



(11)

EP 4 565 006 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
04.06.2025 Patentblatt 2025/23

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
H05B 6/70 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **25164174.2**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
H05B 6/686; H05B 6/705

(22) Anmeldetag: **23.01.2023**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC ME MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(30) Priorität: **09.02.2022 DE 102022201338**

(62) Dokumentnummer(n) der früheren Anmeldung(en) nach Art. 76 EPÜ:
23701923.7 / 4 477 036

(71) Anmelder: **BSH Hausgeräte GmbH**
81739 München (DE)

(72) Erfinder:
• **Kaiser, Andreas**
83128 Halfing (DE)
• **Böttcher, Christian**
83278 Traunstein (DE)
• **Sterz, Sebastian**
86845 Großaitingen (DE)
• **Kuchler, Markus**
83257 Gstadt am Chiemsee (DE)

Bemerkungen:

Diese Anmeldung ist am 17.03.2025 als Teilanmeldung zu der unter INID-Code 62 erwähnten Anmeldung eingereicht worden.

(54) **KALIBRIEREN VON MIKROWELLENMODULEN FÜR HAUSHALTS-MIKROWELLENGARGERÄTE**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren (S41 - S48) zum Kalibrieren eines Phasenschiebers eines zum Einbau in ein Haushalts-Gargerät vorgesehenen Mikrowellenmoduls, wobei das Verfahren mindestens die folgenden Schritte aufweist: (i) Bereitstellen eines bezüglich seiner Phasenverschiebung zu kalibrierenden Mikrowellenmoduls und eines bezüglich seiner Phasenverschiebung bereits kalibrierten Mikrowellenmoduls, deren Mikrowellenausgänge an jeweilige Eingänge eines Kombinerers angeschlossen werden; (ii) Vorgeben einer gemeinsamen Sollamplitude und einer gemeinsamen Sollfrequenz für beide Mikrowellenmodule sowie einer Soll-Phasenverschiebung an dem kalibrierten Mikrowellenmodul und einer Soll-Phasenverschiebung an dem zu kalibrierenden Mikrowellenmodul; (iii) Erzeugen, mittels beider Mikrowellenmodule, eines jeweiligen Mikrowellensignals mit den jeweils vorgegebenen Sollwerten; (iv) Messen eines an dem Ausgang des Kombinerers anliegenden Signals; (v) Speichern der Werte zumindest der an dem zu kalibrierenden Mikrowellenmodul vorgegebenen Soll-Phasenverschiebung und der Sollfrequenz und/oder daraus abgeleiteter Werte sowie den zugehörigen Messwert als Dateneinträge eines Phasenkalibrierdatensatzes; (vi) Variieren der Soll-Phasenverschiebung an dem zu kalibrierenden Mikrowellenmodul innerhalb einer dritten Phasengruppe unterschiedlicher Soll-Phasenverschiebungen und ...

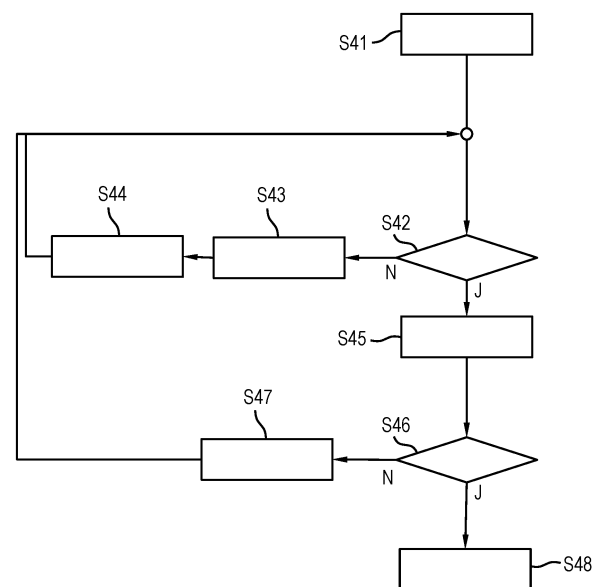


Fig.11

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Kalibrieren eines Phasenschiebers eines zum Einbau in ein Haushalts-Gargerät vorgesehenen Mikrowellenmoduls. Die Erfindung betrifft darüber hinaus einen Kalibrieraufbau zum Durch-

führen dieses Verfahrens. Die Erfindung betrifft auch ein Haushalts-Mikrowellengargerät, in dem mindestens ein gemäß der vorliegenden Verfahren kalibriertes Mikrowellenmodul eingebaut ist.

[0002] DE 10 2019 128 204 B4 offenbart ein Verfahren zum Kalibrieren eines Mikrowellenmoduls für ein Gargerät, wobei das Mikrowellenmodul einen Mikrowellenausgang sowie einen Regelkreis aufweist, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst: Erzeugen von elektromagnetischer Strahlung durch das Mikrowellenmodul, wobei die erzeugte elektromagnetische Strahlung durch eine elektromagnetische Welle definiert ist, die eine Amplitude und eine Phase umfasst, Aussenden der erzeugten elektromagnetischen Strahlung über den Mikrowellenausgang des Mikrowellenmoduls, Messen einer vorwärtslaufenden Welle der ausgesandten elektromagnetischen Strahlung mittels einer zum Mikrowellenmodul externen Messvorrichtung, und Regeln der Amplitude und/oder der Phase der erzeugten elektromagnetischen Strahlung mittels einer zum Mikrowellenmodul externen Steuer- und/oder Auswerteeinheit, die mit dem Regelkreis signalübertragend verbunden ist, sodass die vom Mikrowellenmodul erzeugte elektromagnetische Strahlung hinsichtlich Amplitude und Phase stabil ist.

[0003] EP 3 000 283 B1 offenbart eine Vorrichtung zum Verarbeiten eines Objekts in einem Hohlraum durch Hochfrequenzstrahlung, die von einem oder mehreren strahlenden Elementen emittiert wird, die ausgelegt sind, um die HF-Strahlung in Reaktion auf daran angelegte HF-Energie zu emittieren, wobei die Vorrichtung umfasst: eine HF-Energiezufuhrkomponente, die ausgelegt ist, um HF-Energie zum Anwenden auf ein oder mehrere strahlende Elemente zuzuführen; einen Speicher, der einen Satz von Koeffizienten speichert; und einen Prozessor, der ausgelegt ist, um Rückmeldung in Reaktion auf die Emission von HF-Strahlung durch ein oder mehrere der strahlenden Elemente zu empfangen und das Anwenden von HF-Energie auf ein oder mehrere der strahlenden Elemente basierend auf der Rückmeldung und dem Satz von Koeffizienten zu steuern, wobei der Satz der Koeffizienten mit der HF-Energiezufuhrkomponente in Zusammenhang steht und Fehlerkorrekturkoeffizienten einschließt, die ausgelegt sind, um systematische Fehler in der Funktionsweise der HF-Energiezufuhrkomponente zu korrigieren.

[0004] WO 2015/099651 A1 offenbart ein Verfahren zum Kalibrieren einer Vorrichtung, die konfiguriert ist, um mindestens eine Hochfrequenz (HF)-Einspeisung in einem umschlossenen Hohlraum zu erzeugen. Das Verfahren umfasst: Auswählen mindestens einer Teilmenge von Frequenzen in einer Bandbreite der mindestens einen HF-Einspeisung; Einstellen einer Eingangsleistung für die mindestens eine HF-Einspeisung für jede der mindestens einen Teilmenge von Frequenzen; Betätigen der mindestens einen HF-Einspeisung mit der Eingangsleistung bei jeder der Teilmengefrequenzen; Abtasten von Ausgangsleistungsdaten an der mindestens einen HF-Einspeisung; Interpolieren der abgetasteten Ausgangsleistungsdaten über die Bandbreite der mindestens einen HF-Einspeisung; und Speichern der Ausgangsleistungsdaten und der interpolierten Ausgangsleistung über die Bandbreite der mindestens einen HF-Einspeisung in einer Nachschlagetabelle.

[0005] WO 2016/144872 A1 offenbart ein Verfahren zum Kalibrieren eines Satzes von Geräten, wobei jedes Gerät eine verstärkende Komponente und eine Messkomponente umfasst, die ein digitales Signal ausgibt, das die an der verstärkenden Komponente erfasste Hochfrequenzleistung anzeigt, umfassend: das Auswählen einer Frequenz aus einem Satz von Frequenzen; Auswählen eines Phasenwertes aus einem Satz von Phasenwerten; Auswählen eines Leistungspegels aus einem Satz von Leistungspegeln; Einstellen einer Teilmenge des Satzes von Geräten, um ein Signal der ausgewählten Frequenz, des ausgewählten Phasenwerts und des ausgewählten Leistungspegels auszugeben; Messen eines Vorwärtsleistungspegels und eines Rückwärtsleistungspegels; Verarbeiten der Messungen der Vorwärts- und Rückwärtsleistungspegel, um die digitale Signalausgabe von der Messkomponente jedes Gerätesatzes zu kalibrieren; und Speichern der kalibrierten digitalen Signalausgabe in einen nichtflüchtigen Speicher.

[0006] DE 10 2019 128204 B4 offenbart ein Verfahren zum Kalibrieren eines Mikrowellenmoduls für ein Gargerät, wobei das Mikrowellenmodul einen Mikrowellenausgang sowie einen Regelkreis aufweist, umfasst die folgenden Schritte: - Erzeugen von elektromagnetischer Strahlung durch das Mikrowellenmodul, wobei die erzeugte elektromagnetische Strahlung durch eine elektromagnetische Welle definiert ist, die eine Amplitude und eine Phase umfasst, - Aussenden der erzeugten elektromagnetischen Strahlung über den Mikrowellenausgang des Mikrowellenmoduls, - Messen einer vorwärtslaufenden Welle der ausgesandten elektromagnetischen Strahlung mittels einer zum Mikrowellenmodul externen Messvorrichtung, und - Regeln der Amplitude und/oder der Phase der erzeugten elektromagnetischen Strahlung mittels einer zum Mikrowellenmodul externen Steuer- und/oder Auswerteeinheit, die mit dem Regelkreis signalübertragend verbunden ist, sodass die vom Mikrowellenmodul erzeugte elektromagnetische Strahlung hinsichtlich Amplitude und Phase stabil ist. Ferner sind ein Kalibriersystem, ein Mikrowellenmodul sowie ein Gargerät beschrieben.

[0007] Ein Ofen gemäß EP 3 549 396 B1 umfasst eine Garkammer, die so konfiguriert ist, dass sie ein Lebensmittelprodukt aufnehmen kann, und ein HF-Heizsystem, das so konfiguriert ist, dass es unter Verwendung von Festkörperelektronikkomponenten HF-Energie in die Garkammer einspeist. Die Festkörperelektronikkomponenten umfassen Leistungsverstärkerelektronik, die so konfiguriert ist, dass sie über eine Einkoppelbaugruppe, die über eine Wellen-

leiterbaugruppe betriebsmäßig mit der Garkammer verbunden ist, ein Signal in die Garkammer einspeist. Zwischen der Einkoppelbaugruppe und der Leistungsverstärkerelektronik ist eine Isolationsbaugruppe vorgesehen. Die Leistungsverstärkerelektronik wird zumindest teilweise basierend auf einem Effizienzparameter gesteuert, der aus einem Vorwärtsleistungswert und einem Rückwärtsleistungswert bestimmt wird, die jeweils nach der Isolationsbaugruppe gemessen werden.

[0008] Ein Ofen gemäß EP 3 593 592 B1 umfasst eine Garkammer, die so konfiguriert ist, dass sie eine Last aufnimmt, und ein HF-Heizsystem, das so konfiguriert ist, dass es HF-Energie unter Verwendung von Festkörperelektronikkomponenten in die Garkammer einspeist. Die Festkörperelektronikkomponenten umfassen Leistungsverstärkerelektronik, die so konfiguriert ist, dass sie über eine Antennenbaugruppe ein Signal in die Garkammer einspeist. Die Leistungsverstärkerelektronik umfasst mindestens einen ersten Leistungsverstärker und einen zweiten Leistungsverstärker, die über eine erste Antenne bzw. eine zweite Antenne der Antennenbaugruppe betriebsmäßig mit der Garkammer verbunden sind. Die erste und die zweite Antenne sind über eine erste Kopplungsstruktur bzw. eine zweite Kopplungsstruktur betriebsmäßig mit den jeweiligen ersten und zweiten Leistungsverstärkern verbunden. Ein Richtkoppler ist an einem Anschlussabschnitt vorgesehen, der für mindestens eine der ersten und zweiten Kopplungsstrukturen definiert ist. Der Richtkoppler ist so konfiguriert, dass er einen Vorwärtswellenparameter und einen reflektierten Wellenparameter an eine Messbaugruppe liefert, die so konfiguriert ist, dass sie modifizierte S-Parameter an dem Anschlussabschnitt berechnet.

[0009] Ein Mikrowellenerzeugungssystem gemäß US 2019/080886 A1 umfasst eine modulare Architektur, die so konfiguriert werden kann, dass sie eine Ausgangsleistung von unter 1 Kilowatt bis über 100 Kilowatt liefert. Die verschiedenen Leistungsstufen werden durch die Kombination der HF-Ausgänge mehrerer HF-Leistungsverstärker in einer Unternehmensstruktur erreicht. Das System kann auf jedem ISM-Band verwendet werden. Jede Systemkomponente enthält einen dedizierten eingebetteten Mikrocontroller für eine leistungsstarke Echtzeit-Steuerungsreaktion. Die Komponenten sind an einen digitalen Hochgeschwindigkeitsdatenbus angeschlossen und werden von einem Steuerprogramm gesteuert und überwacht, das auf einem Hostcomputer ausgeführt wird.

[0010] Es ist die **Aufgabe** der vorliegenden Erfindung, die Nachteile des Standes der Technik zumindest teilweise zu überwinden und insbesondere eine besonders genaue Möglichkeit bereitzustellen, ein Mikrowellenmodul eines Haushalts-Mikrowellengeräts zu kalibrieren.

[0011] Diese Aufgabe wird gemäß den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche gelöst. Bevorzugte Ausführungsformen sind insbesondere den abhängigen Ansprüchen entnehmbar.

[0012] Die Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren zum Kalibrieren eines Phasenschiebers eines zum Einbau in ein Haushalts-Gargerät vorgesehenen Mikrowellenmoduls, wobei das Verfahren mindestens die folgenden Schritte aufweist:

(i) Bereitstellen eines bezüglich seiner Phasenverschiebung zu kalibrierenden Mikrowellenmoduls und eines bezüglich seiner Phasenverschiebung bereits kalibrierten Mikrowellenmoduls, deren Mikrowellenausgänge an jeweilige Eingänge eines Kombinierers angeschlossen werden bzw. sind;

(ii) Vorgeben einer gemeinsamen Sollamplitude und einer gemeinsamen Sollfrequenz für beide Mikrowellenmodule sowie einer Soll-Phasenverschiebung an dem kalibrierten Mikrowellenmodul und einer Soll-Phasenverschiebung an dem zu kalibrierenden Mikrowellenmodul;

(iii) Erzeugen, mittels beider Mikrowellenmodule, eines jeweiligen Mikrowellensignals mit den vorgegebenen Sollwerten;

(iv) Messen eines an dem Ausgang des Kombinierers anliegenden Signals;

(v) Speichern der Werte zumindest der an dem zu kalibrierenden Mikrowellenmodul vorgegebenen Soll-Phasenverschiebung und der Sollfrequenz und/oder daraus abgeleiteter Werte sowie den zugehörigen Messwert als Dateneinträge eines Phasenkalibrierdatensatzes;

(vi) Variieren der Soll-Phasenverschiebung an dem zu kalibrierenden Mikrowellenmodul innerhalb einer dritten Phasengruppe unterschiedlicher Soll-Phasenverschiebungen und jeweils erneutes Durchführen der Schritte (iii) bis (v) für mehrere, insbesondere alle, Soll-Phasenverschiebungen der dritten Phasengruppe.

[0013] Dieses Verfahren ergibt den Vorteil, dass die Phasenverschiebung des zu kalibrierenden Mikrowellenmoduls bei einfachem Messaufbau anhand eines bereits phasenkalibrierten Mikrowellenmoduls kalibriert werden kann. Die Kalibrierung der Phasenverschiebung ist besonders vorteilhaft bei vorgesehener Verwendung des zu kalibrierenden Mikrowellenmoduls in einem Mikrowellengerät mit mehreren Mikrowellenmodulen, bei denen durch Einstellen einer Phasenverschiebung zwischen den in den Garraum eingestrahlten Mikrowellen ein gezieltes Interferenzmuster in dem Garraum erzeugt werden soll.

[0014] Das Haushalts-Mikrowellengerät kann ein eigenständiges Mikrowellengerät oder ein Mikrowellenkombinationsgerät sein, z.B. ein Backofen mit Mikrowellenfunktion und ggf. Dampfbehandlungsfunktion. Das Haushalts-Mikrowellengerät weist mindestens ein Mikrowellenmodul auf. Die von dem mindestens einen Mikrowellenmodul erzeugten Mikrowellensignale werden über ein oder mehrere Antennen oder "Ports" als Mikrowellenstrahlung in einen mittels einer

mikrowellendichten Tür verschließbaren Garraum eingestrahlt. Typischerweise wird im Mikrowellenbetrieb des Haushalts-Mikrowellengargeräts ein Teil der eingestrahlten Mikrowellenstrahlung in die mindestens eine Antenne rückgekoppelt.

[0015] Das Mikrowellenmodul ist insbesondere eine vor Einbau in das Haushalts-Mikrowellengargerät separat hergestellte und eigenständig handhabbare Einheit. Mindestens eine Antenne kann direkt oder über eine Signalleitung für Mikrowellen an den Mikrowellenausgang des eingebauten Mikrowellenmoduls angeschlossen sein. Bei dem vorliegenden Verfahren ist der Mikrowellenausgang jedoch antennenlos an das Messsystem angeschlossen, und auch der Mikrowellenausgang des Messsystems ist antennenlos. Bei dem Kalibrierverfahren wird folglich keine Mikrowellenstrahlung in den Raum abgegeben, sondern es werden nur leitungsgebundene Mikrowellensignale erzeugt. Dies ist vorteilhafterweise besonders einfach umsetzbar, fehlerunanfällig und strahlungssicher.

[0016] Dass für beide Mikrowellenmodule eine gemeinsame Sollamplitude und eine gemeinsamen Sollfrequenz vorgegeben werden, umfasst, dass das Mikrowellensignal frequenz- und amplitudenvariabel einstellbar ist.

[0017] Es ist eine Weiterbildung, dass die Frequenz des Mikrowellensignals mittels eines Signalerzeugers (z.B. eines Oszillators, VCOs, PLL, Synthesizers, Schwingkreises, usw.) einstellbar ist. Der Signalerzeuger kann mittels eines Taktgebers mit einer Taktbasis versorgt werden. Der Taktgeber und/oder der Signalerzeuger kann bzw. können Teil des Mikrowellenmoduls sein, brauchen es aber nicht zu sein. So können der Taktgeber und/oder der Signalerzeuger Komponenten eines separaten Signalerzeugungsmoduls sein.

[0018] Zur Unterdrückung z.B. von unerwünschten Frequenzen außerhalb eines bestimmten Frequenzbands kann dem Signalerzeuger ein Bandpassfilter nachgeschaltet sein. Das Bandpassfilter kann eine Komponente des Mikrowellenmoduls oder eines Signalerzeugungsmoduls sein.

[0019] Zur Erhöhung eines Wirkungsgrads kann dem Signalerzeuger ein gesteuerter Zerkacker nachgeschaltet sein, insbesondere auch dem Bandpassfilter nachgeschaltet sein, falls vorhanden. Der Zerkacker kann eine Komponente des Mikrowellenmoduls oder eines Signalerzeugungsmoduls sein.

[0020] Dem Signalerzeuger kann ein erster Verstärker ("Zwischenverstärker") nachgeschaltet sein. Der Zwischenverstärker kann insbesondere auch dem Bandpassfilter und/oder dem Zerkacker nachgeschaltet sein, falls vorhanden. Der Zwischenverstärker kann eine Komponente des Mikrowellenmoduls oder eines Signalerzeugungsmoduls sein. Der Zwischenverstärker kann ein leistungsgesteuerter Verstärker sein. Der leistungsgesteuerte Zwischenverstärker kann insbesondere die Amplitude bzw. Leistung des eingehenden Mikrowellensignals um einen vorgegebenen Faktor verstärken.

[0021] Dem Signalerzeuger kann ein gesteuerter Phasenschieber des Mikrowellenmoduls nachgeschaltet sein. Der Phasenschieber kann insbesondere auch dem Bandpassfilter, dem Zerkacker und/oder dem Zwischenverstärker nachgeschaltet sein, falls vorhanden. Der Phasenschieber ist insbesondere für solche Mikrowellenmodule vorteilhaft, die in Gruppen von mindestens zwei Mikrowellenmodulen in einem Haushalts-Mikrowellengargerät eingebaut werden sollen und mittels derer bei Betrieb des Mikrowellengargeräts in dem Garraum gezielt ein Interferenzmuster erzeugt werden soll.

[0022] Dem Signalerzeuger kann ein gesteuertes Dämpfungsglied des Mikrowellenmoduls nachgeschaltet sein. Das Dämpfungsglied kann insbesondere auch dem Bandpassfilter, dem Zerkacker, dem Zwischenverstärker und/oder dem Phasenschieber nachgeschaltet sein, falls vorhanden. Das Dämpfungsglied kann insbesondere die Amplitude bzw. Leistung des eingehenden Mikrowellensignals um einen vorgegebenen Faktor verringern.

[0023] Dem Signalerzeuger kann mindestens ein zweiter Verstärker ("Endverstärker") nachgeschaltet sein, dessen Ausgang insbesondere unmittelbar mit der Richtkopplungseinrichtung des Mikrowellenmoduls verbunden ist. Der Endverstärker kann ein- oder mehrstufig sein. Insbesondere kann der Endverstärker einen ein- oder mehrstufigen Vorverstärker und eine dem Vorverstärker nachgeschalteten Hauptverstärker aufweisen.

[0024] Die gesteuerten Komponenten des Mikrowellenmoduls wie der Signalerzeuger, der Zerkacker (falls nicht Teil eines Signalerzeugungsmoduls), der Zwischenverstärker, der Phasenschieber, das Dämpfungsglied usw. können mittels einer gemeinsamen Steuereinrichtung des Mikrowellenmoduls angesteuert werden, z.B. mittels eines Mikrocontrollers, ASICs, FPGAs, usw.

[0025] Zudem ist es möglich, an einem Messausgang der Richtkopplungseinrichtung des Messsystems zum Messen der Amplitude in Vorwärtsrichtung einen Frequenzmesser bzw. ein Spektroskop anzuschließen, um die Qualität des Mikrowellensignals, z.B. dessen Bandbreite, zu beurteilen. Dabei kann auch eine Abweichung zwischen Sollfrequenz und Istfrequenz gemessen werden und durch Kalibrierung korrigiert werden.

[0026] Grundsätzlich können auch die Sollfrequenz, die Soll-Phasenverschiebung und die Sollamplitude innerhalb ihrer Gruppen variiert bzw. permutiert werden, und dann die Messwerte für entsprechende Tripel oder "Tripel-Paarungen" von drei gleichzeitig eingestellten Sollwerten in einem Kalibrierdatensatz abgespeichert werden. Allgemein ist die Reihenfolge der variierten Sollparameter beliebig: so können beispielsweise für den Fall, dass sowohl die Werte der Sollfrequenz, der Soll-Phasenverschiebung und der Sollamplitude variiert werden, zunächst ein jeweiliger Wert der Sollfrequenz und der Soll-Phasenverschiebung festgehalten werden und dafür die Werte der Sollamplitude variiert werden, dann ein Wert der Soll-Phasenverschiebung geändert werden und für das neue Paar von Werten der Sollfrequenz und Soll-Phasenverschiebung die Werte der Sollamplitude erneut durchfahren werden, bis alle Werte der Soll-

Phasenverschiebung eingestellt worden sind, und dann ein neuer Wert der Sollfrequenz eingestellt wird usw. Es können aber auch analog alle Werte der Soll-Phasenverschiebung für einen festgelegten Wert der Sollamplitude durchlaufen werden, bevor die Sollamplitude variiert wird, usw.

[0027] Es ist eine Weiterbildung, dass verknüpft mit den Sollwerten zusätzlich eine Temperatur, insbesondere Temperatur eines Endverstärkers, insbesondere Hauptverstärkers, gemessen und in dem Kalibrierdatensatz abgespeichert wird. Dies ergibt den Vorteil, dass bereits beim Setzen einer Solleistung der durch Erwärmung abnehmende Verstärkungsfaktor des Hauptverstärkers berücksichtigt werden kann sowie auch eine Temperaturabhängigkeit der Leistungsmessung der Detektoren korrigiert werden kann. Alternativ oder zusätzlich kann die Temperaturmessung dazu verwendet werden, eine mögliche kommende Überhitzung des Endverstärkers, insbesondere Hauptverstärkers, zu erkennen.

[0028] Es ist eine Ausgestaltung, dass in einem Schritt (vi) zusätzlich die Sollfrequenz innerhalb einer dritten Frequenzgruppe unterschiedlicher Sollfrequenzen variiert wird und die Schritte (iii) bis (v) zusätzlich für mehrere, insbesondere alle, Sollfrequenzen der dritten Frequenzgruppe durchgeführt werden. Dadurch können aus der Kalibrierung auch frequenzabhängige Korrekturkoeffizienten gewonnen werden, was die Korrekturgenauigkeit erhöht.

[0029] Es ist eine Ausgestaltung, dass die in Schritt (ii) an dem kalibrierten Mikrowellenmodul vorgegebene Soll-Phasenverschiebung 0° beträgt und die Soll-Phasenverschiebung innerhalb der dritten Phasengruppe zumindest die Sollwerte 0° und 180° umfasst. Dies ist besonders vorteilhaft, da das Summensignal bei 0° eine maximale Amplitude aufweisen sollte und bei 180° eine minimale Amplitude aufweisen sollte. Ist-Abweichungen an diesen Stellen lassen sich besonders einfach in Korrekturfaktoren umrechnen.

[0030] Es ist eine Ausgestaltung, dass aus den gespeicherten Dateneinträgen des Phasenkalibrierdatensatzes Korrekturfaktoren für den Betrieb des zu kalibrierenden Mikrowellenmoduls berechnet werden, anhand derer die Phasenverschiebungen an die jeweils zugehörigen Soll-Phasenverschiebungen angepasst wird.

[0031] Die Korrekturfaktoren können allgemein beispielsweise durch Interpolation und ggf. auch Extrapolation der Kalibrierdatensätze gewonnen werden. Dabei können die Einträge der Kalibrierdatensätze als Stützstellen dienen. Die Inter- und Extrapolation kann anhand jeder geeigneten Berechnungsmethode durchgeführt werden, z.B. durch Anpassen an eine Polynomfunktion. Im einfachsten Fall wird beispielsweise an dem Detektor 14a ein Messwert x gemessen, z.B. $x = 140$ W. Tatsächlich wurde aber eine Leistung $f(x) = 130$ W gesendet, gemessen mit dem weit genaueren Detektor 55a-1. Wird eine lineare Polynomfunktion angesetzt, wird als funktionaler Zusammenhang zwischen x und $f(x)$ die Gleichung $f(x) = m \cdot x + x_0$ mit m und x_0 den Korrekturfaktoren angesetzt. Mit weiteren Messungen bei anderen Solleistungen können die Korrekturfaktoren m und x_0 bestimmt werden. Typischerweise wird tatsächliche Wert jedoch aus einer mehrdimensional polynomialen Funktion höherer (z.B. zumindest quadratischer) Ordnung berechnet werden, z.B. gemäß $f(x, y, z) = a + bx + cx^2 + dy + ey^2 + fz + gz^2 + \dots$ mit $f(x, y, z)$ der am Detektor 55a-1 gemessenen Leistung, x der am Detektor 14a gemessenen Leistung, y dem eingestellten Wert der Sollfrequenz, z dem eingestellten Wert der Soll-Phasenverschiebung sowie a, b, c, d, e, f und g Korrekturfaktoren.

[0032] Zudem kann aus vorlaufenden Alterungsversuchen der Zusammenhang zwischen Bauteilverschlechterung über die Zeit und Stressfaktoren wie Leistung, Spannungs-Peaks und Temperatur bekannt sein. Diese Alterung kann auch in den Korrekturfaktoren aufgenommen / berücksichtigt werden.

[0033] Insbesondere können Korrekturfaktoren für folgende Messwerte berechnet werden:

- An einer Richtkopplungseinrichtung des Mikrowellenmoduls gemessene Amplitude bzw. Leistung des Mikrowellensignals in Vorwärtsrichtung zu der an der Richtkopplungseinrichtung des Messsystems gemessenen tatsächlichen Amplitude bzw. Leistung des Mikrowellensignals in Vorwärtsrichtung, insbesondere falls eine Ersatzlast angeschlossen ist;
- An der Richtkopplungseinrichtung des Mikrowellenmoduls gemessene Amplitude bzw. Leistung des (reflektierten) Mikrowellensignals in Rückwärtsrichtung zu der an der Richtkopplungseinrichtung des Messsystems gemessenen tatsächlichen Amplitude bzw. Leistung des Mikrowellensignals in Rückwärtsrichtung bei Messung mit einem reflektierenden Endabschluss des Messsystems oder an der Richtkopplungseinrichtung des Mikrowellenmoduls gemessene Amplitude bzw. Leistung des Mikrowellensignals in Rückwärtsrichtung zu der mit den Korrekturfaktoren für die Ersatzlast korrigierten Werten der Amplitude bzw. Leistung des Mikrowellensignals in Vorwärtsrichtung bei Messung ohne das (dann abgekoppelte) Messsystem.

[0034] Diese Korrekturfaktoren können eine Abhängigkeit von der Frequenz, Amplitude, Temperatur, Phase(nverschiebung) und/oder Alterung besitzen.

[0035] Unter einer Richtkopplungseinrichtung wird eine Messvorrichtung verstanden, welche ein durchlaufendes Mikrowellensignal anzapft und einen sehr geringen Anteil des durchlaufenden Mikrowellensignals als Messsignal zur Verfügung stellt. Insbesondere werden von der Laufrichtung des Mikrowellensignals abhängige Messsignale bereitgestellt, d.h., ein Messsignal, dass ein Maß für eine Leistung / Amplitude eines in Vorwärts- bzw. Senderichtung zum Mikrowellenausgang laufenden Mikrowellensignals darstellt, und ein Messsignal das ein Maß für eine Leistung /

Amplitude eines in Rückwärts- bzw. Reflexionsrichtung von dem Mikrowellenausgang kommenden Mikrowellensignals darstellt.

[0036] Die Richtkopplungseinrichtung kann beispielsweise ein bidirektionaler, zirkulatorloser Richtkoppler oder ein Richtkopplungssystem mit Zirkulator sein.

[0037] Die Ersatzlast, z.B. von 50 Ohm, dient dazu, ein in Vorwärtsrichtung laufendes Mikrowellensignal nach Durchlaufen der beiden Richtkopplungseinrichtungen möglichst vollständig zu absorbieren bzw. aufzubrauchen. Idealerweise würde kein Anteil des Mikrowellensignals reflektiert bzw. in Rückwärtsrichtung wieder zurücklaufen.

[0038] Der "reflektierende Endabschluss" kann in einer Weiterbildung ein offenes Ende ("o-pen") umfassen oder sein und in einer anderen Weiterbildung einen definierten Kurzschluss ("short") umfassen oder sein. Beide Abschlussarten erzeugen Totalreflexion und unterscheiden sich nur in der Phasenlage des reflektierten Signals. Die Ersatzlast kann auch als "angepasster Endabschluss" bezeichnet werden.

[0039] Bei einigen Bauarten von Phasenschiebern kann als weiterer Korrekturfaktor berechnet werden:

- Vorgegebene bzw. eingestellte Soll-Phase bzw. -Phasenverschiebung (z.B. als Stellwert des Phasenschiebers) zur der tatsächlich vorliegenden, z.B. mittels des obigen Phasenkalibrierungsverfahrens bestimmten, Phasenverschiebung.

Dieser Korrekturfaktor kann eine Abhängigkeit von der Amplitude, Frequenz, Temperatur und/oder Alterung aufweisen.

[0040] Bei einigen Bauarten von Signalerzeugern, z.B. VCO und Schwingkreis:

- Vorgegebene bzw. eingestellte Frequenz (z.B. als Stellwert des Signalerzeugers) zu der mittels des Messsystems gemessenen tatsächlichen Frequenz des Mikrowellensignals in Vorwärtsrichtung.

Dieser Korrekturfaktor kann eine Abhängigkeit von der Amplitude, Frequenz, Temperatur und/oder Alterung besitzen.

[0041] Ein weiterer möglicher Korrekturfaktor kann beispielsweise umfassen:

- die eingestellte Sollamplitude (z.B. als Stellwert des Dämpfungsgliedes) zu der an dem Messsystem gemessenen tatsächlichen Amplitude in Senderichtung.

Dieser Korrekturfaktor kann eine Abhängigkeit von der Temperatur, Frequenz, Phase und/oder Alterung aufweisen.

[0042] Die Aufgabe wird außerdem gelöst durch ein Haushalts-Mikrowellengerät, aufweisend

- einen mittels einer Tür mikrowellendicht verschließbaren, mit Mikrowellen beaufschlagbaren Garraum,
- mindestens ein Mikrowellenmodul, das dazu eingerichtet ist, zumindest eine Amplitude und eine Frequenz eines an einem Mikrowellenausgang ausgesandten Mikrowellensignals auf variable Sollwerte einzustellen, und das eine Richtkopplungseinrichtung zumindest zum Messen der Amplitude eines ausgesandten Mikrowellensignals und eines reflektierten Mikrowellensignals aufweist;
- eine Steuereinrichtung, die dazu eingerichtet ist, anhand von Korrekturfaktoren, die gemäß mindestens einem der obigen Verfahren berechnet worden sind, mindestens einen Mikrowellenparameter, einschließlich der Amplitude des an die mindestens eine Antenne ausgesandten Mikrowellensignals, an einen zugehörigen Sollwert anzupassen,
- wobei die Kalibrierdatensätze in einem nichtflüchtigen Speicher des Haushalts-Mikrowellengeräts abgespeichert sind und die Korrekturfaktoren mittels des Mikrowellenmoduls, insbesondere mittels dessen Steuereinrichtung, selbst berechenbar sind.

[0043] Das Haushalts-Mikrowellengerät kann analog zu den obigen Kalibrierverfahren ausgebildet sein, und umgekehrt, und ergibt die gleichen Vorteile.

[0044] Allgemein kann das Mikrowellenmodul alle zur Erzeugung eines leitungsgebundenen Mikrowellensignals notwendigen Komponenten aufweisen, angefangen von dem Taktgeber bis zu dem Endverstärker. Jedoch kann es für einen kompakten und preisgünstigen Aufbau vorteilhaft sein, wenn zumindest einige Komponenten zur Signalerzeugung nicht in einem Mikrowellenmodul verbaut sind, sondern z.B. eigenständig verbaut sind oder in einem dedizierten Signalerzeugungsmodul verbaut sind, das den Taktgeber, den Signalerzeuger, das Bandpassfilter und/oder den Zerhacker aufweisen kann. Die Verwendung eines eigenständigen Signalerzeugungsmoduls kann besonders vorteilhaft sein, wenn dadurch ein Mikrowellensignal erzeugt wird, das - beispielsweise über einen Splitter - an mehrere Mikrowellenmodule angelegt werden kann.

[0045] Die Aufgabe wird darüber hinaus gelöst durch einen Kalibrieraufbau zum Durchführen des Verfahrens zum Kalibrieren der Phasenverschiebung, aufweisend ein kalibriertes Mikrowellenmodul, mindestens ein zu kalibrierendes Mikrowellenmodul und ein Messsystem, wobei

- das Messsystem einen Kombinierer aufweist, dessen Eingänge an die Mikrowellenausgänge der Mikrowellenmodule angeschlossen sind und dessen Ausgang an einen Detektor des Messsystems angeschlossen ist, und wobei
 - der Detektor mit einer Datenverarbeitungseinrichtung des Messsystems verbunden ist, die mit Steuereinheiten der Mikrowellenmodule zu deren Steuerung koppelbar ist;

und wobei an den Mikrowellenmodulen zumindest eine Frequenz und eine Phasenverschiebung, ggf. auch eine Amplitude, des davon erzeugten Mikrowellensignals variierbar sind.

[0046] Die oben beschriebenen Eigenschaften, Merkmale und Vorteile dieser Erfindung sowie die Art und Weise, wie diese erreicht werden, werden klarer und deutlicher verständlich im Zusammenhang mit der folgenden schematischen Beschreibung von Ausführungsbeispielen, die im Zusammenhang mit den Zeichnungen näher erläutert werden.

Fig.1 zeigt einen Aufbau einer Halbleiter-Mikrowellenerzeugungstrecke mit einem Mikrowellenmodul;

Fig.2 zeigt eine Variante eines Richtkopplers des Mikrowellenmoduls aus Fig.1;

Fig.3A zeigt noch eine Variante eines Richtkopplers des Mikrowellenmoduls aus Fig.1;

Fig.3B zeigt noch eine Variante eines Richtkopplers des Mikrowellenmoduls aus Fig.1;

Fig.4 zeigt einen Aufbau einer Halbleiter-Mikrowellenerzeugungstrecke mit zwei Mikrowellenmodulen;

Fig.5 zeigt einen weiteren Aufbau einer Halbleiter-Mikrowellenerzeugungstrecke mit zwei Mikrowellenmodulen;

Fig.6 zeigt einen nicht zur Erfindung gehörigen Kalibrierungsaufbau zum Kalibrieren des Mikrowellenmoduls aus Fig.1;

Fig.7 zeigt einen anhand des in Fig.6 dargestellten Kalibrierungsaufbaus durchführbaren ersten Teil eines nicht zur Erfindung gehörigen Kalibrierungsablaufs;

Fig.8 zeigt einen zweiten Teil des nicht zur Erfindung gehörigen Kalibrierablaufs gemäß einer ersten Variante, der sich an den in Fig.7 dargestellten ersten Teil anschließen kann,

Fig.9 zeigt einen zweiten Teil des nicht zur Erfindung gehörigen Kalibrierablaufs gemäß einer zweiten Variante, der sich an den in Fig.7 dargestellten ersten Teil anschließen kann;

Fig.10 zeigt einen erfinderischen Kalibrierungsaufbau zum Kalibrieren des Mikrowellenmoduls aus Fig.1; und

Fig.11 zeigt einen anhand des in Fig.10 gezeigten Kalibrierungsaufbaus durchführbaren erfinderischen Kalibrierungsablauf.

[0047] Fig.1 zeigt einen Aufbau einer Halbleiter-Mikrowellenerzeugungstrecke 1 zur Erzeugung von Mikrowellenstrahlung.

[0048] Am Anfang der Mikrowellenerzeugungstrecke 1 ist ein Taktgeber 2 wie ein Quarzschwinger oder eine andere Frequenzquelle vorhanden, dessen Taktsignal in einen steuerbaren Signalerzeuger 3 eingespeist wird. Das Taktsignal ist sehr frequenzstabil und kann z.B. eine Taktfrequenz in einem Bereich zwischen einigen hundert KHz bis zu einigen zehn MHz aufweisen. Eine Bandbreite beträgt typischerweise einige Hertz bis einige zehn Hertz.

[0049] Der Signalerzeuger 3 erzeugt mit Hilfe des Taktsignals ein Arbeits- bzw. Mikrowellensignal einer gewünschten Mikrowellenfrequenz mit noch vergleichsweise geringer Leistung. Die von dem Signalerzeuger 3 erzeugte Mikrowellenfrequenz kann mittels einer Steuereinrichtung, z.B. eines Mikrokontrollers 4, eingestellt werden (frequenzvariabler Signalerzeuger 3). Insbesondere können Mikrowellensignale mit einer Frequenz in einem Frequenzbereich zwischen 2,4 GHz und 2,5 GHz erzeugt werden, sind aber grundsätzlich nicht darauf beschränkt. Der Signalerzeuger 3 kann beispielsweise ein Oszillator, VCO, PLL, Synthesizer, Schwingkreis, usw. sein.

[0050] Dem Signalerzeuger 3 ist hier ein - grundsätzlich optional vorhandener - Bandpassfilter 5 nachgeschaltet. Dieser weist den Vorteil auf, dass unabsichtlich erzeugte unerwünschte Frequenzen, z.B. außerhalb eines ISM-Bands oder außerhalb des einstellbaren Frequenzbereichs, z.B. außerhalb des Bands von 2,4 GHz bis 2,5 GHz, unterdrückt werden.

[0051] Dem optionalen Bandpassfilter 5 ist hier ein - grundsätzlich optional vorhandener - steuerbarer Zerhacker 6 nachgeschaltet. Das Vorhandensein des Zerhackers 6 ergibt den Vorteil, dass Teilleistungen mit sehr hohem Wirkungsgrad erzeugt werden können. Die Mikrowellenerzeugungstrecke 1 kann dazu auf einen Leistungspegel eingestellt werden, in dem sie mit möglichst hohem Wirkungsgrad arbeitet. Teilleistungen werden mit dem Zerhacker 6 realisiert, indem er das Mikrowellensignal zeitlich ein- und ausschaltet, z.B. ähnlich einer PWM-Ansteuerung. Gewünschte Teilleistungen oder Volleistung können mittels des Mikrokontrollers 4 vorgegeben werden.

[0052] Dem optionalen Zerhacker ist ein ebenfalls optionaler Verstärker ("Zwischenverstärker") 7 nachgeschaltet. Es kommt auf die konkrete Umsetzung der Mikrowellenerzeugungstrecke 1 an, ob und an welcher Stelle ein Zwischenverstärker 7 benötigt wird. Beispielsweise kann ein Zwischenverstärker 7 eingesetzt werden, wenn eine Amplitude des Mikrowellensignals an dieser Stelle der Mikrowellenerzeugungstrecke 1 als zu gering angesehen wird. Es können auch mehrere Zwischenverstärker 7 über die Mikrowellenerzeugungstrecke 1 verteilt vorhanden sein.

[0053] Dem optionalen Zwischenverstärker 7 folgt ein ebenfalls optionaler Phasenschieber 8. Der Phasenschieber 8 kann jedoch erforderlich sein, wenn mittels mindestens zwei Mikrowellenerzeugungstrecken 1 ein gewünschtes Interferenzmuster in einem Garraum 23 des Haushalts-Mikrowellengeräts 24 erzeugt werden soll. Gesteuert wird die

Größe der Phasenverschiebung des eingehenden Mikrowellensignals über den Mikrokontroller 4, z.B. in Schritten von 1°, 2°, 5° oder 10° innerhalb eines Bereichs zwischen 0° und 180° oder 0° und 360°.

[0054] Dem optionalen Phasenschieber 8 ist hier ein Amplitudensteller in Form eines Dämpfungsglieds 9 nachgeschaltet. Das Dämpfungsglied 9 steuert die Amplitude des in den Vorverstärker 10 eingehenden Mikrowellensignals und reduziert diese Amplitude insbesondere um einen durch den Mikrokontroller 4 einstellbaren Betrag oder Faktor. Statt des Dämpfungsglieds 9 kann als Amplitudensteller auch ein steuerbarer Verstärker eingesetzt werden, z.B. ein VCA. Ferner kann die Amplitude über einen geeigneten Zwischenverstärker 7, an dem dazu z.B. dessen Gate-Spannung gesteuert wird, eingestellt werden.

[0055] Dem Dämpfungsglied 9 ist ein Endverstärker 10, 11 in Form einer hier beispielhaft verwendeten Reihenschaltung aus einem weiteren Verstärker ("Vorverstärker") 10 und noch einem weiteren Verstärker ("Hauptverstärker") 11 nachgeschaltet. Der Vorverstärker 10 kann mehrstufig aufgebaut sein. Ist mindestens ein Zwischenverstärker 7 vorhanden, ist er in der Mikrowellenerzeugungsstrecke 1 zwischen dem Signalerzeuger 3 und dem Endverstärker 10, 11 vorhanden.

[0056] Dem Hauptverstärker 11 ist eine Richtkopplungseinrichtung 12 nachgeschaltet, an dessen Messausgängen 13a und 13b jeweilige Detektoren 14a bzw. 14b, z.B. Spannungsmesser, angeschlossen sind. Die Messsignale der Detektoren 14a, 14b und eines, z.B. an dem Hauptverstärker 11 angeordneten, optionalen Temperatursensors 15 werden dem Mikrokontroller 4 direkt oder über einen Analog-Digital-Wandler (o. Abb.) zugeführt.

[0057] An den Ausgang der Richtkopplungseinrichtung 12 ist eine Antenne 16 angeschlossen, welche das Mikrowellensignal in Mikrowellenstrahlung umsetzt und abstrahlt, z.B. direkt in einen Garraum oder in eine Mikrowellenführung.

[0058] Insbesondere wird an dem Messausgang 13a ein Messsignal, insbesondere Spannungssignal, ausgegeben, das ein Maß für die Amplitude und damit die Leistung des zu der Antenne 16 in Vorwärts- oder Senderichtung laufenden Mikrowellensignals ist. An dem Messausgang 13b wird ein Messsignal, insbesondere Spannungssignal, ausgegeben, das ein Maß für die Leistung des über die Antenne 16 reingekoppelten rückwärtslaufenden Mikrowellensignals ist. Diese Leistungen können beispielsweise zur Steuerung, insbesondere Regelung, der Halbleiter-Mikrowellenerzeugungsstrecke 1 verwendet werden.

[0059] Allgemein können die oben beschriebenen Komponenten 2 bis 15 beliebig in dem Haushalts-Mikrowellengerät angeordnet sein. Besonders vorteilhaft ist es, wenn zumindest einige dieser Komponenten 2 bis 15 Teile eines vor Einbau in das Haushalts-Mikrowellengerät vorgefertigten Mikrowellenmoduls 17 sind. Beispielsweise können die Komponenten 3 bis 15 Teile des Mikrowellenmoduls 17 sein, wie gestrichelt angedeutet, oder es können die Komponenten 2 bis 15 Teile des Mikrowellenmoduls 17 sein, wie gepunktet angedeutet. Es sind jedoch auch andere Zuordnungen zu ein oder mehreren Modulen möglich, wie weiter unten noch genauer beschrieben wird. Typischerweise ist im eingebauten Zustand die Antenne 16 an einen (Mikrowellen-) Ausgang 18 des Mikrowellenmoduls 17 angeschlossen. Ferner können zwei oder mehr der Komponenten 2 bis 15 funktional durch eine einzige Komponente ersetzt werden. Wird als Signalerzeuger 3 beispielsweise ein Synthesizer verwendet, können ein oder mehrere der Komponenten 6, 8 und/oder 9 eingespart werden, da ein Synthesizer deren Funktionen bereits beinhaltet. Sehr viele am Markt erhältliche Synthesizer können nämlich zerhacken (zeitlich Ein- und Ausschalten) und die Phase verschieben. Einige können auch eine feinstufige Amplitudensteuerung realisieren.

[0060] Fig.2 zeigt eine Variante eines Richtkopplers 12 in Form eines bidirektionalen Richtkopplers 12-1 ohne Zirkulator. Die Messausgänge 13a, 13b geben nur einen Bruchteil der Amplitude des durch den Richtkoppler 12-1 durchgeleiteten Arbeits- bzw. Mikrowellensignals wieder. Übliche Kopplungswerte liegen im Bereich von -30 dB. Der bei weitem größte Anteil des von dem Hauptverstärker 11 eingehenden Mikrowellensignals verlässt den Richtkoppler 12-1 in Richtung Ausgang 18 bzw. Antenne 16.

[0061] Fig.3A zeigt eine Variante des Richtkopplers 12. Dabei wird ein Richtkopplers 12-2 verwendet, welcher einen Zirkulator 19 aufweist, der dem Hauptverstärker 11 folgt. Der Zirkulator 19 schützt den Hauptverstärker 11 vor zu hohen Reflexionssignalen aus dem Garraum. Der Zirkulator 19 sendet das vom Hauptverstärker 11 empfangene Mikrowellensignal durch einen Einweg-Richtkoppler 20 in Richtung des Ausgangs 18 bzw. der Antenne 16. Aus dem Garraum reflektierte Signale, die von der Antenne 16 Richtung Zirkulator 19 fließen, werden von dem Zirkulator 19 durch einen weiteren Einweg-Richtkoppler 21 zu einem Abschlusswiderstand 22 umgeleitet.

[0062] Fig.3B zeigt eine Variante des Richtkopplers 12 in Form eines Richtkopplers 12-3 mit Zirkulator 19, bei dem im Vergleich zu dem Richtkoppler 12-2 der Zirkulator 19 und der Einweg-Richtkoppler 20 (mit den zugehörigen Komponenten) im Signalgang umgekehrt angeordnet sind.

[0063] Fig.4 zeigt einen Aufbau einer Mikrowellenerzeugungsstrecke 31 eines Haushalts-Mikrowellengeräts 32 mit zwei Mikrowellenmodulen 17. Deren Signalerzeuger 3 wird aus dem gleichen Taktgeber 2 gespeist, welcher ein zu beiden Mikrowellenmodulen 17 separates Bauteil sein kann oder in eines der Mikrowellenmodule 17 integriert sein kann. Die Mikrokontroller 4 werden beide durch eine gemeinsame Steuereinheit 33 angesteuert, beispielsweise zum Einstellen von Phasenverschiebungen an einem oder an beiden der Mikrowellenmodule 17. Durch eine Phasenverschiebung der Mikrowellensignale der beiden Mikrowellenmodule 17 lassen sich in dem Garraum 23 gezielt Interferenzmuster erzeugen.

[0064] Die Mikrowellenerzeugungsstrecke 31 kann für mehr als zwei Mikrowellenmodule 17 analog weitergeführt werden.

[0065] Fig.5 zeigt einen weiteren Aufbau einer Halbleiter-Mikrowellenerzeugungsstrecke 41 eines Haushalts-Mikrowellengeräts 42 mit zwei Mikrowellenmodulen 17 mit zwei Mikrowellenmodulen 43, die mit Mikrowellensignalen aus einem gemeinsamen Signalerzeugungsmodul 44 gespeist werden. Die Mikrowellenmodule 43 umfassen nun nur noch jeweils die Komponenten 7 bis 15, während die Komponenten 2, 3, 5, 6 dem Signalerzeugungsmodul 44 zugeordnet sind. Die Mikrowellenmodule 43 umfassen ferner einen Mikrokontroller 45 zur Steuerung der zugehörigen Komponenten 7 bis 9 und zur Auswertung der Messsignale von der Richtkopplungseinrichtung 12, während der Signalerzeuger 3 und der Zerhacker 6 mittels eines Mikrokontrollers 46 angesteuert werden. Die Mikrokontroller 45 und 46 sind wiederum unter Kontrolle der gemeinsamen Steuereinheit 33.

[0066] Die Ausgangssignale des Signalerzeugungsmoduls 44 werden mit Hilfe eines Splitters 47 aufgeteilt und an die Eingänge der Mikrowellenmodule 43 weitergeleitet.

[0067] Auch die Mikrowellenerzeugungsstrecke 41 kann für mehr als zwei Mikrowellenmodule 43 analog weitergeführt werden, wie durch die von dem Splitter 47 abgehende gestrichelte Linie angedeutet.

[0068] Aufgrund von Bauteil- und Einbautoleranzen der Komponenten 2 bis 15 und 17 bis 22 kann es vorkommen, dass die von den Detektoren 14a, 14b an die Mikrokontroller 4 bzw. 45 ausgegebenen Messwerte fehlerbehaftet sind, so dass beispielsweise anstelle einer eingestellten Soll-Leistung, Soll-Frequenz und/oder Soll-Phasenverschiebung ein davon abweichendes Mikrowellensignal an den Ausgang 18 bzw. die Antenne 16 ausgegeben wird. Um diesen Fehler zu korrigieren, können eine oder mehrere Komponenten der Halbleiter-Mikrowellenerzeugungsstrecke 1, insbesondere das Mikrowellenmodul 17, kalibriert werden, was im Folgenden genauer erläutert wird.

[0069] Fig.6 zeigt einen Kalibrierungsaufbau zum Kalibrieren eines hier beispielhaft ausgewählten Mikrowellenmoduls 17 mit seinen Komponenten 2 bis 15 mittels eines Messsystems 51. Das Mikrowellenmodul 17 ist eingangsseitig an einen Taktgeber 2 angeschlossen.

[0070] An seinen Mikrowellenausgang 18 ist nun nicht die Antenne 16 angeschlossen, sondern eine Richtkopplungseinrichtung 52 des Messsystems 51. Die Richtkopplungseinrichtung 52 kann analog zu der Richtkopplungseinrichtung 12-1 als bidirektionaler Richtkoppler ohne Zirkulator oder analog zu der Richtkopplungseinrichtung 12-2 mit Zirkulator ausgerüstet sein. Die Richtkopplungseinrichtung 52 weist eine höhere Messgenauigkeit / geringere Fehlertoleranz auf als die Richtkopplungseinrichtung 12. Analog zu der Richtkopplungseinrichtung 12 weist die Richtkopplungseinrichtung 52 einen Mikrowellenausgang 53, einen Messausgang 54a zur Messung von in Senderichtung zum Mikrowellenausgang 53 laufenden Mikrowellen und einen Messausgang 54b zur Messung von von dem Mikrowellenausgang 53 zurücklaufende, reflektierte Mikrowellen auf. Dem Messausgang 54a sind ein Detektor 55a-1 zum Messen einer Amplitude des an dem Messausgang 54a anliegenden Messsignals und optional ein Detektor 55a-2 zum Messen einer Frequenz des an dem Messausgang 54a anliegenden Messsignals (z.B. ein Spektroskop) angeschlossen. An dem Messausgang 54b ist ein Detektor 55b zum Messen einer Amplitude des an dem Messausgang 54b anliegenden Messsignals angeschlossen. Die Detektoren 55a-1, 55a-2 und 55b sind an eine Datenverarbeitungseinrichtung 56 wie z.B. einen Rechner des Messsystems 51 angeschlossen, welches deren Messwerte und/oder daraus abgeleitete Werte speichert. Grundsätzlich kann auf den Detektor 55a-2 auch verzichtet werden und die Frequenz, bei ausreichend hoher Abtastrate, auch aus den Amplitudenmesswerten des Detektors 55a-1 bestimmt werden.

[0071] In einer Weiterbildung berechnet die Datenverarbeitungseinrichtung 56 aus gespeicherten Werten Korrekturfaktoren, die ausgelegt sind, systematische Fehler in der Funktionsweise des Mikrowellenmoduls 17 zu korrigieren, insbesondere, wenn das Mikrowellenmodul 17 in ein Haushalts-Mikrowellengerät eingebaut ist. Die Korrekturfaktoren können auch als Kalibrierfaktoren, Kalibrierkoeffizienten, Fehlerkorrekturkoeffizienten usw. bezeichnet werden. Dazu können die Korrekturfaktoren z.B. in einen nicht-flüchtigen Speicher des Mikrowellenmoduls 17 (z.B. ein EEPROM), auf das der Mikrokontroller 4, 45 zugreifen kann oder das in den Mikrokontroller 4, 45 integriert ist, übertragen werden. Alternativ werden die Messdaten in einen nicht-flüchtigen Speicher des Mikrowellenmoduls 17, auf das der Mikrokontroller 4, 45 zugreifen kann oder das in den Mikrokontroller 4, 45 integriert ist, übertragen und die Korrekturfaktoren aus dieser Basis durch den Mikrokontroller 4, 45 selbst berechnet.

[0072] Der Mikrowellenausgang 53 kann mit verschiedenen Wechselaufsätzen versehen werden, z.B. einer Ersatzlast 57, z.B. von 50 Ohm, oder einem Aufsatz ("Kalibrieraufsatz") 58, der einen reflektierenden Endabschluss an dem Mikrowellenausgang 53 bereitstellt, an dem durch die Richtkopplungseinrichtung 52 zu dem Mikrowellenausgang 53 in Senderichtung gesandte Mikrowellensignale praktisch vollständig zurückreflektiert werden.

[0073] Die Messstrecke des Messsystems 51 und etwaige Verbindungskabel zu den Detektoren 55a-1, 55a-2 und 55b sind vorteilhafterweise mittels eines präzisen Netzwerkanalysators o.ä. vermessen worden, um die realen, im Allgemeinen frequenzabhängigen Korrekturwerte des Kalibrierbaus selbst zu erhalten. Dies kann auch so ausgedrückt werden, dass das Messsystem selbst bereits kalibriert (vorkalibriert) ist.

[0074] Fig.7 zeigt einen anhand des in Fig.6 dargestellten Kalibrierungsaufbaus durchführbaren ersten Teil eines Kalibrierungsablaufs zum Kalibrieren zumindest der Leistungsabgabe von dem Mikrowellenmodul 17.

[0075] Dazu wird in Schritt S1 der Mikrowellenausgang 18 des Mikrowellenmoduls 17 an den Eingang der Richtkop-

plungseinrichtung 52 des Messsystems 51 angeschlossen, wobei an den Mikrowellenausgang 53 des Messsystems 51 hier beispielhaft zunächst der eine Ersatzlast 57 darstellende Aufsatz angeschlossen ist. Dabei steuert die Datenverarbeitungseinrichtung 56 über den Mikrokontroller 4 direkt die einzelnen steuerbaren Komponenten 3 und 6-9 des Mikrowellenmoduls 17. Die Regelung des Mikrokontrollers 4 wird also deaktiviert. Ferner ist ein Eingang des Signalerzeugers 3 an einen Ausgang eines Taktgebers 2 angeschlossen.

[0076] In einem Schritt S2 werden durch die Datenverarbeitungseinrichtung 56 initiale Werte für eine Sollfrequenz, Sollamplitude und Soll-Phasenverschiebung eingestellt. Beispielsweise kann:

- die Sollfrequenz in einem Bereich [2,4; 2,5] GHz variiert werden, z.B. in Schritten von 0,01 GHz bzw. 10 MHz; z.B. mittels des Signalgebers 3. Die entsprechenden gewünschten bzw. aus diesem Bereich eingestellten Sollfrequenzen bilden eine erste Frequenzgruppe;
- die Sollleistung in einem Bereich [120; 300] W variiert werden, z.B. in Schritten von 60 W, beispielsweise mittels des Dämpfungsglieds 9. Die entsprechenden gewünschten bzw. aus diesem Bereich eingestellten Sollleistungen bzw. analog dazu Sollamplituden bilden eine erste Amplitudengruppe;
- die Soll-Phasenverschiebung in einem Bereich [0; 360] ° variiert werden, z.B. in Schritten von 10°, nämlich durch den Phasenschieber 8. Die entsprechenden gewünschten bzw. aus diesem Bereich eingestellten Soll-Phasenverschiebungen bilden eine erste Phasenverschiebungsgruppe.

[0077] Es sei im Folgenden beispielhaft angenommen, dass die initiale Sollfrequenz dem geringsten Frequenzwert aus der ersten Amplitudengruppe, die initiale Sollleistung dem geringsten Amplitudenwert aus der ersten Amplitudengruppe und die initiale Soll-Phasenverschiebung dem Wert 0° entspricht.

[0078] In einem Schritt S3 wird nun das Mikrowellenmodul 17 mit den vorgegebenen Werten für Sollfrequenz, Sollamplitude und Soll-Phasenverschiebung aktiviert. Dabei wird mittels des Signalerzeugers 3 ein Arbeits- bzw. Mikrowellensignal erzeugt, dass die vorgegebene nominale Sollfrequenz aufweist und das folgend in dem Bandpassfilter 5 gefiltert wird. Das gefilterte Mikrowellensignal wird in dem Zerkhacker 6 zerkhackt und von dem Zwischenverstärker 7 das erste Mal verstärkt. Folgend wird das Mikrowellensignal mittels des Phasenschiebers 8 um die vorgegebene Soll-Phasenverschiebung phasenverschoben, z.B. innerhalb eines Bereichs [0°; 360°]. Das Mikrowellensignal wird folgend wahlweise ungedämpft durch das Dämpfungsglied 9 durchgeleitet oder durch das Dämpfungsglied 9 auf eine gewünschte Amplitudenhöhe gedämpft. Das gedämpfte Mikrowellensignal wird folgend erst durch den Vorverstärker 10 und dann durch den Hauptverstärker 11 auf die gewünschte Sollleistung bzw. Sollamplitude verstärkt, die am Mikrowellenausgang 18 anliegen soll.

[0079] In einem Teilschritt S3a wird das von dem Hauptverstärker 11 ausgegebene Mikrowellensignal durch die Richtkopplungseinrichtung 12 geleitet. Dabei wird ein sehr geringer Anteil des Mikrowellensignals mittels der Richtkopplungseinrichtung 12 als Messsignal zu dem Messausgang 13a ausgekoppelt und in einem Schritt S4 mittels des Detektors 14a gemessen. Das Messsignal kann z.B. als ein Spannungssignal vorliegen und ist repräsentativ für die Amplitude des von dem Hauptverstärker 11 ausgegebenen Mikrowellensignals und damit auch für dessen Leistung. Die ggf. vorgenommene Umrechnung von Spannung auf Amplitude oder Leistung kann z.B. mittels eines von dem Hersteller der Richtkopplungseinrichtung 12 bereitgestellten Datensatzes geschehen. Hierbei ist zu beachten, dass auch diese Umrechnungsdaten toleranz- bzw. fehlerbehaftet sein können.

[0080] Von dem Mikrowellenausgang 18 aus läuft das Mikrowellensignal in einem Teilschritt S3b durch die Richtkopplungseinrichtung 52 des Messsystems 51 zu dem Mikrowellenausgang 52 des Messsystems 53 und wird dann zumindest weitgehend in der Ersatzlast 57 absorbiert. Aus der Richtkopplungseinrichtung 52 wird von dem zu der Ersatzlast 53 geleiteten Mikrowellensignal ein kleiner Anteil zu dem Messanschluss 54a ausgekoppelt und in Schritt S5 an dem Detektor 55a-1 bezüglich seiner Amplitude / Leistung und optional an dem Detektor 55a-2 bezüglich seiner Frequenz, Bandbreite, usw. gemessen.

[0081] Ein von dem Mikrowellenausgang 52 zurückreflektierter Anteil des Mikrowellensignals wird im Rahmen von Schritt S4 bzw. Schritt S5 grundsätzlich auf analoge Weise bezüglich seiner Amplitude / Leistung an dem Detektor 13b sowie an dem Detektor 55b gemessen.

[0082] Es liegen also mindestens Werte für: Soll-Frequenz, Soll-Amplitude/Leistung, Soll-Phasenverschiebung, am Detektor 13a gemessene Amplitude des Mikrowellensignals in Senderichtung, am Detektor 13b gemessene Amplitude des reflektierten Mikrowellensignals, am Detektor 55a-1 gemessene Amplitude des Mikrowellensignals in Senderichtung und am Detektor 55b gemessene Amplitude des reflektierten Mikrowellensignals vor.

[0083] In Schritt S6 werden die gemessenen Werte (z.B. Spannungswerte, Amplitude, Frequenz, Phasenverschiebung) und/oder daraus abgeleitete Werte (z.B. eine Leistung) zusammen mit den vorgegebenen Sollwerten als Dateneinträge eines Kalibrierdatensatzes gespeichert.

[0084] Der Ablauf der Schritte S3 bis S6 wird dann unter Variation, insbesondere schrittweiser Inkrementierung, der Sollwerte wiederholt, bis für alle gewünschten Permutationen der Sollwerte entsprechende Dateneinträge in dem Kalibrierdatensatz vorhanden sind.

[0085] Dies kann, wie gezeigt, z.B. so umgesetzt sein, dass zunächst in Schritt S7 abgefragt wird, ob der höchste Wert der Mikrowellenfrequenz eingestellt ist.

[0086] Ist dies nicht der Fall ("N"), wird der aktuelle Wert in Schritt S8 auf den nächsthöheren Wert geändert, z.B. um eine Schrittweite erhöht, und zu Schritt S3 zurückverzweigt. Die Variation der Frequenz kann auch als "Frequenz-Sweep" bezeichnet werden.

[0087] Ist dies jedoch der Fall ("J"), kann in Schritt S9 optional die Qualität des Mikrowellensignals (Ist-Frequenz, gemessene Frequenz, Bandbreite, Oberwellen, ...) aus den mittels des Detektors 55a-2 gemessenen Messsignalen bewertet werden. Dazu ist es vorteilhaft, wenn die Amplitude noch der initialen, geringsten Amplitude entspricht, allgemein aber zumindest eher gering ist.

[0088] Folgend auf Schritt S8 oder S9 wird in Schritt S10 zunächst der Frequenzwert wieder auf seinen niedrigsten Wert eingestellt und dann abgefragt, ob der höchste Wert der Amplitude / Leistung eingestellt ist. Ist dies nicht der Fall ("N"), wird der aktuelle Wert der Amplitude / Leistung in Schritt S11 auf den nächsthöheren Wert geändert, z.B. um eine Schrittweite erhöht, und zu Schritt S3 zurückverzweigt. Die Variation der Amplitude kann auch als "Amplituden-Sweep" bezeichnet werden.

[0089] Wird Schritt S10 jedoch positiv beantwortet ("J"), wird in Schritt S12 zunächst der Amplitudenwert wieder auf seinen niedrigsten Wert eingestellt und dann abgefragt, ob der höchste Wert der Phasenverschiebung eingestellt ist. Ist dies nicht der Fall ("N"), wird der aktuelle Wert der Phasenverschiebung in Schritt S13 auf den nächsthöheren Wert geändert, z.B. um eine Schrittweite erhöht, und zu Schritt S3 zurückverzweigt. Die Variation der Phasenverschiebung kann auch als "Phasen-Sweep" bezeichnet werden.

[0090] Bei positiver Beantwortung von Schritt S12 liegt ein Kalibrierdatensatz vor, der die gemessenen Amplituden / Leistungen in Abhängigkeit von den variierten bzw. "gesweepen" Sollwerten als Datensätze aufweist. Optional kann auch die jeweils durch den Temperatursensor 15 gemessene Temperatur T mitgespeichert sein.

[0091] Selbstverständlich können ein oder mehrere Sollwerte auch ausgehend von einem höchsten Wert dekrementiert werden oder in beliebiger anderer Reihenfolge eingestellt werden.

[0092] Ein nach Schritt S12 vorliegender Kalibrierdatensatz für einen mit der Ersatzlast 57 ausgerüsteten Mikrowellen- ausgang 53 könnte daher beispielsweise wie folgt aussehen, falls die Sollfrequenz f_{soll} von 2400 MHz auf 2500 MHz in Schritten von 50 MHz inkrementiert wird, die Soll-Phasenverschiebung φ_{soll} von 0° auf 240° in Schritten von 120° inkrementiert wird und die Soll-Amplitude / Leistung P_{soll} von 300 W auf 120 W in Schritten von 60 W dekrementiert wird:

f [MHz]	φ_{soll} [°]	P_{soll} [W]	T [°C]	P14a [dBm]	P_{14b} [dBm]	P_{55a-1} [dBm]	P_{55b} [dBm]
2400	0	300	45	54,5	34,5	54,2	24,2
2450	0	300	48	55,0	35,0	54,7	24,7
2500	0	300	50	54,3	34,3	54,0	24,0
2400	120	300	51	54,0	34,0	53,7	23,7
2450	120	300	52	54,5	34,5	54,2	24,2
2500	120	300	53	53,8	33,8	53,5	23,5
2400	240	300	53	54,2	34,2	53,9	23,9
2450	240	300	54	54,7	34,7	54,4	24,4
2500	240	300	54	54,0	34,0	53,7	23,7
2400	0	240	54	53,8	33,8	53,4	23,4
2450	0	240	55	54,2	34,2	53,8	23,8
2500	0	240	55	53,6	33,6	53,2	23,2
2400	120	240	55	53,4	33,4	53,0	23,0
2450	120	240	55	53,8	33,8	53,4	23,4
2500	120	240	56	53,3	33,3	52,9	22,9
⋮							
2500	240	120	...	...	...	...	...

[0093] Dieser Datensatz ermöglicht eine exakte Detektion der gesendeten Amplitude des Mikrowellenmoduls 17 mittels des integrierten Detektors 14a.

[0094] Zusätzlich zu dem ersten Teil des Kalibrierverfahrens wird ein zweiter Teil ausgeführt, welcher im Folgenden genauer beschrieben wird.

[0095] **Fig.8** zeigt einen zweiten Teil des Kalibrierverfahrens gemäß einer ersten Variante, das sich wie gezeigt an den in **Fig.7** dargestellten ersten Teil anschließen kann, aber grundsätzlich auch vor dem ersten Teil durchgeführt werden kann.

[0096] Anschließend an den ersten Teil wird nun in einem Schritt S14 der Kalibrieraufsatz gewechselt, nämlich von der Ersatzlast 57 zu einem Kalibrieraufsatz, der wie ein reflektierender Endabschluss wirkt und daher einfallende Wellen idealerweise totalreflektiert.

[0097] In einem Schritt S15 werden durch die Datenverarbeitungseinrichtung 56 erneut initiale Werte für die Sollfrequenz und die Sollamplitude eingestellt, insbesondere analog zu Schritt S2. Jedoch können sich die Grenzen der einstellbaren Wertebereiche und/oder die Schrittweiten zu dem Fall mit der Ersatzlast 57 unterscheiden. Beispielsweise mag der Fall vorliegen, dass die bei Einsatz der Ersatzlast 57 eingestellten höheren Amplituden so hoch sind, dass sie bei Rückreflexion im Fall des offenen oder kurzgeschlossenen Endes zu einer Schädigung des Hauptverstärkers führen könnten. Daher werden im zweiten Teil des Kalibrierverfahrens geringere Sollleistungen eingestellt, die maximal so hoch sind, wie es der Hauptverstärker 11 an reflektierter Amplitude aushält. Beispielsweise kann die Sollleistung nur in einem Bereich [120; 180] W variiert werden, z.B. in Schritten von 30 W oder 60 W. Folglich bilden die entsprechenden gewünschten bzw. aus diesem Bereich eingestellten Sollleistungen bzw. analog dazu Sollamplituden eine sich von der ersten Amplitudengruppe unterscheidende zweite Amplitudengruppe. Auch die zweite Frequenzgruppe kann sich von der ersten Frequenzgruppe bzw. der zweiten Phasengruppe unterscheiden, braucht es aber nicht.

[0098] Es sei im Folgenden für den zweiten Teil beispielhaft angenommen, dass die initiale Sollfrequenz dem geringsten Frequenzwert aus der zweiten Frequenzgruppe und die initiale Sollleistung dem höchsten Amplitudenwert aus der zweiten Amplitudengruppe entspricht.

[0099] Ferner wird in Schritt S15 die Phasenverschiebung beispielhaft auf einen festen Wert, insbesondere 0° , festgelegt und im zweiten Teil nicht weiter variiert.

[0100] Die Schritte S16 bis S23 werden analog zu den Schritten S3 bis S8 und S10 bis S11 ausgeführt (also der Schritt S9 der Qualitätsüberprüfung des Mikrowellensignals nicht nochmals durchgeführt), wobei die gemessenen Werte oder daraus abgeleitete Werte als Dateneinträge eines weiteren Kalibrierdatensatzes gespeichert werden.

[0101] Ein nach positiver Beantwortung von Schritt S22 vorliegender weiterer Kalibrierdatensatz für einen mit dem Kalibrieraufsatz 58 ausgerüsteten Mikrowellenausgang 53 könnte dann beispielsweise Werte der Leistungen P_{14a} , P_{14b} , P_{55a-1} und P_{55b} sowie der Temperatur T für die Sollfrequenz f_{soll} von 2400 MHz auf 2500 MHz in Schritten von 50 MHz inkrementiert und die Soll-Amplitude / Leistung P_{soll} von 180 W auf 120 W in Schritten von 30 W dekrementiert umfassen. Im Gegensatz zu dem mit Ersatzlast 57 erstellten Kalibrierdatensatz sind nun die an den Detektoren 14b und 55b gemessenen Amplituden- bzw. Leistungswerte P_{14b} und P_{55b} für die reflektierte Mikrowellensignal aufgrund der Totalreflexion deutlich höher.

[0102] Folgend wird in einem Schritt S24 das Mikrowellenmodul 17 ausgeschaltet.

[0103] Für den dann folgenden Schritt S25 bestehen unter anderem zwei Möglichkeiten:

In einer ersten Variante werden mittels der Datenverarbeitungseinrichtung 56 aus den Kalibrierdatensätzen Korrekturkoeffizienten berechnet, die dazu vorgesehen sind, den Betrieb des Mikrowellenmoduls 17, insbesondere basierend auf den von den Detektoren 14a und 14b ausgegebenen Messwerten, zu kalibrieren, um an dem Mikrowellenausgang 18 Mikrowellensignale auszugeben, deren Amplitude, Frequenz und/oder Phase möglichst genau mit den eingestellten Sollwerten übereinstimmt. Speziell wird es ermöglicht, die von den Detektoren 14a und 14b ausgegebenen Messwerte mit hoher Genauigkeit mit tatsächlich an dem Mikrowellenausgang 18 vorliegenden Werten der in Senderichtung ausgesandten und der reflektierten Amplitude / Leistung zu korrelieren bzw. zuzuordnen.

[0104] Die Korrekturkoeffizienten können aus den Einträgen der Kalibrierdatensätze beispielsweise durch einen Funktionsfit mit den Einträgen als Stützpunkten berechnet werden, beispielsweise durch Berechnung von Polynomfunktionen grundsätzlich beliebiger Ordnung größer eins, also beispielsweise anhand linearer, quadratischer, usw. Polynome angenähert werden. Dadurch können z.B. durch Interpolation auch Sätzen von Sollwerten, die nicht direkt eingestellt worden sind, Korrekturkoeffizienten zugeordnet werden. Zudem besteht die Möglichkeit, die Einträge der Kalibrierdatensätze auf Sätze von Korrekturkoeffizienten hin zu extrapolieren, welche außerhalb des Bereichs eines oder mehrerer eingestellter Sollwerte liegen. Beispielsweise kann der Fall eintreten, dass im Kalibrierdatensatz für den als reflektierenden Endabschluss dienenden Kalibrieraufsatz 58 einige Messpunkte für die Sollamplitude fehlen, die höher als die maximal durch den Hauptverstärker 11 erlaubte Sollamplitude, aber kleiner oder gleich der maximal einstellbaren Sollamplitude sind. Die fehlenden Messpunkte können aus den bestehenden Messpunkten extrapoliert werden, oder es können die Korrekturkoeffizienten für die fehlenden Sollamplitudenwerte aus den bestehenden Sollamplitudenwerten extrapoliert werden.

[0105] Diese Korrekturkoeffizienten werden dann von der Datenverarbeitungseinrichtung 56 in einen nichtflüchtigen Datenspeicher des Mikrokontrollers 4 oder in einen mit dem Mikrokontroller 4 verbundenen nichtflüchtigen Datenspeicher des Mikrowellenmoduls 17 übertragen.

[0106] In einer zweiten Variante werden die Korrekturkoeffizienten als solche mittels der Datenverarbeitungsein-

richtung 56 in den nichtflüchtigen Datenspeicher übertragen. Der Mikrokontroller 4 ist dazu eingerichtet, aus den Kalibrierdatensätzen Korrekturkoeffizienten zu berechnen.

[0107] Folgend kann das Messsystem 51 von dem Mikrowellenmodul 17 getrennt werden, worauf der Mikrokontroller 4 wieder eigenständig arbeitet.

[0108] Daraufhin kann das Mikrowellenmodul 17 in ein Haushalts-Mikrowellengerät eingebaut werden, oder es kann in einem weiteren Kalibrier Aufbau die Phasenverschiebung kalibriert werden, wie in den Figuren 10 und 11 weiter unten näher erläutert wird.

[0109] Zunächst zeigt Fig.9 jedoch einen zweiten Teil des Kalibrierverfahrens gemäß einer zweiten Variante, das sich wie gezeigt an den in Fig.7 dargestellten ersten Teil anschließen kann oder vor dem ersten Teil durchgeführt werden kann.

[0110] In dieser Variante wird anschließend an die positive Beantwortung von Schritt S12 nach vollständig durchgeführtem Variieren oder "Sweepen" der Sollwerte der Leistung, Frequenz und Phasenverschiebung in einem Schritt S26 die Richtkopplungseinrichtung 52 von dem Mikrowellenmodul 17 getrennt, so dass der Mikrowellenausgang 18 selbst als offenes Ende dient, das eine Totalreflektion der in Senderichtung zu dem Mikrowellenausgang 18 laufenden (gesendeten) Mikrowellensignale bewirkt. Die Detektoren 55a-1, 55a-2 und 55b werden folglich nicht verwendet.

[0111] Folgend werden analog zu den Schritten S15 bis S23 Schritte S27 bis S35 ausgeführt, und es wird so ein weiterer Kalibrierdatensatz mit den Einträgen der Messwerte der Leistungen P_{14a} und P_{14b} und ggf. der Temperatur T für die Sollwerte f_{soll} und P_{soll} angelegt. In einer Weiterbildung kann auf die Messwerte der gesendeten Leistung P_{14a} direkt der Kalibrierdatensatz aus dem ersten Teil angewendet werden.

[0112] Folgend auf die positive Beantwortung in Schritt S34 nach vollständigem Sweep der Sollfrequenz und der Sollamplitude können analog zu der ersten Variante die Schritte S24 und S25 durchgeführt werden.

[0113] Fig.10 zeigt einen weiteren Kalibrierungsaufbau zum Kalibrieren der Phasenverschiebung des Mikrowellenmoduls 17 mittels eines Messsystems 61 unter Nutzung eines bereits kalibrierten Mikrowellenmoduls 17_{kal} . Die Signalgeneratoren 3 der beiden Mikrowellenmodule 17 und 17_{kal} sind an dem gleichen Taktgeber 2 angeschlossen. Die Mikrowellenausgänge 18 sind über ein optionales jeweiliges Dämpfungsglied 62 des Messsystems 61 an jeweilige Eingänge eines Kombinierers ("Combiners") 63 des Messsystems 61 angeschlossen, dessen Ausgang an einen Detektor 64, z.B. Spannungsmesser, des Messsystems 61 angeschlossen ist, welcher wiederum mit der Datenverarbeitungseinrichtung 56 des Messsystems 61 verbunden ist. Dabei sollten Kabellängen im Aufbau berücksichtigt werden, um durch unterschiedliche Kabellängen bewirkte Phasendrehungen erkennen und ggf. kompensieren zu können.

[0114] Ein Vorteil der Verwendung der Dämpfungsglieder 62, ist, dass viele Kombinierer 63 nur geringe Leistungen aushalten, so dass die Dämpfungsglieder 62 dem Schutz des Kombinierers 63 dienen. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass die beiden Mikrowellenmodule 17 und 17_{kal} dann mit hoher Abgabeleistung betrieben werden können. Dann wiederum kann der Leistungspegel etwa gleich eingestellt werden, und die absoluten Abweichungen sind relativ zu dem hohen Pegel nicht mehr entscheidend. Bei geringen Pegeln (z.B. aufgrund einer internen Vordämpfung durch das Dämpfungsglied 9) würde sich ein relativer Amplitudenfehler absolut stark bemerkbar machen.

[0115] Auch hier steuert die Datenverarbeitungseinrichtung 56 die Mikrokontroller 4 der Mikrowellenmodule 17 und 17_{kal} dergestalt, dass die Datenverarbeitungseinrichtung 56 die einzelnen Komponenten der Mikrowellenmodule 17 und 17_{kal} direkt ansteuert. Die Regelungsfunktion der Mikrokontroller 4 ist also deaktiviert.

[0116] Sind die Phasen der an den Mikrowellenausgängen 18 ausgesandten Mikrowellensignale in Phase (weisen also eine Phasenverschiebung von 0° zwischen sich auf), misst der Detektor 64 ein höchstes Summensignal. Sind die Phasen der an den Mikrowellenausgängen 18 ausgesandten Mikrowellensignale gegenphasig (weisen also eine Phasenverschiebung von 180° zwischen sich auf), misst der Detektor 64 ein geringstes Summensignal. Dies wird dazu verwendet, um zu bestimmen, ob der Phasenschieber 8 des zu kalibrierenden Mikrowellenmoduls 17 korrekt arbeitet oder auch die Phasenverschiebung an diesem Phasenschieber 8 anhand der gemessenen Ist-Phasenverschiebung zu der Soll-Phasenverschiebung korrigiert bzw. kalibriert werden sollte.

[0117] Fig.11 zeigt einen anhand des in Fig.10 gezeigten Kalibrierungsaufbaus durchführbaren Kalibrierungsablauf.

[0118] In einem Schritt S41 wird für den in Fig.10 gezeigten Kalibrier Aufbau anhand der Datenverarbeitungseinrichtung 56 an beiden Mikrowellenmodulen 17 und 17_{kal} die gleiche Sollamplitude / Sollleistung eingestellt. Insbesondere kann die Sollamplitude auf einen mittleren Wert wie z.B. 100 W eingestellt werden.

[0119] Ferner wird die Soll-Phasenverschiebung des Mikrowellenmoduls 17_{kal} auf einen bestimmten Wert aus einer dritten Phasengruppe von unterschiedlichen Werten der Phasenverschiebung eingestellt, vorteilhafterweise auf 0° . Da das Mikrowellenmodul 17_{kal} bereits kalibriert ist, kann davon ausgegangen werden, dass dessen Soll-Phasenverschiebung mit seiner tatsächlich eingestellten Ist-Phasenverschiebung mit hoher Genauigkeit übereinstimmt.

[0120] In Schritt S41 wird außerdem die Soll-Phasenverschiebung des Mikrowellenmoduls 17 auf einen bestimmten Anfangswert aus der dritten Phasengruppe eingestellt, vorteilhafterweise auf den gleichen Wert wie die eingestellte Soll-Phasenverschiebung des kalibrierten Mikrowellenmoduls 17_{kal} , insbesondere auf 0° .

[0121] In Schritt S42 wird abgefragt, ob alle einzustellenden Werte der Soll-Phasenverschiebung, bereits einmal eingestellt worden sind.

[0122] Ist dies nicht der Fall ("N"), wird in Schritt S43 das mittels des Detektors 64 an dem Ausgang des Kombinierers 63

anliegende Summensignal der beiden Mikrowellensignale der beiden betriebenen Mikrowellenmodule 17 und 17_{kal}, insbesondere gemessen, auf die Datenverarbeitungseinrichtung 56 übertragen und dort zusammen mit den Werten zumindest der eingestellten Sollfrequenz und der an dem Mikrowellenmodul 17 eingestellten Soll-Phasenverschiebung als Dateneintrag in einer weiteren Kalibrierdatenbank abgespeichert.

[0123] Zudem wird in Schritt S44 der Wert der an dem Mikrowellenmodul 17 eingestellten Soll-Phasenverschiebung um eine Schrittweite, z.B. 30°, 60°, 90° oder 180° geändert, z.B. inkrementiert oder dekrementiert und zu Schritt S42 zurückverzweigt.

[0124] Wird die Abfrage in Schritt S43 jedoch positiv beantwortet ("J"), sind die gewünschten Werte der dritten Phasengruppe einmal durchlaufen bzw. gesweept worden und es wird zu Schritt S45 verzweigt. Arbeitet der Phasenschieber 8 des Mikrowellenmoduls 17 korrekt, ist das Summensignal bei 0° maximal und bei 180° minimal (nahe Null).

[0125] In Schritt S45 wird die Soll-Phasenverschiebung des Mikrowellenmoduls 17 auf den bestimmten Anfangswert zurückgestellt.

[0126] In Schritt S46 wird abgefragt, ob alle einzustellenden Werte der Sollfrequenz aus der dritten Frequenzgruppe bereits einmal eingestellt worden sind.

[0127] Ist dies nicht der Fall ("N"), wird zu Schritt S47 verzweigt, in dem die Sollfrequenz an beiden Mikrowellenmodulen 17 und 17_{kal} auf einen gleichen neuen Wert aus der dritten Frequenzgruppe eingestellt, insbesondere inkrementiert oder dekrementiert wird. Es wird dann zu Schritt S42 zurückverzweigt.

[0128] Ist dies jedoch der Fall ("J"), ist der Kalibrierdatensatz vollständig, anhand dessen die Phasenverschiebung des Phasenschiebers 8 des Mikrowellenmoduls 17 korrigiert werden kann. Es wird dann zu Schritt S48 verzweigt werden, in dem - analog zu den Schritten S24 und S25 - in einer Variante mittels der Datenverarbeitungseinrichtung 56 aus dem Kalibrierdatensatz Korrekturkoeffizienten berechnet werden, die dazu vorgesehen sind, den Betrieb des Mikrowellenmoduls 17 zu kalibrieren, um Mikrowellensignale auszugeben, deren Phase bzw. Phasenverschiebung möglichst genau mit den eingestellten Sollwerten übereinstimmt. Auch hier können in einer zweiten Variante die Korrekturkoeffizienten von der Datenverarbeitungseinrichtung 56 in einen nicht-flüchtigen Datenspeicher des Mikrokontrollers 4 oder in einen mit dem Mikrokontroller 4 verbundenen nichtflüchtigen Datenspeicher des Mikrowellenmoduls 17 übertragen werden, wobei der Mikrokontroller 4 dazu eingerichtet, aus dem Kalibrierdatensatz Korrekturkoeffizienten für die Phasenverschiebung zu berechnen.

[0129] Folgend kann das Messsystem 61 von dem Mikrowellenmodul 17 getrennt werden, worauf der Mikrokontroller 4 wieder eigenständig arbeitet.

[0130] Selbstverständlich ist die vorliegende Erfindung nicht auf das gezeigte Ausführungsbeispiel beschränkt.

[0131] Allgemein kann unter "ein", "eine" usw. eine Einzahl oder eine Mehrzahl verstanden werden, insbesondere im Sinne von "mindestens ein" oder "ein oder mehrere" usw., solange dies nicht explizit ausgeschlossen ist, z.B. durch den Ausdruck "genau ein" usw.

[0132] Auch kann eine Zahlenangabe genau die angegebene Zahl als auch einen üblichen Toleranzbereich umfassen, solange dies nicht explizit ausgeschlossen ist.

Bezugszeichenliste

[0133]

- | | |
|------|---|
| 1 | Mikrowellenerzeugungstrecke |
| 2 | Taktgeber |
| 3 | Signalerzeuger |
| 4 | Mikrokontroller |
| 5 | Bandpassfilter |
| 6 | Zerhacker |
| 7 | Zwischenverstärker |
| 8 | Phasenschieber |
| 9 | Dämpfungsglied |
| 10 | Vorverstärker |
| 11 | Hauptverstärker |
| 12 | Richtkopplungseinrichtung |
| 12-1 | Bidirektionaler Richtkoppler ohne Zirkulator |
| 12-2 | Richtkoppler mit Zirkulator |
| 12-3 | Richtkoppler mit Zirkulator |
| 13a | Messausgang für Leistung in Vorwärtsrichtung |
| 13b | Messausgang für Leistung in Rückwärtsrichtung |
| 14a | Detektor für Leistung in Vorwärtsrichtung |

14b	Detektor für Leistung in Rückwärtsrichtung
15	Temperatursensor
16	Antenne
17	Mikrowellenmodul
5 17 _{kal}	Vorkalibriertes Mikrowellenmodul
18	Mikrowellenausgang des Mikrowellenmoduls
19	Zirkulator
20	Einweg-Richtkoppler
21	Einweg-Richtkoppler
10 22	Abschlusswiderstand
23	Garraum
24	Haushalts-Mikrowellengargerät
31	Mikrowellenerzeugungsstrecke
32	Haushalts-Mikrowellengargerät
15 33	Steuereinheit
41	Mikrowellenerzeugungsstrecke
42	Haushalts-Mikrowellengargerät
43	Mikrowellenmodul
44	Signalerzeugungsmodul
20 45	Mikrokontroller
46	Mikrokontroller
47	Splitter
51	Messsystem
52	Richtkopplungseinrichtung
25 53	Mikrowellenausgang des Messsystems
54a	Messausgang für Leistung in Vorwärtsrichtung
54b	Messausgang für Leistung in Rückwärtsrichtung
55a-1	Detektor für Amplitudenmessung
55a-2	Detektor für Frequenzmessung
30 55b	Detektor für Amplitudenmessung
56	Datenverarbeitungseinrichtung
57	Ersatzlast
58	Reflektierender Endabschluss
61	Messsystem
35 62	Dämpfungsglied
63	Kombinierer
64	Detektor
S1-S35	Verfahrensschritte
S41-S47	Verfahrensschritte

Patentansprüche

1. Verfahren (S41-S48) zum Kalibrieren eines Phasenschiebers (8) eines zum Einbau in ein Haushalts-Gargerät (42) vorgesehenen Mikrowellenmoduls (17), wobei das Verfahren (S41-S48) mindestens die folgenden Schritte aufweist:

- (i) Bereitstellen eines bezüglich seiner Phasenverschiebung zu kalibrierenden Mikrowellenmoduls (17) und eines bezüglich seiner Phasenverschiebung bereits kalibrierten Mikrowellenmoduls (17_{kal}), deren Mikrowellenausgänge (18) an jeweilige Eingänge eines Kombinierers (63) angeschlossen werden;
- (ii) Vorgeben einer gemeinsamen Sollamplitude und einer gemeinsamen Sollfrequenz für beide Mikrowellenmodule (17, 17_{kal}) sowie einer Soll-Phasenverschiebung an dem kalibrierten Mikrowellenmodul (17_{kal}) und einer Soll-Phasenverschiebung an dem zu kalibrierenden Mikrowellenmodul (17) (S41);
- (iii) Erzeugen, mittels beider Mikrowellenmodule (17, 17_{kal}), eines jeweiligen Mikrowellensignals mit den jeweils vorgegebenen Sollwerten (S43);
- (iv) Messen eines an dem Ausgang des Kombinierers (63) anliegenden Signals (S43);
- (v) Speichern der Werte zumindest der an dem zu kalibrierenden Mikrowellenmodul vorgegebenen Soll-Phasenverschiebung und der Sollfrequenz und/oder daraus abgeleiteter Werte sowie den zugehörigen Messwert als Dateneinträge eines Phasenkalibrierdatensatzes (S43);
- (vi) Variieren der Soll-Phasenverschiebung an dem zu kalibrierenden Mikrowellenmodul (17) innerhalb einer

dritten Phasengruppe unterschiedlicher Soll-Phasenverschiebungen (S44) und jeweils erneutes Durchführen der Schritte (iii) bis (v) für mehrere, insbesondere alle, Soll-Phasenverschiebungen der dritten Phasengruppe.

2. Verfahren (S41-S48) nach Anspruch 1, bei dem in einem Schritt (vi) zusätzlich die Sollfrequenz innerhalb einer dritten Frequenzgruppe unterschiedlicher Sollfrequenzen variiert wird (S47) und die Schritte (iii) bis (v) zusätzlich für mehrere, insbesondere alle, Sollfrequenzen der dritten Phasengruppe durchgeführt werden.

3. Verfahren (S41-S48) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die in Schritt (ii) an dem kalibrierten Mikrowellenmodul (17_{kal}) vorgegebene Soll-Phasenverschiebung 0° beträgt und die Soll-Phasenverschiebung innerhalb der dritten Phasengruppe zumindest die Sollwerte 0° und 180° umfasst.

4. Verfahren (S41-S48) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem aus den gespeicherten Dateneinträgen des Phasenkalibrierdatensatzes Korrekturfaktoren für den Betrieb des zu kalibrierenden Mikrowellenmoduls berechnet werden (S48), anhand derer die Phasenverschiebungen an die jeweils zugehörigen Soll-Phasenverschiebungen angepasst werden.

5. Haushalts-Mikrowellengerät (42), aufweisend

- einen mittels einer Tür mikrowellendicht verschließbaren, mit Mikrowellen beaufschlagbaren Garraum (23),
- mindestens ein Mikrowellenmodul (17), das dazu eingerichtet ist, zumindest eine Amplitude und eine Frequenz eines an einem Mikrowellenausgang (18) ausgesandten Mikrowellensignals auf variable Sollwerte einzustellen, und das eine Richtkopplungseinrichtung (12) zumindest zum Messen der Amplitude eines ausgesandten Mikrowellensignals und eines reflektierten Mikrowellensignals aufweist, und
- eine Steuereinrichtung (4), die dazu eingerichtet ist, anhand von Korrekturfaktoren, die gemäß dem Verfahren nach Anspruch 4 aus den gespeicherten Werten berechnet worden sind, mindestens einen Mikrowellenparameter, einschließlich der Amplitude des an mindestens eine Antenne (16) ausgesandten Mikrowellensignals, an einen zugehörigen Sollwert anzupassen,
- wobei die Kalibrierdatensätze in einem nichtflüchtigen Speicher des Haushalts-Mikrowellengeräts (42) abgespeichert sind und die Korrekturfaktoren mittels des Mikrowellenmoduls (17), insbesondere mittels dessen Steuereinrichtung (4), selbst berechenbar sind.

6. Kalibrieraufbau zum Durchführen eines Verfahrens (S41-S48) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, aufweisend ein kalibriertes Mikrowellenmodul (17_{kal}), mindestens ein zu kalibrierendes Mikrowellenmodul (17) und ein Messsystem (61), wobei

- das Messsystem (61) einen Kombinierer (63) aufweist, dessen Eingänge an die Mikrowellenausgänge (18) der Mikrowellenmodule (17, 17_{kal}) angeschlossen sind und dessen Ausgang an einen Detektor (64) des Messsystems (61) angeschlossen ist,
- der Detektor (64) mit einer Datenverarbeitungseinrichtung (56) des Messsystems (61) verbunden ist, die mit Steuereinheiten (4) der Mikrowellenmodule (17, 17_{kal}) zu deren Steuerung koppelbar ist;

und wobei an den Mikrowellenmodulen (17, 17_{kal}) zumindest eine Frequenz und eine Phasenverschiebung des davon erzeugten Mikrowellensignals variierbar sind.

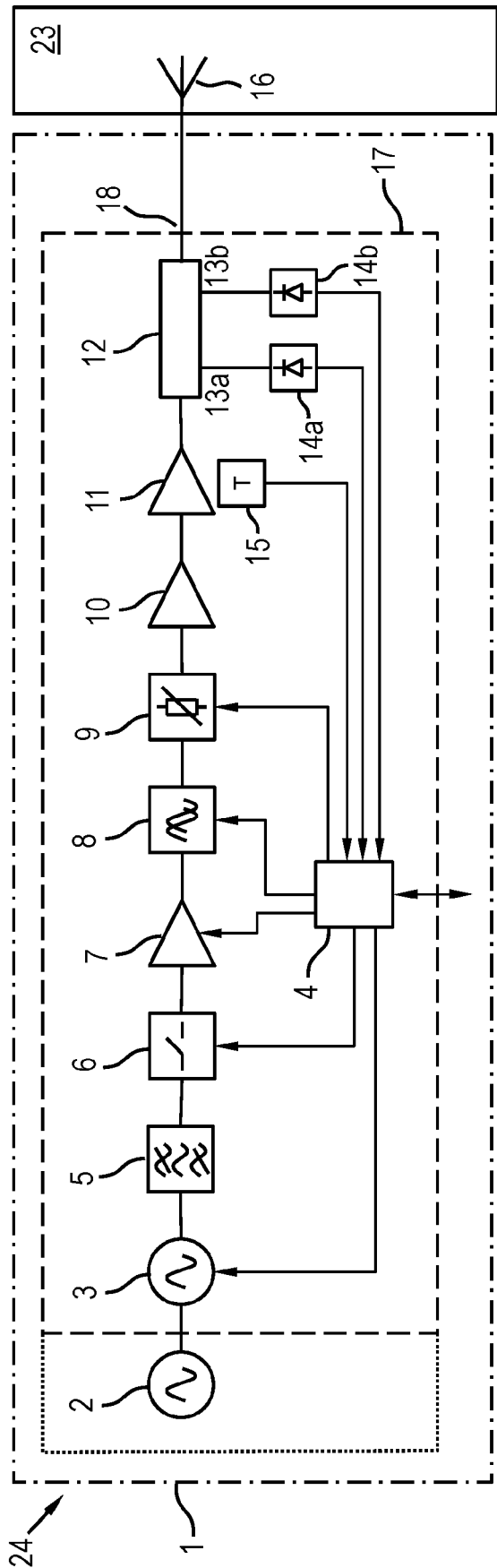


Fig. 1

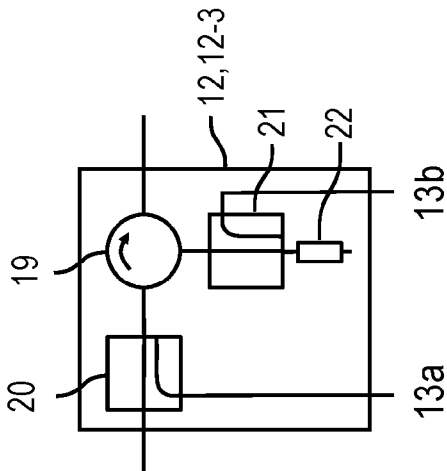


Fig. 3B

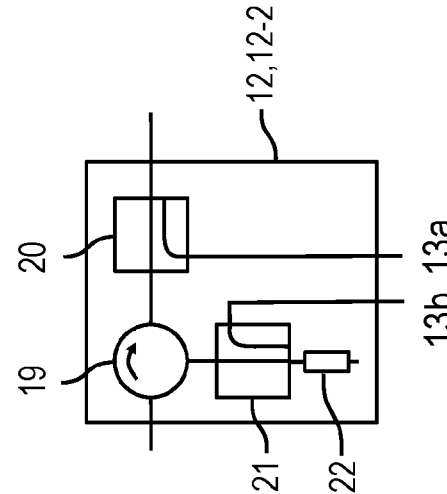


Fig. 3A

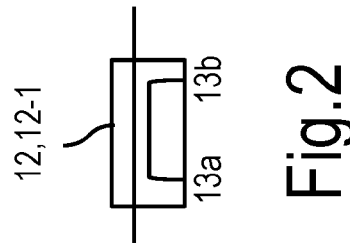


Fig. 2

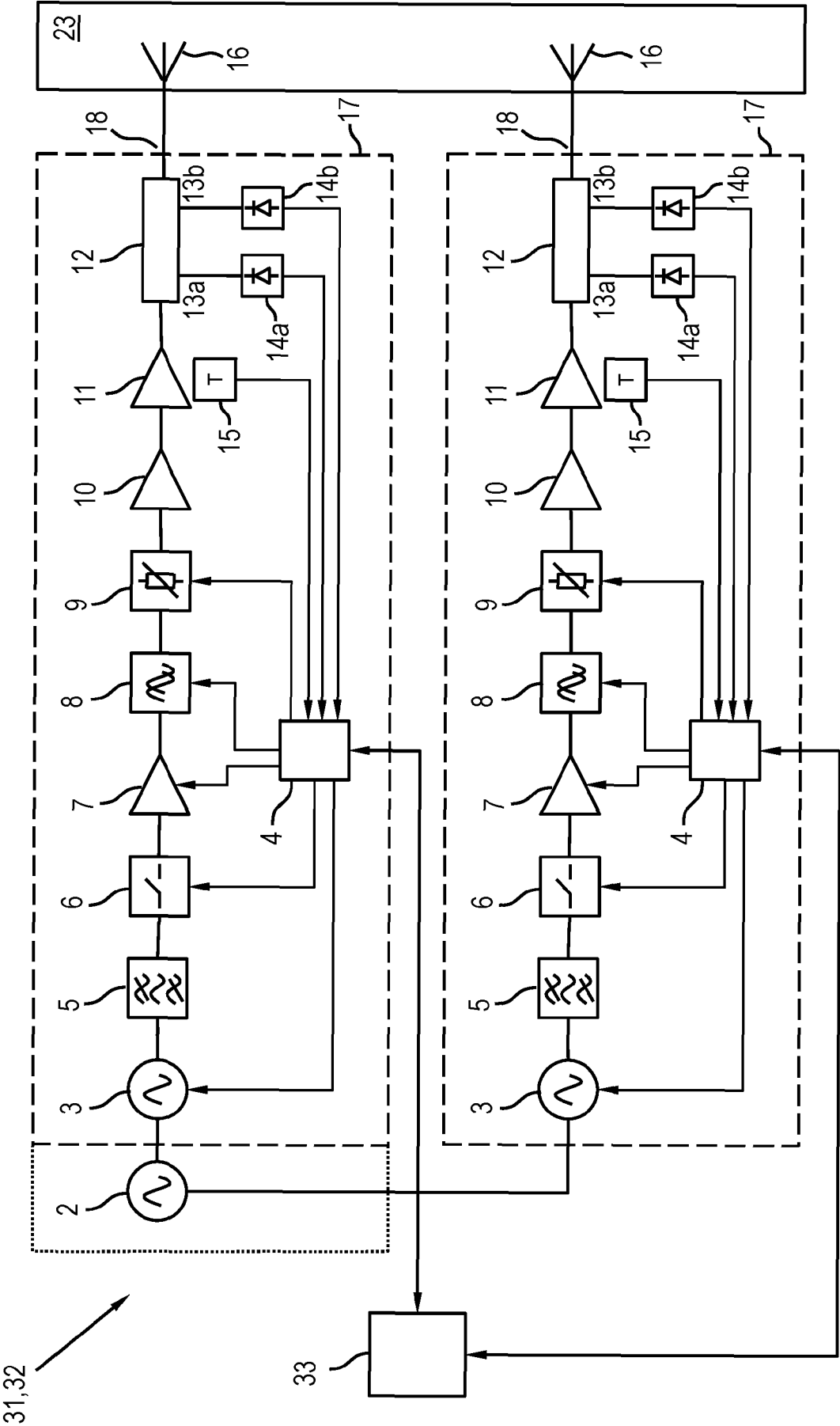


Fig.4

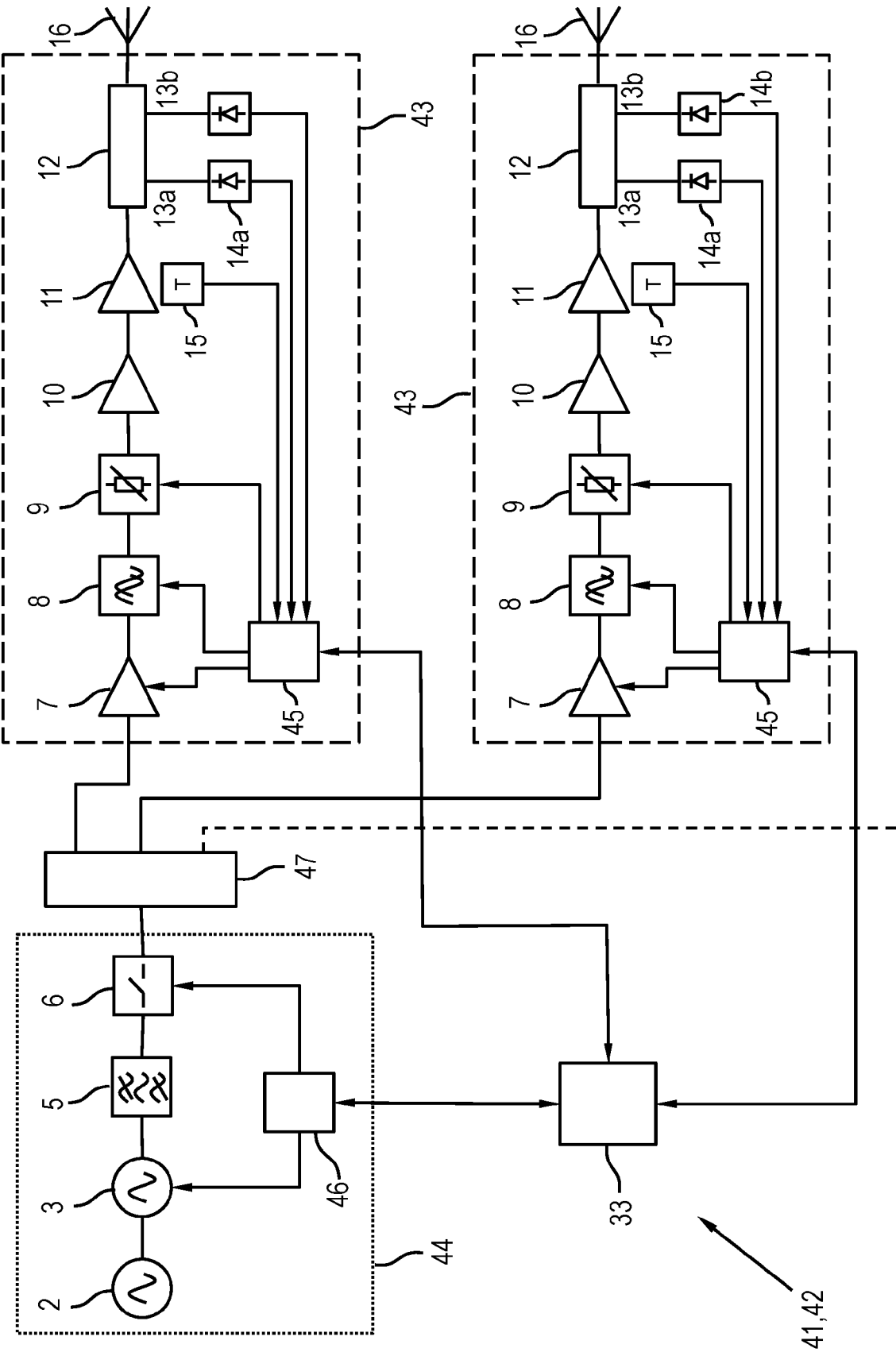


Fig.5

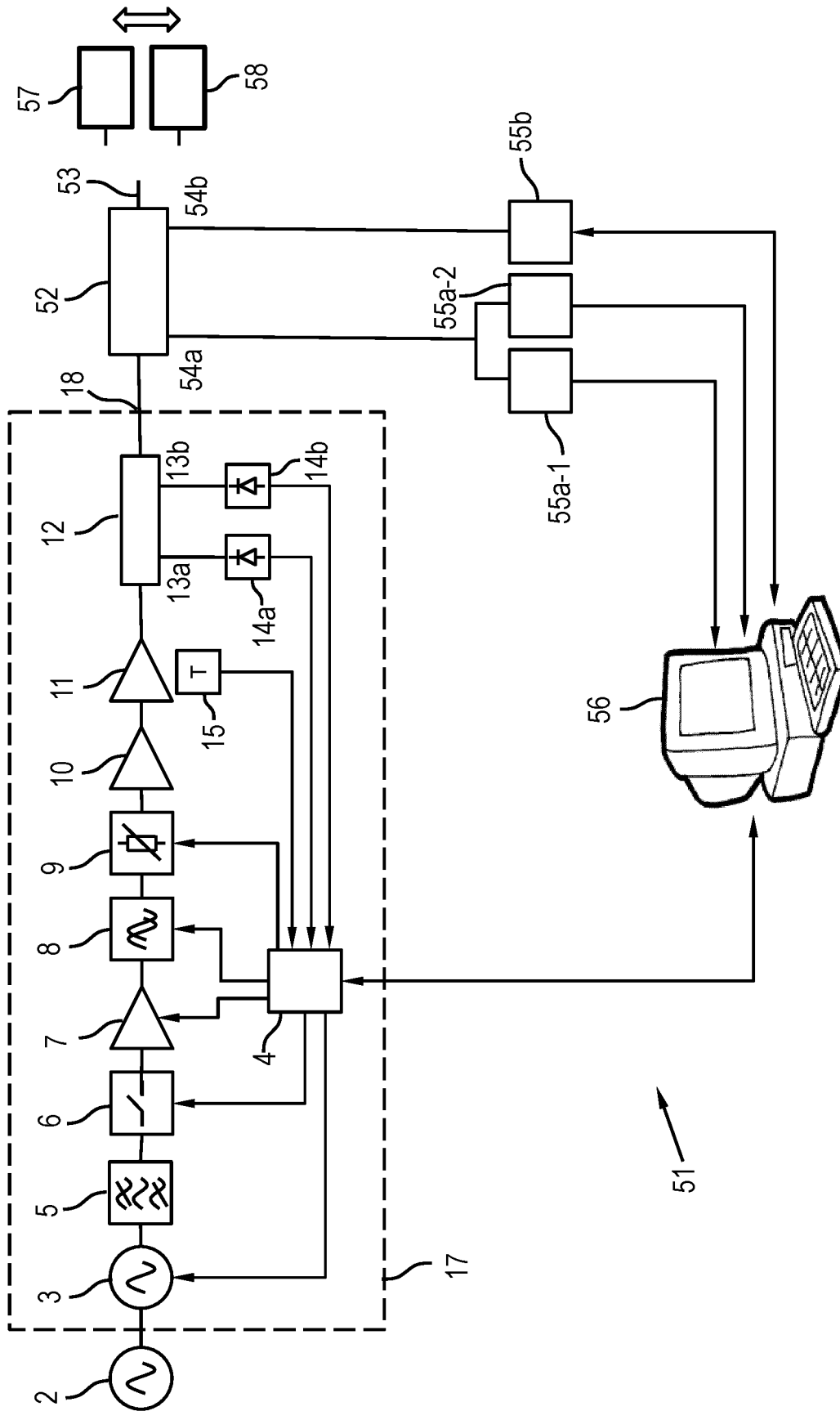


Fig. 6

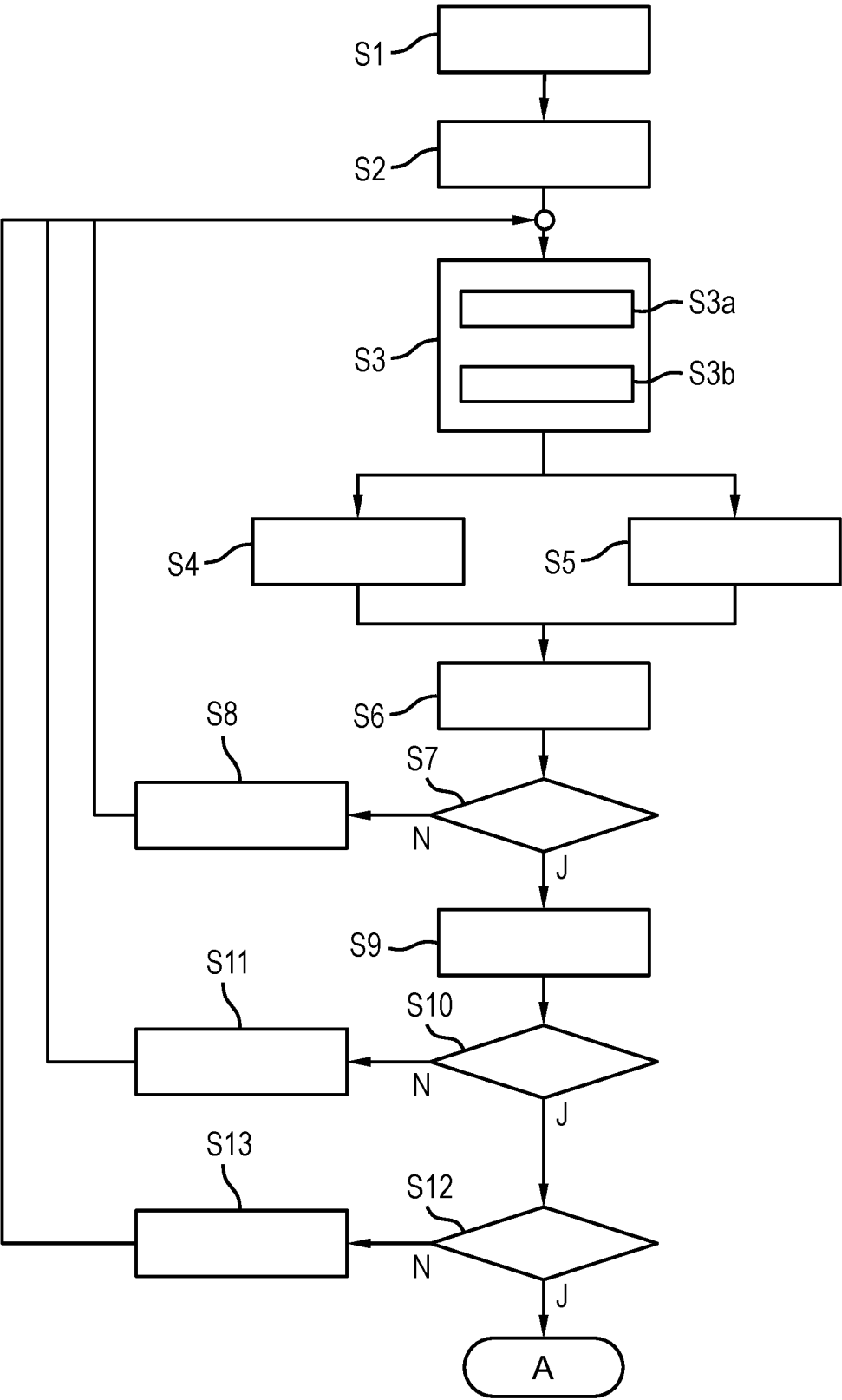


Fig.7

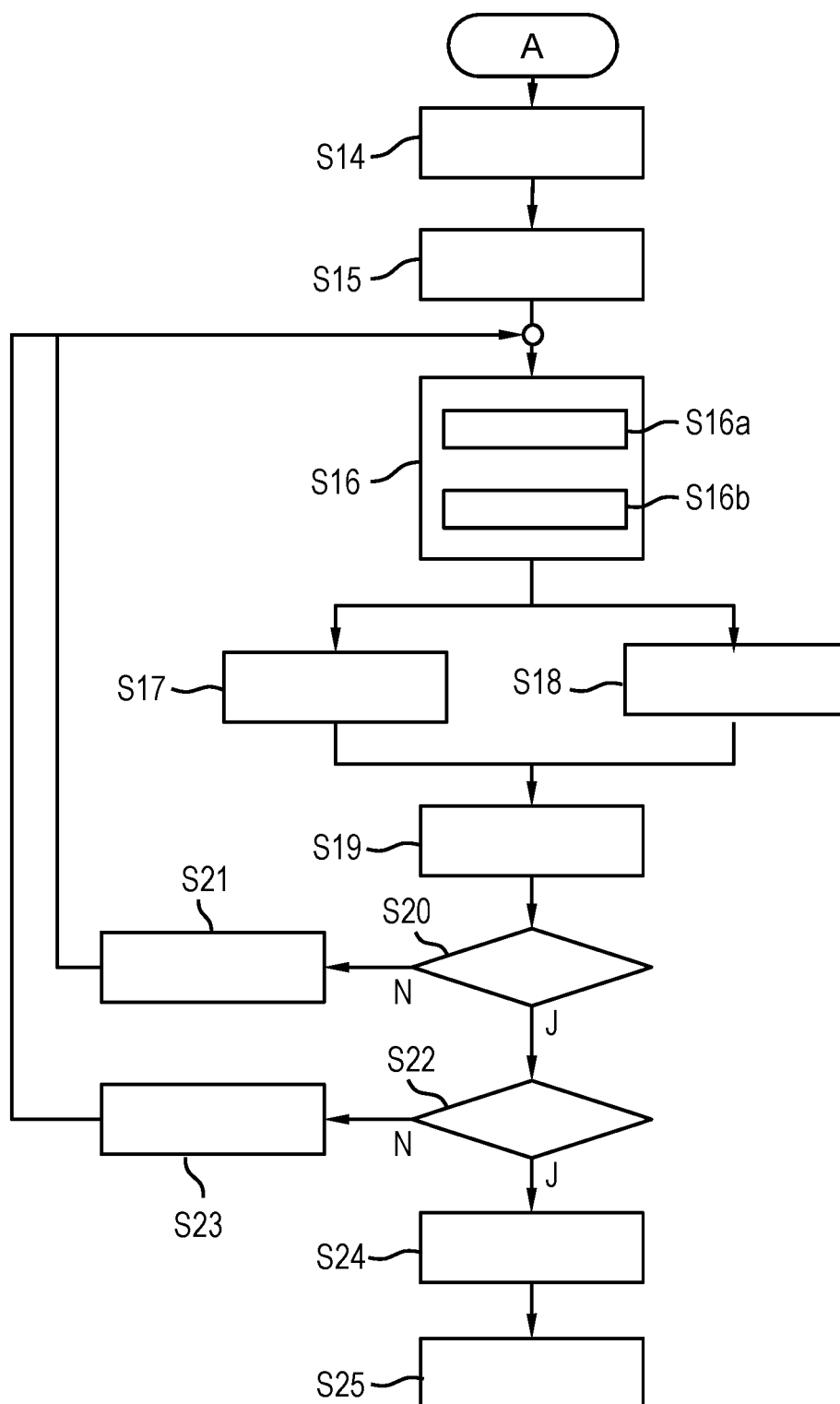


Fig.8

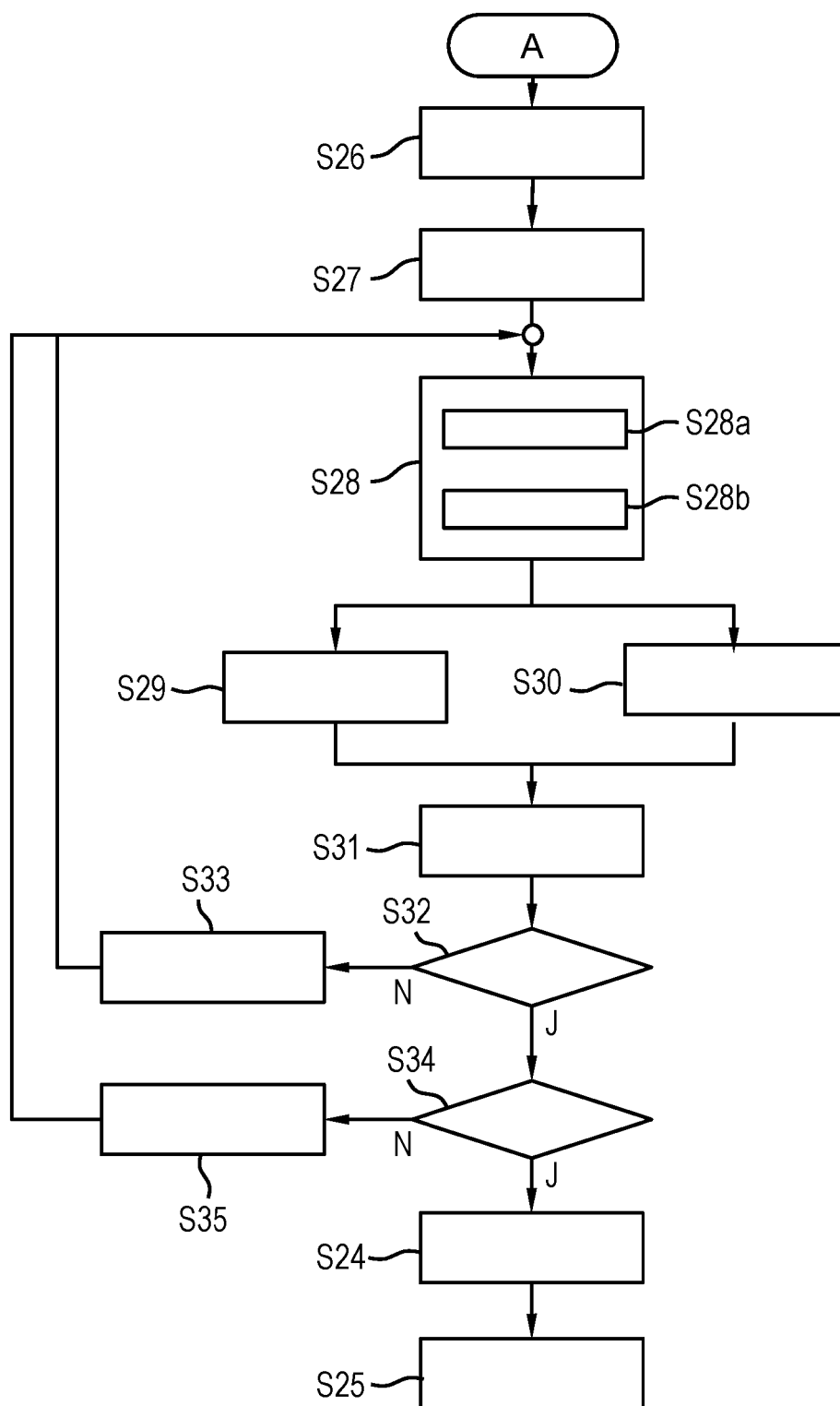


Fig.9

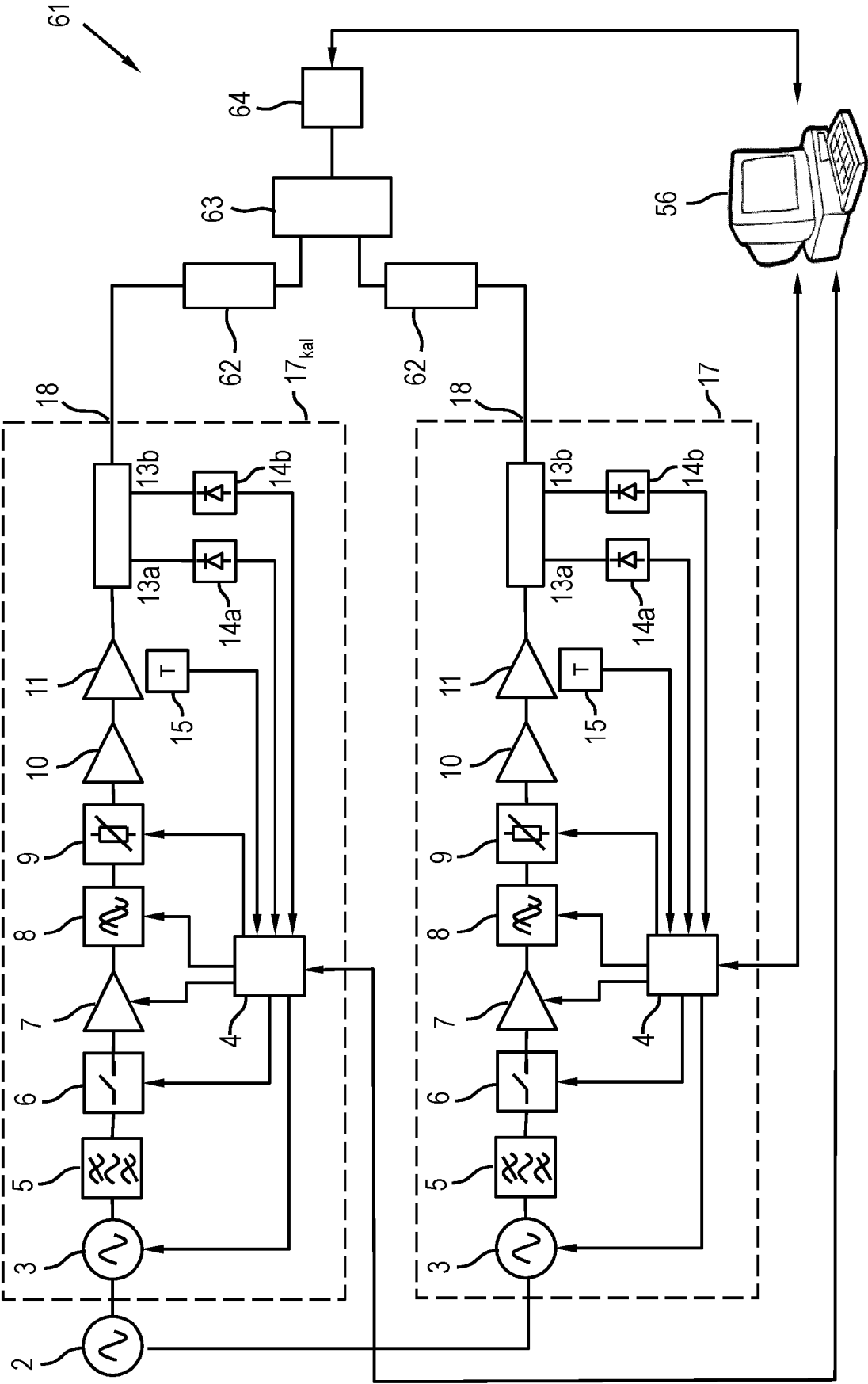


Fig.10

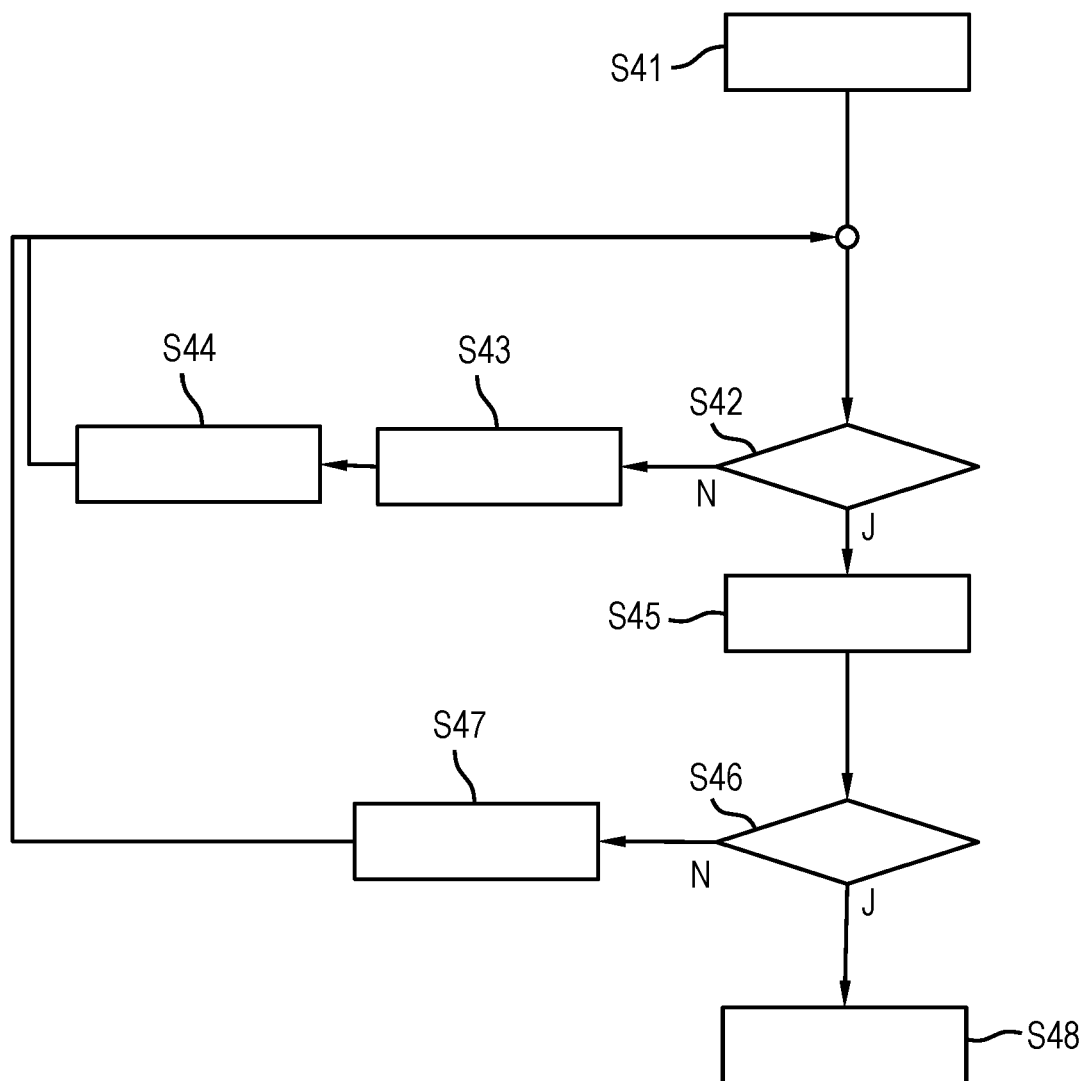


Fig.11

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 102019128204 B4 [0002] [0006]
- EP 3000283 B1 [0003]
- WO 2015099651 A1 [0004]
- WO 2016144872 A1 [0005]
- EP 3549396 B1 [0007]
- EP 3593592 B1 [0008]
- US 2019080886 A1 [0009]