzuführen ist nahezu konstant. Die Abweichung beträgt wenige Pikosekunden. Die Signallaufzeit innerhalb des Ausgangsverstärkers AT kann somit für alle zu kalibrierenden Signalzweige als konstant angenommen werden. Schwankungen der Signallaufzeit können deswegen vernachlässigt werden.

[0028] Die Laufzeit eines Signals in dem zu kalibrierenden Signalzweig wird vorteilhaft folgendermaßen gemessen:

- Einstellen des Mehrfachumschalters MUX auf den Eingang 4, welcher mit dem Ausgang Q des J/K-Flipflops FF verbunden ist und Einstellen des Kalibrierleitungsschalters KLS auf "Durchgang". Insbesondere wird der zu kalibrierende Signalzweig KE auf den entsprechenden Frequenzbereich eingestellt, in welchem die Kalibrierung stattfinden soll.
- Erzeugung eines Puls-Paketes durch Umschaltung des J/K-Flipflops FF von "Hold" auf "Toggle" durch einen Wechsel des Gate-Signals am Eingang J des J/K-Flipflops FF, wobei das J/K-Flipflop FF für die Dauer der aktiven Freischaltung durch das Gate-Signal am Eingang J des J/K-Flipflops FF ein Pulspaket erzeugt, dessen Frequenz der halben Frequenz im Taktgeber TG erzeugten Basissignals entspricht. Auch sind alle Pulse innerhalb des Pulspaketes gleich lang.
- Das erzeugte Pulspaket wird über eine Verteilereinheit VN, welches z.B. weitere Treiberverstärker umfaßt, zu den Widerstandsmatrizen WM weitergeleitet. Jede Widerstandsmatrix leitet das Pulspaket sowohl direkt an die Auswerteeinheit als auch auf die jeweilige Signalverteilungs-Leitung KL weiter.
- das auf der Signalverteilungs-Leitung KL weitergeleitete Signal wird durch den Ausgangsverstärker AT verstärkt und zu einem Rechtecksignal geformt, wobei die Begrenzung der Ausgangsspannung des Kalibriersignals auf die zuvor gemessenen High- und Low-Ausgangsspannungen erfolgt. Dabei kommt die Ausgangsspannung des Kalibriersignals durch die hohe Bandbreite des Ausgangsverstärkers einem idealen Rechteck-Ausgangssignal sehr nahe.
- Einspeisung des generierten Kalibriersignals in den zu kalibrierenden Signalzweig KE. Durch die spezifischen Frequenzeigenschaften der Signalzweige KE werden aus dem Kalibriersignal die entsprechenden Frequenzanteile selektiert und vermessen. Dies kann z.B. durch eine Reihe von Verstärker-, Filter- und Mischeranordnungen zur

Erhöhung des Nutzfrequenzbereichs des Signalzweiges KE erfolgen.

- Messen des Laufzeitunterschieds der beiden in der Auswerteeinheit AE empfangenen Signale, wobei die Laufzeit des Signals in dem entsprechenden Signalzweig KE dem zeitliche Unterschied zwischen dem Eingangszeitpunkt des Basissignals aus der Widerstandsmatrix WM an der Auswerteeinheit AE und dem Eingangszeitpunkt des Kalibriersignals durch den zu kalibrierenden Signalzweig KE abzüglich der Eigenlaufzeit zwischen der Verteilereinheit VM und dem Kalibrierungsschalter KLS entspricht.

[0029] Bei der Bestimmung des frequenzspezifischen Laufzeitunterschieds zwischen zwei oder mehreren Signalzweigen KE wird statt des letzten Aufzählungspunktes der zeitliche Unterschied durch direkten Vergleich der Eingangszeitpunkte der Signale an den jeweiligen Auswerteeinheiten ermittelt. Hierbei ist die jeweilige Eigenlaufzeit der Kalibrieranordnung zwischen der Verteilereinheit und der Verstärkerschaltung zu berücksichtigen.

[0030] Wie bereits oben erläutert, ist die Signallaufzeit im Ausgangsverstärker AT klein gegenüber den Laufzeiten in den Signalzweigen KE. Bei gleichartiger Gestaltung der verwendeten Ausgangstreiber für alle zu kalibrierenden Empfangskanäle KE kann die Signallaufzeit in den Ausgangsverstärkern AT als konstant angenommen werden. Sofern Laufzeitunterschiede der Signalzweige KE (nicht Absolutlaufzeiten) gemessen werden, kann somit die Laufzeit der Ausgangsverstärker-Schaltung vernachlässigt werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Kalibrierung von Signalzweigen (KE) von Antennensystemen, die von Kalibrier-Messgeräten räumlich entfernt angeordnet sind mittels erzeugter Kalibriersignale, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Basissignal in einer Anordnung (FF, MUX) zur Signalerzeugung umfassend einen J/K-Flipflop (FF) und einen Mehrfachumschalter (MUX) erzeugt wird und dieses Basissignal einer Verteilereinheit (VN) zur Verteilung des Basissignals an Verstärkerschaltungen (VS) auf ihnen jeweils zugeordneten Signalverteilungs-Leitungen (KL) zugeführt wird und dass am Ausgang der Verstärkerschaltungen (VS) jeweils ein Kalibriersignal durch Verstärkung des Basissignals innerhalb definierter Ober- und Untergrenzen eines Referenzsignals erzeugt und dem jeweiligen, einer Verstärkerschaltung (VS) zugeordneten Einspeisepunkt des zu kalibrierenden Signalzweiges (KE) zugeführt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Verstärkerschaltung (VS) einen Kalibrierleitungsschalter (KLS) umfaßt, der direkt vor den Ausgangsverstärker (AT) geschaltet ist, wobei der Kalibrierleitungsschalter (KLS) zwischen einem Durchgangszustand und einem signalreflektierenden Zustand schaltbar ist und wobei im signalreflektierenden Zustand die Signallaufzeit des Basissignals auf den Signalverteilungs-Leitungen (KL) mit einer Auswerteeinheit (AE) gemessen wird, die mit einer in die jeweilige Signalverteilungs-Leitung (KL) zwischen die Verstärkerschaltung (VS) und der Verteilereinheit (VN) geschalteten Widerstandsmatrix (WM) verbunden ist.
3. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Verbesserung der Flankensteilheit des Kalibriersignals dem Ausgangsverstärker (AT) ein oder mehrere weitere Verstärker (VV) vorgeschaltet werden.
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Hochfrequenzbandbreite der weiteren vorgeschalteten Verstärker (VV) im Verhältnis zu dem Ausgangsverstärker (AT) kleiner oder gleich ist.
5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Basissignal ein Puls-Burst ist.
6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Ermittlung der unteren Amplitudengrenze ein Low-Signal erzeugt wird, welches über die Verteilereinheit (VN) und die Signalverteiler-Leitungen (KL) an die Verstärkerschaltungen (VS) geleitet wird und dass am Ausgang der Verstärkerschaltungen (VS), deren Kalibrierleitungsschalter (KLS) in Durchgang geschaltet sind, eine Ausgangsspannung für das entsprechende Low-Signal gemessen wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 - 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Ermittlung der oberen Amplitudengrenze ein High-Signal erzeugt wird, welches über die Verteilereinheit (VN) und die Signalverteiler-Leitungen (KLS) an die Verstärkerschaltungen (VS) geleitet wird und dass am Ausgang der Verstärkerschaltungen (VS), deren Kalibrierleitungsschalter (KLS) in Durchgang geschaltet sind, eine Ausgangsspannung für das entsprechende High-Signal gemessen wird.

8. Verfahren nach Anspruch 6 und 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die frequenzabhängige Ausgangsleistung eines Basissignals am Ausgang der Verstärkerschaltung (VS) folgendermaßen berechnet wird:

$$P_{Ausgang} = 10 * \log \left[\frac{2 * (U_{High} - U_{Low})^2}{\pi * \sqrt{2}} \right] / IMP$$

mit

U_{High} : Ausgangsspannung High-Signal

U_{Low} : Ausgangsspannung Low-Signal

IMP : Impedanz der Signalleitungen (KLS) in Ohm

9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Amplitude eines Signals in einem Signalzweig (KE) folgendermaßen kalibriert wird:

- der Kalibrierleitungsschalter (KLS) der entsprechenden Verstärkerschaltung (VS) wird auf Durchgang geschaltet,
- ein Basissignal wird über die entsprechende Verstärkerschaltung (VS) und den zu kalibrierenden Signalzweig (KE) geleitet und an der mit dem Ausgang des zu kalibrierenden Signalzweiges (KE) verbundenen Auswerteeinheit (AE) wird die Leistung des entsprechenden Signals gemessen,
- Bestimmung des Verhältnisses der Ausgangsleistung der Verstärkerschaltung (VS) und der am Ausgang des Signalzweiges (KE) ermittelten Leistung.

10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Eigenlaufzeit des Basissignals zwischen der Verteilereinheit (VN) und der Verstärkerschaltung (VS) folgendermaßen gemessen wird :

- der Kalibrierleitungsschalter (KLS) der zu vermessenden Verstärkerschaltung (VS) wird in einen signalreflektierenden Zustand geschaltet,
- ein Basissignal wird über die Verteilereinheit (VN) gleichzeitig an die mit der Widerstandsmatrix (WM) verbundene Auswerteeinheit (AE) und über die Signalverteiler-Leitung (KL) an die Verstärkerschaltung (VS) geleitet, wobei die Widerstandsmatrix (WM) das von dem Kalibrierleitungsschalter (KLS) reflektierte Signal an die Auswerteeinheit (AE) weiterleitet,
- Messen des Laufzeitunterschieds der beiden in der Auswerteeinheit (AE) empfangenen Signale, der der doppelten Laufzeit zwischen der Verteilereinheit (VN) und dem Kalibrierleitungsschalter (KLS) entspricht.

11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Laufzeit eines Signals in dem zu kalibrierenden Signalzweig (KE) folgendermaßen gemessen wird:

- der Kalibrierleitungsschalter (KLS) der entsprechenden Verstärkerschaltung (VS) wird auf Durchgang geschaltet,
- ein Basissignal wird über die Verteilereinheit (VN) gleichzeitig an die Auswerteeinheit und über die Signalverteiler-Leitungen (KL) und die Verstärkerschaltung (VS) an den Einspeisepunkt des zu kalibrierenden Signalzweiges (KE) geleitet, wobei der Ausgang des zu kalibrierenden Signalzweiges (KE) mit der Auswerteeinheit (AE) verbunden ist,
- Messen des Laufzeitunterschieds der beiden in der Auswerteeinheit (AE) empfangenen Signale, wobei die Laufzeit des Signals in dem entsprechenden Signalzweig (KE) dem zeitliche Unterschied zwischen dem Eingangszeitpunkt des Basissignals aus der Widerstandsmatrix (WM) an der Auswerteeinheit (AE) und dem Eingangszeitpunkt des Kalibriersignals durch den zu kalibrierenden Signalzweig (KE) abzüglich der Eigenlaufzeit zwischen Verteilereinheit (VN) und Kalibrierungsschalter (KLS) entspricht.

Claims

1. Method for calibrating signal paths (KE) of antenna systems, which are arranged such that they are spatially remote

from calibration measuring devices, by means of calibration signals which have been generated, **characterized in that** a base signal is generated in a signal-generating arrangement (FF, MUX) comprising a J/K flip-flop (FF) and a multiple changeover switch (MUX), and this base signal is supplied to a distributor unit (VN) for distributing the base signal to amplifier circuits (VS) on signal distribution lines (KL) respectively assigned to them, and **in that** a calibration signal is respectively generated at the output of the amplifier circuits (VS) by amplifying the base signal within defined upper and lower limits of a reference signal and is supplied to the respective feed point of the signal path (KE) to be calibrated, which feed point is assigned to an amplifier circuit (VS).

2. Method according to Claim 1, **characterized in that** the amplifier circuit (VS) comprises a calibration line circuit-breaker (KLS) which is connected directly upstream of the output amplifier (AT), the calibration line circuit-breaker (KLS) being able to be switched between an on state and a signal-reflecting state, and the signal propagation time of the base signal on the signal distribution lines (KL) being measured in the signal-reflecting state using an evaluation unit (AE) which is connected to a resistance matrix (WM) connected to the respective signal distribution line (KL) between the amplifier circuit (VS) and the distributor unit (VN).
3. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** one or more further amplifiers (VV) are connected upstream of the output amplifier (AT) in order to improve the edge steepness of the calibration signal.
4. Method according to Claim 3, **characterized in that** the radio-frequency bandwidth of the further upstream amplifiers (W) is less than or equal to that of the output amplifier (AT).
5. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the base signal is a pulse burst.
6. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** a low signal which is passed to the amplifier circuits (VS) via the distributor unit (VN) and the signal distributor lines (KL) is generated in order to determine the lower amplitude limit, and **in that** an output voltage for the corresponding low signal is measured at the output of the amplifier circuits (VS) whose calibration line circuit-breakers (KLS) have been switched on.
7. Method according to one of Claims 1-5, **characterized in that** a high signal which is passed to the amplifier circuits (VS) via the distributor unit (VN) and the signal distributor lines (KL) is generated in order to determine the upper amplitude limit, and **in that** an output voltage for the corresponding high signal is measured at the output of the amplifier circuits (VS) whose calibration line circuit-breakers (KLS) have been switched on.
8. Method according to Claims 6 and 7, **characterized in that** the frequency-dependent output power of a base signal at the output of the amplifier circuit (VS) is calculated as follows:

$$P_{output} = 10 * \log \left[\frac{2 * (U_{High} - U_{Low})^2}{\pi * \sqrt{2}} \right] / IMP$$

where:

U_{High} : output voltage of high signal
 U_{Low} : output voltage of low signal
 IMP : impedance of the signal lines (KL) in ohms.

9. Method according to Claim 8, **characterized in that** the amplitude of a signal in a signal path (KE) is calibrated as follows:
 - the calibration line circuit-breaker (KLS) of the corresponding amplifier circuit (VS) is switched on,
 - a base signal is passed via the corresponding amplifier circuit (VS) and the signal path (KE) to be calibrated, and the power of the corresponding signal is measured at the evaluation unit (AE) which is connected to the output of the signal path (KE) to be calibrated,
 - the ratio of the output power of the amplifier circuit (VS) to the power determined at the output of the signal path (KE) is determined.

10. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the intrinsic propagation time of the base signal between the distributor unit (VN) and the amplifier circuit (VS) is measured as follows:

- the calibration line circuit-breaker (KLS) of the amplifier circuit (VS) to be measured is switched to a signal-reflecting state,
- a base signal is simultaneously passed to the evaluation unit (AE) connected to the resistance matrix (WM) via the distributor unit (VN) and to the amplifier circuit (VS) via the signal distributor line (KL), the resistance matrix (WM) forwarding the signal reflected by the calibration line circuit-breaker (KLS) to the evaluation unit (AE),
- the propagation time difference between the two signals received in the evaluation unit (AE) is measured, said difference corresponding to twice the propagation time between the distributor unit (VN) and the calibration line circuit-breaker (KLS).

11. Method according to Claim 10, **characterized in that** the propagation time of a signal in the signal path (KE) to be calibrated is measured as follows:

- the calibration line circuit-breaker (KLS) of the corresponding amplifier circuit (VS) is switched on,
- a base signal is simultaneously passed to the evaluation unit via the distributor unit (VN) and to the feed point of the signal path (KE) to be calibrated via the signal distributor lines (KL) and the amplifier circuit (VS), the output of the signal path (KE) to be calibrated being connected to the evaluation unit (AE),
- the propagation time difference between the two signals received in the evaluation unit (AE) is measured, the propagation time of the signal in the corresponding signal path (KE) corresponding to the time difference between the point in time at which the base signal from the resistance matrix (WM) is input to the evaluation unit (AE) and the point in time at which the calibration signal is input by the signal path (KE) to be calibrated minus the intrinsic propagation time between the distributor unit (VN) and the calibration line circuit-breaker (KLS).

Revendications

1. Procédé de calibrage des branches de signal (KE) de systèmes d'antennes, lesquels se trouvent éloignés des appareils de mesure et de calibrage, au moyen de signaux de calibrage générés, **caractérisé en ce qu'un** signal de base est généré dans un arrangement (FF, MUX) de génération de signal comprenant une bascule bistable J/K (FF) et un inverseur multiple (MUX) et ce signal de base est acheminé sur des lignes de distribution de signal (KL) qui lui sont respectivement affectées à une unité de distribution (VN) en vue de distribuer le signal de base à des circuits amplificateurs (VS), et **en ce qu'à** la sortie des circuits amplificateurs (VS) est à chaque fois généré un signal de calibrage en amplifiant le signal de base au sein de limites supérieures et inférieures définies d'un signal de référence, puis acheminé au point d'injection respectif, associé à un circuit amplificateur (VS), de la branche de signal (KE) à calibrer.
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le circuit amplificateur (VS) comprend un commutateur de ligne de calibrage (KLS) qui est branché directement avant l'amplificateur de sortie (AT), le commutateur de ligne de calibrage (KLS) pouvant être commuté entre un état passant et un état de réflexion du signal et, dans l'état de réflexion du signal, le temps de propagation du signal de base sur les lignes de distribution de signal (KL) est mesuré avec une unité d'interprétation (AE) qui est reliée avec une matrice de résistances (WM) branchée dans la ligne de distribution de signal (KL) correspondante entre le circuit amplificateur (VS) et l'unité de distribution (VN).
3. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'un** ou plusieurs amplificateurs supplémentaires (W) sont branchés en amont de l'amplificateur de sortie (AT) pour améliorer la pente des fronts du signal de calibrage.
4. Procédé selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** la largeur de bande de haute fréquence des amplificateurs supplémentaires (W) branchés en amont est inférieure ou égale à celle de l'amplificateur de sortie (AT).
5. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le signal de base est une rafale d'impulsions.
6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'un** signal bas est généré pour déterminer la limite d'amplitude inférieure, lequel est acheminé aux circuits amplificateurs (VS) par le biais de l'unité de distribution (VN) et des lignes de distribution de signal (KL), et **en ce qu'à** la sortie des circuits amplificateurs (VS), dont

les commutateurs de ligne de calibrage (KLS) sont dans l'état passant, une tension de sortie pour le signal bas correspondant est mesurée.

7. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce qu'un** signal haut est généré pour déterminer la limite d'amplitude supérieure, lequel est acheminé aux circuits amplificateurs (VS) par le biais de l'unité de distribution (VN) et des lignes de distribution de signal (KL), et **en ce qu'à** la sortie des circuits amplificateurs (VS), dont les commutateurs de ligne de calibrage (KLS) sont dans l'état passant, une tension de sortie pour le signal haut correspondant est mesurée.

8. Procédé selon les revendications 6 et 7, **caractérisé en ce que** la puissance de sortie dépendante de la fréquence d'un signal de base à la sortie du circuit amplificateur (VS) est calculée de la manière suivante :

$$P_{\text{sortie}} = 10 * \log \left[\left[\frac{2 * (U_{\text{Haut}} - U_{\text{Bas}})}{\pi * \sqrt{2}} \right]^2 \right] \cdot IMP$$

où :

U_{Haut} désigne la tension de sortie du signal haut

U_{Bas} désigne la tension de sortie du signal bas

IMP désigne l'impédance des lignes de signal (KL) en ohms

9. Procédé selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** l'amplitude d'un signal dans une branche de signal (KE) est calibrée de la manière suivante :

- le commutateur de ligne de calibrage (KLS) du circuit amplificateur (VS) correspondant est basculé en l'état passant,

- un signal de base est acheminé par le biais du circuit amplificateur (VS) correspondant et de la branche de signal (KE) à calibrer et la puissance du signal correspondant est mesurée sur l'unité d'interprétation (AE) reliée avec la sortie de la branche de signal (KE) à calibrer,

- le rapport entre la puissance de sortie du circuit amplificateur (VS) et la puissance mesurée à la sortie de la branche de signal (KE) est déterminé.

10. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le temps de propagation propre du signal de base entre l'unité de distribution (VN) et le circuit amplificateur (VS) est mesuré comme suit :

- le commutateur de ligne de calibrage (KLS) du circuit amplificateur (VS) à mesurer est basculé dans un état de réflexion du signal,

- un signal de base est acheminé simultanément à l'unité d'interprétation (AE) reliée à la matrice de résistances (WM) par le biais de l'unité de distribution (VN) et au circuit amplificateur (VS) par le biais de la ligne de distribution de signal (KL), la matrice de résistances (WM) retransmettant à l'unité d'interprétation (AE) le signal réfléchi par le commutateur de ligne de calibrage (KLS),

- la différence de temps de propagation entre les deux signaux reçus dans l'unité d'interprétation (AE) est mesurée, laquelle correspond au double du temps de propagation entre l'unité de distribution (VN) et le commutateur de ligne de calibrage (KLS).

11. Procédé selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** le temps de propagation d'un signal dans la branche de signal à calibrer est mesuré comme suit :

- le commutateur de ligne de calibrage (KLS) du circuit amplificateur (VS) correspondant est basculé dans l'état passant,

- un signal de base est acheminé simultanément à l'unité d'interprétation par le biais de l'unité de distribution (VN) et au point d'injection de la branche de signal (KE) à calibrer par le biais des lignes de distribution de signal (KL) et du circuit amplificateur (VS), la sortie de la branche de signal (KE) à calibrer étant reliée avec l'unité d'interprétation (AE),

- la différence de temps de propagation entre les deux signaux reçus dans l'unité d'interprétation (AE) est

EP 1 439 607 B1

mesurée, le temps de propagation du signal dans la branche de signal (KE) correspondante correspondant à la différence dans le temps entre l'instant de l'entrée du signal de base provenant de la matrice de résistances (WM) dans l'unité d'interprétation (AE) et l'instant de l'entrée du signal de calibrage à travers la branche de signal (KE) à calibrer, moins le temps de propagation propre entre l'unité de distribution (VN) et le commutateur de ligne de calibrage (KLS).

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

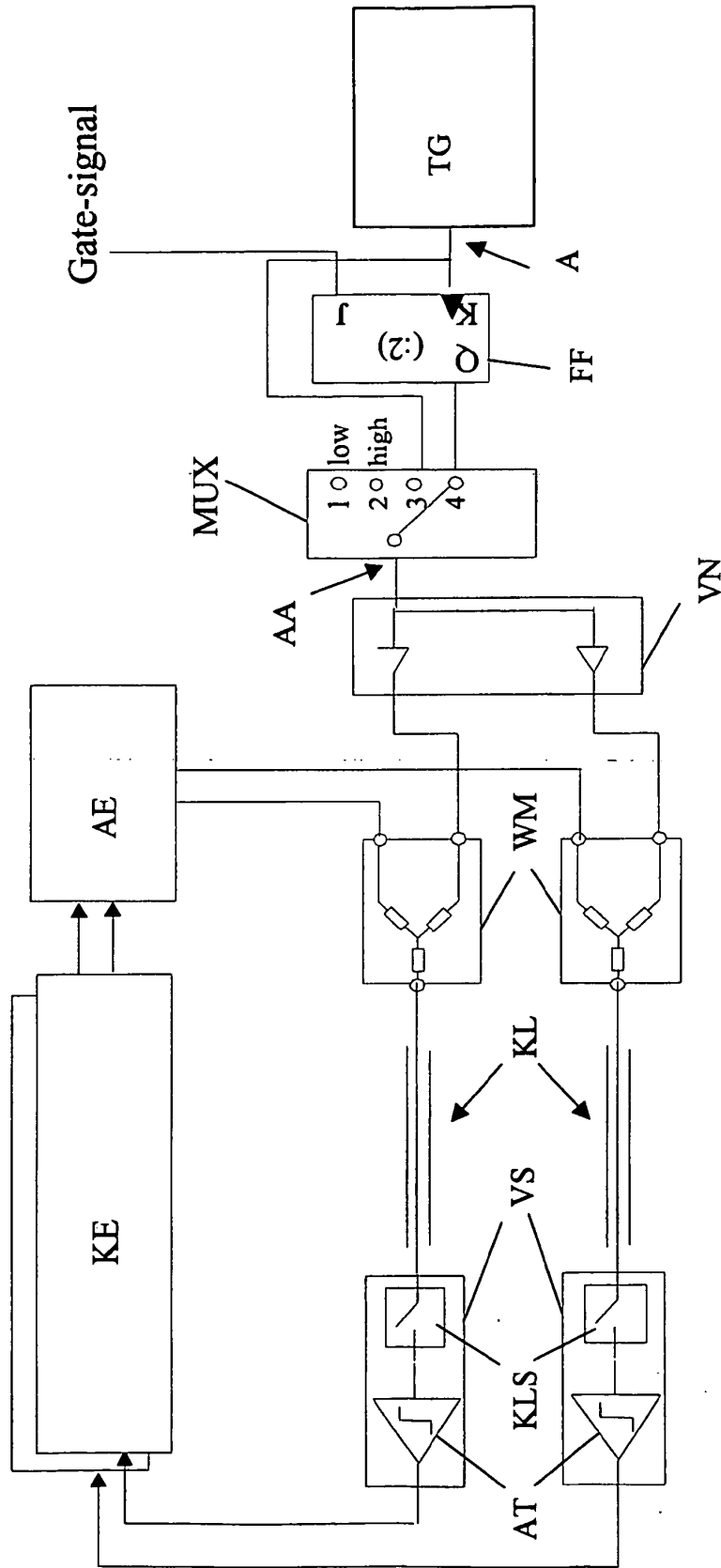


Fig. 1

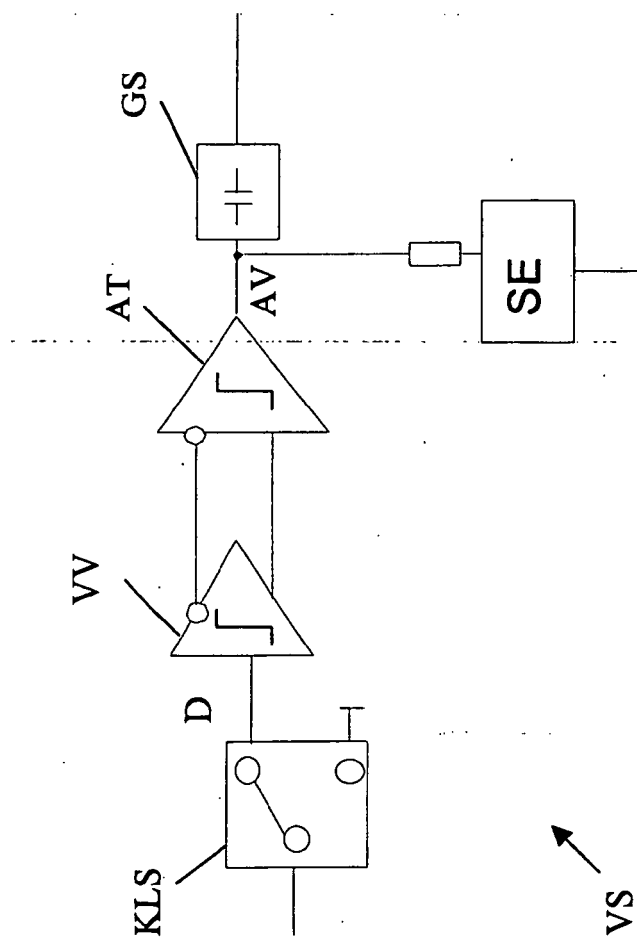


Fig. 2

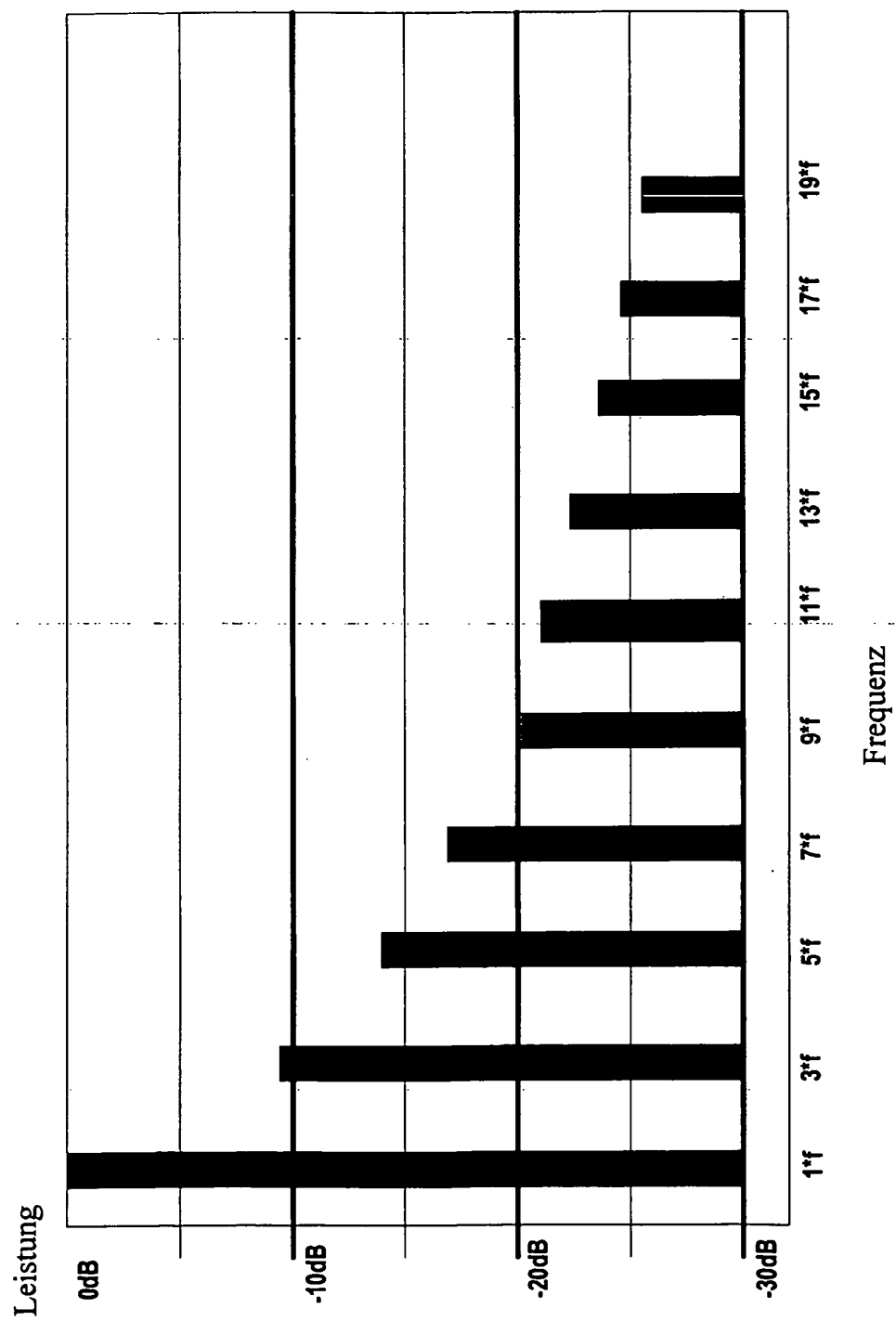


Fig. 3

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 19941473 A1 [0002]