



(10) **DE 10 2014 115 315 A1** 2015.05.07

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2014 115 315.4**

(22) Anmeldetag: **21.10.2014**

(43) Offenlegungstag: **07.05.2015**

(51) Int Cl.: **H01L 23/66** (2006.01)

**H01L 23/49** (2006.01)

(30) Unionspriorität:

**14/069,867**

**01.11.2013**

**US**

(74) Vertreter:

**2SPL Patentanwälte PartG mbB Schuler Schacht  
Platzer Lehmann, 81373 München, DE**

(71) Anmelder:

**Infineon Technologies AG, 85579 Neubiberg, DE**

(72) Erfinder:

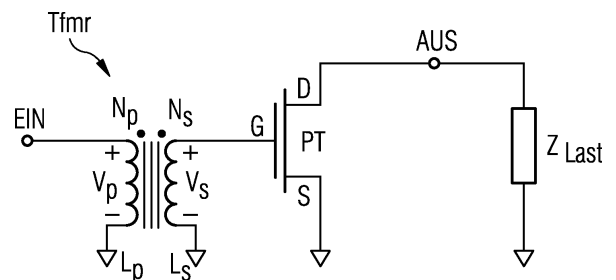
**Hashimoto, Ej, San Jose, Calif., US; Marbell,  
Marvin, Morgan Hill, Calif., US**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

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

(54) Bezeichnung: **Transistor-Eingangsanpassung mit Transformator**

(57) Zusammenfassung: Ein HF-Leistungstransistor-Package weist einen Eingangs-Lead, einen Ausgangs-Lead und einen HF-Leistungstransistor auf, der ein Gate, einen Drain und eine definierte Verstärkung über einem HF-Frequenzbereich, für den der HF-Leistungstransistor zum Betrieb ausgelegt ist, aufweist. Das HF-Leistungstransistor-Package weist weiterhin einen Transformator auf, der das Gate des HF-Leistungstransistors vom Eingangs-Lead elektrisch entkoppelt und induktiv mit diesem koppelt. Der Transformator ist dazu ausgelegt, Signale unterhalb des HF-Frequenzbereichs des HF-Leistungstransistors zu sperren und Signale innerhalb des HF-Frequenzbereichs des HF-Leistungstransistors weiterzuleiten. Das HF-Leistungstransistor-Package weist auch einen Gleichstrom-Einspeiseanschluss zum Bereitstellen von Gleichstrom-Vorspannung für das Gate des HF-Leistungstransistors auf.



**Beschreibung**

## TECHNISCHES ERFINDUNGSGEBIET

**[0001]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf HF-(Hochfrequenz-)Leistungstransistoren und insbesondere auf Eingangsanpassung für HF-Leistungstransistoren.

## HINTERGRUND

**[0002]** Hochleistungs-HF-Transistoren, wie zum Beispiel LDMOS-(laterally diffused metal oxide semiconductor)Transistoren weisen Eingangs- und Ausgangsimpedanzen auf, die erheblich niedriger als 50 Ohm sind (hohe Q-Impedanz), doch muss die funktionierende HF-Schaltung an 50 Ohm angepasst werden. Um die Impedanzanpassung auf 50 Ohm zu ermöglichen, wird der HF-Transistor typischerweise mit einer Anpassungsschaltung am Eingang und am Ausgang des Transistors ausgelegt, die in den gehäuteten Transistor integriert ist. Das Anpassungsnetz hilft, das Q des gehäuteten Transistors zu reduzieren, was es einfacher macht, ihn auf 50 Ohm anzupassen. Typischerweise kann die Verbesserung der Impedanz nur in einem engen Frequenzbereich erreicht werden. Zusätzlich hilft das Anpassungsnetz, die Frequenzantwort des Transistors und Verstärkers zu formen, so dass eine hohe Verstärkung bei der Soll-Betriebsfrequenz vorliegt und die Verstärkung außerhalb dieses Frequenzbereichs unterdrückt wird. Typischerweise wird die Verstärkung bei niedrigen Frequenzen nicht angemessen unterdrückt, und es kann eine hohe Erhebung (Buckel) in der Vorwärtsspannungsverstärkung bei niedrigen Frequenzen geben, der beim Verstärker zu Instabilität, Robustheits- und Linearitätskorrekturproblemen führt. Abgesehen von der Verstärkungsantwort des Transistors kann die maximal verfügbare Verstärkung ( $G_{\max}$ , maximum available gain) des Verstärkers bei niedrigen Frequenzen auch zu Stabilitäts-, Robustheits- und Korrekturproblemen führen, wenn sie nicht korrekt unterdrückt wird. Dies ist besonders für HF-Transistoranwendungen problematisch, bei denen das Signal, das in den Transistor eingegeben wird, eine komplexe Modulation von mehreren Hochfrequenzönen ist (z. B. 2,0-GHz- und 2,1-GHz-Töne), deren Mischung zu Signalen mit niedrigen Frequenzen führt (in diesem Beispiel z. B. 100 MHz), die durch die Erhebung in der Vorwärtsspannungsverstärkung bei niedrigen Frequenzen verstärkt werden.

**[0003]** In einer konventionellen Umsetzungsform wird der HF-Transistor mit einem Tiefpass-LCL-Netz an den Eingang angepasst. Dieses Netz passt die Eingangsimpedanz des Transistors über einen speziellen Frequenzbereich auf ein niedrigeres Q an. Allerdings unterdrückt das Tiefpassnetz nicht die Niederfrequenzantwort des Transistors, und demzufolge bleibt die maximal verfügbare Verstärkung bei niedrigen Frequenzen hoch, was zu Stabilitäts-, Robustheits- und Linearitätskorrekturproblemen führt. Die Verstärkungsantwort des Transistors zeigt ebenfalls einen großen Buckel in der Vorwärtsspannungsverstärkung bei niedriger Frequenz.

**[0004]** In einer anderen konventionellen Umsetzungsform wird der Transistoreingang mit einem Tiefpass-LCL-Netz angepasst und der Ausgang wird mit einem Hochpass-Nebenschluss-L-Netz angepasst, das mit einem Blockkondensator abschließt, der einen parallel über ein LR-Netz verbundenen Niederfrequenz-Überbrückungskondensator aufweist. Der Niederfrequenz-Überbrückungskondensator reduziert den Buckel in der Vorwärtsspannungsverstärkung bei niedrigen Frequenzen für den Fall, in dem die Quelle und die Last an 50 Ohm angepasst sind. Allerdings unterdrückt diese Umsetzungsform nicht die maximal verfügbare Verstärkung bei niedrigen Frequenzen, demzufolge ergibt sich bei niedrigen Frequenzen eine hohe Verstärkung, wenn die Quelle und/oder die Last, weg von 50 Ohm, fehlangepasst sind, was zu Stabilitäts-, Robustheits- und Linearitätskorrekturproblemen führt.

## KURZE DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

**[0005]** Es besteht ein Bedarf für das Bereitstellen eines verbesserten Konzepts für ein HF-Leistungstransistor-Package.

**[0006]** Eine solche Nachfrage kann durch den Gegenstand eines der Ansprüche befriedigt werden.

**[0007]** Einige Ausführungsformen beziehen sich auf ein HF-Leistungstransistor-Package, das Folgendes umfasst: einen Eingangs-Lead; einen Ausgangs-Lead; einen HF-Leistungstransistor, der ein Gate, einen Drain und eine definierte Verstärkungsantwort über einen HF-Frequenzbereich, für den der HF-Leistungstransistor zum Betrieb ausgelegt ist, aufweist; einen Transformator, der das Gate des HF-Leistungstransistors vom Eingangs-Lead elektrisch entkoppelt und induktiv mit ihm koppelt, wobei der Transformator dazu ausgelegt ist, Signale unterhalb des HF-Frequenzbereichs des HF-Leistungstransistors zu sperren und Signale innerhalb des

HF-Frequenzbereichs des HF-Leistungstransistors weiterzuleiten; und einen Gleichstrom-Einspeiseanschluss zum Bereitstellen von Gleichstrom-Vorspannung für das Gate des HF-Leistungstransistors.

**[0008]** Optional umfasst der Transformator Folgendes: einen ersten Satz Bonddrähte, die mit dem Eingangs-Lead verbunden sind; und einen zweiten Satz Bonddrähte, die mit dem Gate des HF-Leistungstransistors verbunden sind, wobei der erste Satz Bonddrähte elektrisch vom zweiten Satz Bonddrähte abgekoppelt ist, wobei der erste Satz Bonddrähte induktiv mit dem zweiten Satz Bonddrähte über wenigstens einen Teil der Länge der Bonddrähte verkoppelt ist.

**[0009]** Weiterhin optional beträgt ein gegenseitiger Kopplungsfaktor zwischen dem ersten Satz Bonddrähte und dem zweiten Satz Bonddrähte wenigstens 0,25.

**[0010]** Optional weist der erste Satz Bonddrähte wenigstens doppelt so viele Bonddrähte wie der zweite Satz auf.

**[0011]** Weiterhin optional weist der zweite Satz Bonddrähte wenigstens doppelt so viele Bonddrähte wie der erste Satz auf.

**[0012]** Optional weisen die Bonddrähte im ersten Satz Bonddrähte die gleiche Form und den gleichen Abstand wie die Bonddrähte auf, die der zweite Satz Bonddrähte aufweist.

**[0013]** Weiterhin optional bewegt sich eine Höhe der Bonddrähte im ersten Satz zwischen 10 mil und 60 mil; eine Höhe der Bonddrähte im zweiten Satz bewegt sich zwischen 10 mil und 60 mil; und einander benachbarte Bonddrähte des ersten und zweiten Satzes sind zwischen 6 mil und 20 mil beabstandet.

**[0014]** Optional gilt Folgendes: Der erste Satz Bonddrähte ist an einem ersten Ende mit dem Eingangs-Lead, an einem zweiten Ende mit einem ersten Kondensator und zwischen dem ersten und dem zweiten Ende mit einem zweiten Kondensator verbunden; der zweite Satz Bonddrähte ist an einem ersten Ende mit dem Gate des HF-Leistungstransistors, an einem zweiten Ende mit dem zweiten Kondensator und zwischen dem ersten und dem zweiten Ende mit dem ersten Kondensator verbunden; der erste Kondensator ist zwischen den Bonddrähten aus dem ersten und dem zweiten Satz, die einander benachbart sind, segmentiert, um den ersten Satz Bonddrähte vom zweiten Satz Bonddrähte am ersten Kondensator elektrisch zu entkoppeln; und der zweite Kondensator ist zwischen den Bonddrähten aus dem ersten und dem zweiten Satz, die einander benachbart sind, segmentiert, um den ersten Satz Bonddrähte vom zweiten Satz Bonddrähte am zweiten Kondensator elektrisch zu entkoppeln.

**[0015]** Weiterhin optional umfassen der erste Kondensator und der zweite Kondensator jeder mehrere Anschlüsse, die voneinander getrennt sind und die mit einem oder mehreren der Bonddrähte im ersten oder zweiten Satz Bonddrähte verbunden sind, so dass der erste Satz Bonddrähte vom zweiten Satz Bonddrähte am ersten Kondensator und am zweiten Kondensator elektrisch entkoppelt ist.

**[0016]** Optional gilt Folgendes: Der erste Satz Bonddrähte ist an einem ersten Ende mit dem Eingangs-Lead, an einem zweiten Ende mit einem ersten Kondensator und zwischen dem ersten und dem zweiten Ende mit einem zweiten Kondensator verbunden; und der zweite Satz Bonddrähte ist an einem ersten Ende mit dem Gate des HF-Leistungstransistors, an einem zweiten Ende mit einem dritten Kondensator und zwischen dem ersten und dem zweiten Ende mit einem vierten Kondensator verbunden.

**[0017]** Weiterhin optional umfasst das HF-Leistungstransistor-Package eine Ausgangsanpassungsschaltung, die den Drain des HF-Leistungstransistors mit dem Ausgangs-Lead elektrisch verkoppelt und die dazu ausgelegt ist, eine Ausgangsimpedanz des HF-Leistungstransistors an eine Impedanz, die über den HF-Frequenzbereich des HF-Leistungstransistors am Ausgangs-Lead gesehen wird, anzupassen.

**[0018]** Optional ist der zweite Satz Bonddrähte an einem ersten Ende mit dem Gate des HF-Leistungstransistors und an einem zweiten Ende mit einem Kondensator verbunden, wobei mehrere Bonddrähte den Gleichstrom-Einspeiseanschluss mit dem Kondensator verbinden.

**[0019]** Einige Ausführungsformen beziehen sich auf ein HF-Leistungstransistor-Package, das Folgendes umfasst: einen Eingangs-Lead; einen Ausgangs-Lead; einen HF-Leistungstransistor, der einen Eingang, einen Ausgang, eine Eingangsimpedanz, eine Ausgangsimpedanz und eine definierte Verstärkungsantwort über einen HF-Frequenzbereich, für den der HF-Leistungstransistor zum Betrieb ausgelegt ist, aufweist; eine Aus-

gangsangepassungsschaltung, die den Ausgang des HF-Leistungstransistors elektrisch mit dem Ausgangs-Lead verkoppelt und die dazu ausgelegt ist, die Ausgangsimpedanz des HF-Leistungstransistors an eine Impedanz anzupassen, die am Ausgangs-Lead über den HF-Frequenzbereich des HF-Leistungstransistors gesehen wird, wobei die Ausgangsangepassungsschaltung bei Frequenzen unterhalb des HF-Frequenzbereichs des HF-Leistungstransistors einen Buckel in der Vorwärtsspannungsverstärkung bei niedrigen Frequenzen in der Verstärkungsantwort des HF-Leistungstransistors bewirkt; einen Transformator, der den Eingang des HF-Leistungstransistors vom Eingangs-Lead elektrisch entkoppelt und induktiv mit diesem koppelt und der dazu ausgelegt ist, Signale zu sperren, die eine Frequenz unterhalb des HF-Frequenzbereichs des HF-Leistungstransistors aufweisen, so dass niederfrequente Signale nicht durch den Buckel in der Vorwärtsspannungsverstärkung bei niedrigen Frequenzen verstärkt werden; und einen Gleichstrom-Einspeiseanschluss zum Bereitstellen von Gleichstrom-Vorspannung für den Eingang des HF-Leistungstransistors.

**[0020]** Optional ist der Transformator dazu ausgelegt, die Eingangsimpedanz des HF-Leistungstransistors an eine Impedanz anzupassen, die am Eingangs-Lead über den HF-Frequenzbereich des HF-Leistungstransistors gesehen wird.

**[0021]** Weiterhin optional umfasst der Transformator Folgendes: einen ersten Satz Bonddrähte, die mit dem Eingangs-Lead verbunden sind; und einen zweiten Satz Bonddrähte, die mit dem Eingang des HF-Leistungstransistors verbunden sind, wobei der erste Satz Bonddrähte elektrisch vom zweiten Satz Bonddrähte abgekoppelt ist, wobei der erste Satz Bonddrähte induktiv mit dem zweiten Satz Bonddrähte über wenigstens einen Teil der Länge der Bonddrähte verkoppelt ist.

**[0022]** Optional beträgt ein gegenseitiger Kopplungsfaktor zwischen dem ersten Satz Bonddrähte und dem zweiten Satz Bonddrähte wenigstens 0,25.

**[0023]** Weiterhin optional weisen die Bonddrähte im ersten Satz Bonddrähte die gleiche Form und den gleichen Abstand wie die Bonddrähte auf, die der zweite Satz Bonddrähte aufweist.

**[0024]** Optional bewegt sich eine Höhe der Bonddrähte im ersten Satz zwischen 10 mil und 60 mil; eine Höhe der Bonddrähte im zweiten Satz bewegt sich zwischen 10 mil und 60 mil; und einander benachbarte Bonddrähte des ersten und zweiten Satzes sind zwischen 6 mil und 20 mil beabstandet.

**[0025]** Optional gilt Folgendes: Der erste Satz Bonddrähte ist an einem ersten Ende mit dem Eingangs-Lead, an einem zweiten Ende mit einem ersten Kondensator und zwischen dem ersten und dem zweiten Ende mit einem zweiten Kondensator verbunden; der zweite Satz Bonddrähte ist an einem ersten Ende mit dem Eingang des HF-Leistungstransistors, an einem zweiten Ende mit dem zweiten Kondensator und zwischen dem ersten und dem zweiten Ende mit dem ersten Kondensator verbunden; der erste Kondensator ist zwischen den Bonddrähten aus dem ersten und dem zweiten Satz, die einander benachbart sind, segmentiert, um den ersten Satz Bonddrähte vom zweiten Satz Bonddrähte am ersten Kondensator elektrisch zu entkoppeln; und der zweite Kondensator ist zwischen den Bonddrähten aus dem ersten und dem zweiten Satz, die einander benachbart sind, segmentiert, um den ersten Satz Bonddrähte vom zweiten Satz Bonddrähte am zweiten Kondensator elektrisch zu entkoppeln.

**[0026]** Weiterhin optional umfassen der erste Kondensator und der zweite Kondensator jeder mehrere Anschlüsse, die voneinander getrennt sind und die mit einem oder mehreren der Bonddrähte im ersten oder zweiten Satz Bonddrähte verbunden sind, so dass der erste Satz Bonddrähte vom zweiten Satz Bonddrähte am ersten Kondensator und am zweiten Kondensator elektrisch entkoppelt ist.

**[0027]** Optional gilt Folgendes: Der erste Satz Bonddrähte ist an einem ersten Ende mit dem Eingangs-Lead, an einem zweiten Ende mit einem ersten Kondensator und zwischen dem ersten und dem zweiten Ende mit einem zweiten Kondensator verbunden; und der zweite Satz Bonddrähte ist an einem ersten Ende mit dem Eingang des HF-Leistungstransistors, an einem zweiten Ende mit einem dritten Kondensator und zwischen dem ersten und dem zweiten Ende mit einem vierten Kondensator verbunden.

**[0028]** Weiterhin optional ist der zweite Satz Bonddrähte an einem ersten Ende mit dem Gate des HF-Leistungstransistors und an einem zweiten Ende mit einem Kondensator verbunden, wobei mehrere Bonddrähte den Gleichstrom-Einspeiseanschluss mit dem Kondensator verbinden.

**[0029]** Gemäß einer Ausführungsform eines HF-Leistungstransistor-Packages umfasst das HF-Leistungstransistor-Package einen Eingangs-Lead, einen Ausgangs-Lead und einen HF-Leistungstransistor, der ein Gate,

einen Drain und eine definierte Verstärkung über einem HF-Frequenzbereich, für den der HF-Leistungstransistor zum Betrieb ausgelegt ist, aufweist. Das HF-Leistungstransistor-Package umfasst weiterhin einen Transformator, der das Gate des HF-Leistungstransistors vom Eingangs-Lead elektrisch entkoppelt und induktiv mit diesem koppelt. Der Transformator ist dazu ausgelegt, Signale unterhalb des HF-Frequenzbereichs des HF-Leistungstransistors zu sperren und Signale innerhalb des HF-Frequenzbereichs des HF-Leistungstransistors weiterzuleiten. Das HF-Leistungstransistor-Package umfasst auch einen Gleichstrom-Einspeiseanschluss zum Bereitstellen von Gleichstrom-Vorspannung für das Gate des HF-Leistungstransistors.

**[0030]** Gemäß einer anderen Ausführungsform eines HF-Leistungstransistor-Packages umfasst das HF-Leistungstransistor-Package einen Eingangs-Lead, einen Ausgangs-Lead und einen HF-Leistungstransistor, der einen Eingang, einen Ausgang, eine Eingangsimpedanz, eine Ausgangsimpedanz und eine definierte Verstärkung über einem HF-Frequenzbereich, für den der HF-Leistungstransistor zum Betrieb ausgelegt ist, aufweist. Das HF-Leistungstransistor-Package umfasst weiterhin eine Ausgangsanpassungsschaltung, einen Transformator und einen Gleichstrom-Einspeiseanschluss. Die Ausgangsanpassungsschaltung verkoppelt den Ausgang des HF-Leistungstransistors elektrisch mit dem Ausgangs-Lead und ist dazu ausgelegt, die Ausgangsimpedanz des HF-Leistungstransistors an eine Impedanz anzupassen, die am Ausgangs-Lead über den HF-Frequenzbereich des HF-Leistungstransistors gesehen wird. Die Ausgangsanpassungsschaltung bewirkt bei Frequenzen unterhalb des HF-Frequenzbereichs des HF-Leistungstransistors einen Buckel in der Vorwärtsspannungsverstärkung bei niedrigen Frequenzen in der Verstärkungsantwort des HF-Leistungstransistors. Der Transformator entkoppelt elektrisch den Eingang des HF-Leistungstransistors vom Eingangs-Lead und koppelt ihn induktiv mit diesem, und er ist dazu ausgelegt, Signale zu sperren, die eine Frequenz unterhalb des HF-Frequenzbereichs des HF-Leistungstransistors aufweisen, so dass niederfrequente Signale nicht durch den Buckel in der Vorwärtsspannungsverstärkung bei niedrigen Frequenzen verstärkt werden. Der Gleichstrom-Einspeiseanschluss stellt Gleichstrom-Vorspannung für den Eingang des HF-Leistungstransistors bereit.

**[0031]** Fachleute werden zusätzliche Merkmale und Vorteile beim Lesen der folgenden ausführlichen Beschreibung und bei Betrachtung der zugehörigen Zeichnungen erkennen.

#### KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0032]** Die Elemente der Zeichnungen sind nicht notwendigerweise maßstabsgetreu in Bezug zueinander. Gleiche Referenznummern bezeichnen entsprechende ähnliche Teile. Die Merkmale der verschiedenen veranschaulichten Ausführungsformen können kombiniert werden, es sei denn, sie schließen einander aus. Ausführungsformen werden in den Zeichnungen aufgezeigt und in der folgenden Beschreibung genau beschrieben.

**[0033]** Fig. 1 veranschaulicht eine schematische Darstellung einer Ausführungsform eines gehäuseten HF-Leistungstransistors mit einem Transformator am Eingang des Transistors.

**[0034]** Fig. 2 und Fig. 3 veranschaulichen das induktive Kopplungsverhalten von Drähten.

**[0035]** Fig. 4, die die Fig. 4A und Fig. 4B aufweist, veranschaulicht unterschiedliche Ansichten einer Ausführungsform eines HF-Leistungstransistor-Packages mit einem Transformator, der aus Bonddrähten am Eingang des Transistors gebildet wird.

**[0036]** Fig. 5 ist eine Kurve, die den gegenseitigen Kopplungsfaktor des Transformators aus Fig. 4 als eine Funktion des Bonddrahttrennabstands veranschaulicht.

**[0037]** Fig. 6 ist eine Kurve, die die minimale Einfügungsdämpfung des Transformators aus Fig. 4 als eine Funktion des Bonddrahttrennabstands veranschaulicht.

**[0038]** Fig. 7, die die Fig. 7A und Fig. 7B aufweist, veranschaulicht unterschiedliche Ansichten einer anderen Ausführungsform eines HF-Leistungstransistor-Packages mit einem Transformator, der aus Bonddrähten am Eingang des Transistors gebildet wird.

**[0039]** Fig. 8, die die Fig. 8A und Fig. 8B aufweist, veranschaulicht unterschiedliche Ansichten noch einer anderen Ausführungsform eines HF-Leistungstransistor-Packages mit einem Transformator, der aus Bonddrähten am Eingang des Transistors gebildet wird.

**[0040]** Fig. 9, die die Fig. 9A und Fig. 9B aufweist, veranschaulicht unterschiedliche Ansichten noch einer anderen Ausführungsform eines HF-Leistungstransistor-Packages mit einem Transformator, der aus Bonddrähten am Eingang des Transistors gebildet wird.

**[0041]** Fig. 10 ist eine Kurve, die die Vorwärtsspannungsverstärkung eines HF-Leistungstransistors, der einen Transformator am Eingang des Transistors aufweist, im Vergleich zu keinem Transformator am Eingang veranschaulicht.

**[0042]** Fig. 11 ist eine Kurve, die die maximal verfügbare Verstärkung eines HF-Leistungstransistors, der einen Transformator am Eingang des Transistors aufweist, im Vergleich zu keinem Transformator am Eingang veranschaulicht.

**[0043]** Fig. 12 veranschaulicht eine Top-Down-Draufsicht einer Ausführungsform eines HF-Leistungstransistor-Packages mit einem Transformator, der aus Bonddrähten am Eingang des Transistors gebildet wird, und einem Gleichstrom-Einspeiseanschluss zum Bereitstellen von Gleichstrom-Vorspannung für das Gate des Transistors.

**[0044]** Fig. 13 veranschaulicht eine Top-Down-Draufsicht einer anderen Ausführungsform eines HF-Leistungstransistor-Packages mit einem Transformator, der aus Bonddrähten am Eingang des Transistors gebildet wird, und einem Gleichstrom-Einspeiseanschluss zum Bereitstellen von Gleichstrom-Vorspannung für das Gate des Transistors.

**[0045]** Fig. 14 bis Fig. 16 veranschaulichen Top-Down-Draufsichten von unterschiedlichen Ausführungsformen segmentierter Eingangskondensatoren zur Verwendung mit Bonddrähten eines Eingangstransformators eines HF-Leistungstransistor-Packages.

#### AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG

**[0046]** Gemäß hier beschriebenen Ausführungsformen wird ein Transformatorprinzip am Eingang eines HF-Leistungstransistors verwendet, um die Eingangsimpedanz anzupassen und eine Hochpass-Frequenzantwort zu erzeugen, die Niederfrequenzverstärkung unterdrückt. In einem Transformator erzeugt der veränderliche Wechselstrom in der primärseitigen (P) Wicklung einen veränderlichen magnetischen Fluss, der in der sekundärseitigen (S) Wicklung eine veränderliche Spannung induziert. Bei niedrigen Frequenzen und bei Gleichstrom ist der Eingangs-Lead des Packages vom Eingang (Gate) des HF-Leistungstransistors durch den Transformator, der nur bei hohen Frequenzen effektiv arbeitet, entkoppelt, demzufolge bildet der Transformator ein Hochpassnetz. Diese Konfiguration reduziert effektiv sowohl die maximal verfügbare Verstärkung als auch den Buckel in der Vorwärtsspannungs-(S<sub>21</sub>)Verstärkung bei niedrigen Frequenzen und unterdrückt diese. Die Impedanz am Eingangs-Lead des Packages ist nicht mehr von der Eingangsimpedanz des HF-Leistungstransistors abhängig, sondern hängt stattdessen von den elektrischen Kenngrößen der primärseitigen Wicklung ab.

**[0047]** Indem die maximal verfügbare Verstärkung bei niedrigen Frequenzen effektiv unterdrückt wird, zeigt der gehäuste HF-Leistungstransistor geringe Verstärkung bei niedrigen Frequenzen, sogar dann, wenn die Quellen- oder die Lastimpedanz zufällig weg von 50 Ohm fehlangepasst ist. Dies verbessert die Robustheit des Transistors bei Robustheitsprüfung mit hoher Fehlanpassung (hoher VSWR (voltage standing wave ratio), Welligkeitsfaktor). Typische Robustheitsprüfung erfolgt bei einem hohen VSWR (z. B. bei 10:1 VSWR). Auch weicht bei einigen Verstärkerarchitekturen, wie zum Beispiel bei Doherty-Verstärkern, die vom Verstärker gesehene Lastimpedanz möglicherweise erheblich von 50 Ohm ab. Die hier beschriebenen Transformatorausführungsformen können die Robustheit, die Stabilität und die Linearisierungsfähigkeit eines Verstärkers verbessern, sogar wenn die Quell- und Lastimpedanzen stark fehlangepasst sind, z. B. im Fall einer Doherty-Anwendung.

**[0048]** Fig. 1 veranschaulicht einen Schaltplan eines gehäusten HF-Leistungstransistors (PT), wie zum Beispiel eines LDMOS-Transistors, der ein Gate (G), eine Source (S) und einen Drain (D) aufweist. Das Gate bildet den Eingang des HF-Leistungstransistors, und der Drain ist der Ausgang des Transistors. Der HF-Leistungstransistor weist eine definierte Verstärkungsantwort auf, wie zum Beispiel eine maximal verfügbare Verstärkung oder S<sub>21</sub>-Verstärkung über einen HF-Frequenzbereich, für den der HF-Leistungstransistor zum Betrieb ausgelegt ist. 'S<sub>21</sub>-Verstärkung' ist ein Streu- oder S-Parameter, der der Vorwärtsspannungsverstärkung des HF-Leistungstransistors als Reaktion auf gleichbleibende Anregungen durch elektrische Signale entspricht. Zu anderen typischen Streu- oder S-Parametern für eine Zweitor-Vorrichtung zählen S<sub>11</sub> (Eingangsexreflexionsfaktor), S<sub>12</sub> (Rückwärts-Transmissionsfaktor) und S<sub>22</sub> (Ausgangsexreflexionsfaktor).

**[0049]** Die untere Grenzfrequenz des HF-Leistungstransistors definiert die untere Ecke des HF-Frequenzbereichs, für den der HF-Leistungstransistor zum Betrieb ausgelegt ist. Zum Beispiel kann der HF-Leistungstransistor eine untere Grenzfrequenz bei 1,5 GHz, 1,6 GHz, 2,0 GHz, 2,6 GHz, 3,5 GHz usw. aufweisen, abhängig von der Art der Anwendung, für die der Transistor entworfen wurde. Die untere Grenzfrequenz des HF-Leistungstransistors kann sich bis hinunter zu 1,0 GHz oder sogar bis hinunter zu 700 MHz erstrecken, abhängig von der Anwendung.

**[0050]** In jedem Fall entkoppelt ein Transformator (T<sub>fmr</sub>) das Gate des HF-Leistungstransistors elektrisch von einem Eingangs-Lead (IN) des Packages und koppelt es induktiv mit diesem. Der Transformator sperrt Signale unterhalb des HF-Frequenzbereichs des HF-Leistungstransistors und leitet Signale innerhalb des HF-Frequenzbereichs des HF-Leistungstransistors weiter. Daher bildet der Transformator ein Hochpassnetz am Eingang des HF-Leistungstransistors. Dieses vom Transformator gebildete Hochpassnetz kann verwendet werden, um die Eingangsimpedanz anzupassen und eine Hochpass-Frequenzantwort zu erzeugen, die Niederfrequenzverstärkung unterdrückt. Die Eingangsanpassung wird über einen Breitbandbereich bereitgestellt, weil der Transformator wie ein Hochpassfilter fungiert. Diese induktive Kopplungskonfiguration ist besonders für Anwendungen nützlich, bei denen das Signal, das in den Transistor eingegeben wird, ähnlich einer komplexen Modulation von mehreren Hochfrequenztönen ist (z. B. 2,0-GHz- und 2,1-GHz-Töne), deren Mischung zu Signalen mit niedrigen Frequenzen führt (in diesem Beispiel z. B. 100 MHz). Der Transistor sperrt diese niederfrequenten Signale von der Eingabe in den HF-Leistungstransistor, was Verstärkung von unerwünschten niederfrequenten Signalen durch den Buckel in der Vorwärtsspannungsverstärkung bei niedrigen Frequenzen verhindert, der möglicherweise in der Verstärkungsantwort des Transistors vorhanden ist. Als Nächstes wird der Betrieb des Transformators ausführlicher dargelegt.

**[0051]** Ein einzelner Draht oder eine Gruppe von Drähten können als eine elektrische Induktivität mit der Induktivität L fungieren, so dass, wenn sie, wie in **Fig. 2** gezeigt wird, aus einem einzelnen Tor angesteuert werden, die Spannung (V) und der Strom (I) durch L durch die folgende Gleichung in Beziehung stehen:

$$V = L \frac{dI}{dt} \quad (1)$$

**[0052]** Dieses Verhalten basiert auf zwei physikalischen Prinzipien: Ein gleichbleibender Strom erzeugt ein gleichbleibendes Magnetfeld (Oersted'sches Gesetz), und ein zeitlich veränderliches Magnetfeld induziert eine Spannung in einem benachbarten Leiter (Faraday'sches Gesetz der Induktion).

**[0053]** Das zeitlich veränderliche Magnetfeld in einem Satz von Drähten kann auch eine zeitlich veränderliche Spannung über einem getrennten Satz von Drähten induzieren, wenn er sich nahe genug befindet. Dies wird durch **Fig. 3** und die folgende Gleichung beschrieben:

$$\begin{aligned} V_1 &= L_1 \frac{dI_1}{dt} + M \frac{dI_2}{dt} \\ V_2 &= L_2 \frac{dI_2}{dt} + M \frac{dI_1}{dt} \end{aligned} \quad (2)$$

wobei gilt: M ist die gegenseitige Induktivität zwischen L<sub>1</sub> und L<sub>2</sub>. Die gegenseitige Induktivität steht auch zum Kopplungsfaktor k wie folgt in Beziehung:

$$M = k \sqrt{L_1 L_2} \quad (3)$$

**[0054]** Der Kopplungsfaktor k ist 0 < k < 1, wobei k = 1 perfekte Kopplung zwischen L<sub>1</sub> und L<sub>2</sub> darstellt, und k = 0 keine Kopplung darstellt. Das Vorzeichen von k kann sich auch ändern, abhängig von der Richtung des Stromflusses in den Drähten.

**[0055]** Die gegenseitige Induktivität kann unter Verwendung der Neumann'schen Induktionsgleichung berechnet werden, in der die gegenseitige Induktivität L<sub>ij</sub> zwischen einer geschlossenen Schleife C<sub>i</sub> und einer geschlossenen Schleife C<sub>j</sub> wie folgt definiert wird:

$$L_{ij} = \frac{\text{flussverkoppelnder } \Phi_{C_j} \text{ aufgrund eines Stroms in } C_i}{\text{Strom in } C_i}$$

$$= \frac{\mu_0}{4\pi} \oint_{C_i} \oint_{C_j} \frac{dl_i dl_j}{r} \quad (4)$$

wobei  $r$  der Abstand zwischen den Punkten auf den Konturen von  $C_i$  und  $C_j$  ist. Der Parameter  $r$  kann auch als der Trennabstand zwischen zwei parallelen Drähten interpretiert werden und aus der Gleichung (4) deduziert werden, wonach sich die gegenseitige Induktivität zwischen zwei parallelen Drähten so reduziert, wie sich der Trennabstand  $r$  erhöht. Der Parameter  $\mu_0$  ist die Vakuumpermeabilität (auch als magnetische Feldkonstante bezeichnet) und wird gegeben mit:  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$  H/m. Bei Drähten in einem Material mit einer größeren Permeabilität  $\mu$  ist die gegenseitige Induktivität größer.

**[0056]** Die durch die Gleichung (4) gegebene gegenseitige Induktivität kann analytisch untersucht werden, und in einem vereinfachten Fall mit zwei parallelen Drähten mit einer Länge  $l$  und einem Trennabstand  $d$ , wobei  $l \gg d$ , kann die gegenseitige Induktivität wie folgt ausgedrückt werden:

$$M = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \left[ \ln\left(\frac{2l}{d}\right) - 1 + \frac{d}{l} \right] \quad (5)$$

**[0057]** In einigen Ausführungsformen werden die primärseitigen (P) und die sekundärseitigen (S) Drähte des Transformators am Eingang des HF-Leistungstransistors durch Bonddrähte realisiert.

**[0058]** Fig. 4, die die Fig. 4A und Fig. 4B aufweist, veranschaulicht eine Ausführungsform eines HF-Transistor-Packages, das einen HF-Leistungstransistor-Die **100** und einen Transformator **102**, der aus den Bonddrähten **104**, **106** gebildet wird, am Eingang (Gate) des Transistor-Dies **100** aufweist.

**[0059]** Fig. 4A zeigt eine Top-Down-Draufsicht des Packages, einschließlich einer explodierten Ansicht eines Teils der Transformator-Bonddraht-Anordnung. Fig. 4B zeigt eine Querschnittsansicht des Packages entlang der in Fig. 4A mit A-A' bezeichneten Linie.

**[0060]** Das Package weist einen Eingangs-Lead **108** und einen Ausgangs-Lead **110** auf, die an einem Haltebauteil **112**, wie zum Beispiel einem Keramikmaterial, befestigt sind. Der Ausgang (z. B. der Drain) des HF-Leistungstransistor-Dies **100** ist elektrisch mit dem Ausgangs-Lead **110** des Packages durch mehrere Bonddrähte **114** verbunden. Der Transformator **102** entkoppelt elektrisch den Eingang (Gate) des HF-Leistungstransistor-Dies **100** vom Eingangs-Lead **108** des Packages und koppelt ihn induktiv mit diesem, und er ist dazu ausgelegt, Signale zu sperren, die eine Frequenz unterhalb des HF-Frequenzbereichs des HF-Leistungstransistors in die **100** aufweisen, so dass niederfrequente Signale nicht durch einen Buckel in der Vorwärtsspannungsverstärkung bei niedrigen Frequenzen verstärkt werden, der möglicherweise in der Verstärkungsantwort des Transistors vorhanden ist.

**[0061]** Gemäß der in Fig. 4 gezeigten Ausführungsform umfasst der Transformator **102** einen Satz primärseitiger Bonddrähte **104**, die mit dem Eingangs-Lead **108** des Packages verbunden sind, und einen Satz sekundärseitiger Bonddrähte **106**, die mit dem Gate des HF-Leistungstransistor-Dies **100** verbunden sind. Der Satz primärseitiger Bonddrähte **104** ist elektrisch vom Satz der sekundärseitigen Bonddrähte **106** abgekoppelt, jedoch induktiv mit dem Satz sekundärseitiger Bonddrähte **106** über wenigstens einen Teil der Länge der Bonddrähte **104**, **106** gekoppelt. Der gegenseitige Kopplungsfaktor  $k$  zwischen dem primärseitigen und dem sekundärseitigen Satz Bonddrähte **104**, **106**, die den Transformator **102** bilden, ist eine Funktion des Trennabstands  $d$  zwischen einander benachbarten der primärseitigen und sekundärseitigen Bonddrähte **104**, **106**. Fig. 5 zeigt den gegenseitigen Kopplungsfaktor  $k$  als eine Funktion des Trennabstands  $d$  für unterschiedliche Höhen der Bonddrähte. In einer Ausführungsform bewegt sich die Höhe der primärseitigen Bonddrähte **104** zwischen 10 mil und 60 mil, die Höhe der sekundärseitigen Bonddrähte **106** bewegt sich ebenfalls zwischen 10 mil und 60 mil, und einander benachbarte der primärseitigen und sekundärseitigen Bonddrähte **104**, **106** sind in einem Abstand  $d$  beabstandet, der von 2 bis 50 mil verändert wird. Andere Höhen und Zwischenraumbereiche werden in Betracht gezogen und liegen daher innerhalb des Schutzbereichs der hier beschriebenen



Ausführungsformen. Durch geeignete Auswahl der Bonddrahthöhen und -zwischenraumabmaße kann ein gegenseitiger Kopplungsfaktor  $k$  von wenigstens 0,25, wenigstens 0,5 oder sogar größer erreicht werden, wie durch die Gleichung (3) gegeben wird.

**[0062]** Fig. 6 zeigt die minimale Einfügungsdämpfung (in dB) des Transformatornetzes als eine Funktion von Frequenz und Bonddrahttrennabstand. Die Einfügungsdämpfung wird bei kleinerem Bonddrahttrennabstand reduziert, und die untere Grenzfrequenz wird hin zu niedrigeren Frequenzen mit einem steileren Roll-Off bewegt. Vorzugsweise weisen die primärseitigen und sekundärseitigen Bonddrähte **104**, **106** die gleiche Form und den gleichen Zwischenraum auf, jedoch ist eine solche Konfiguration der Transformatordrähte **104**, **106** nicht erforderlich.

**[0063]** Gemäß der in Fig. 4 gezeigten Package-Ausführungsform sind die primärseitigen Bonddrähte **104** weiterhin an einem ersten Ende **116** mit dem Eingangs-Lead **108** des Packages, an einem zweiten Ende **120** mit einem ersten Kondensator **118** und zwischen dem ersten und dem zweiten Ende **116**, **120** mit einem zweiten Kondensator **122** verbunden. Ebenfalls gemäß der Ausführungsform aus Fig. 4 sind die sekundärseitigen Bonddrähte **106** an einem ersten Ende **124** mit dem Gate des HF-Leistungstransistor-Dies **100**, an einem zweiten Ende **126** mit dem zweiten Kondensator **122** und zwischen dem ersten und dem zweiten Ende **124**, **126** mit dem ersten Kondensator **118** verbunden. Zur Bildung dieser Verbindungen kann irgendeine Standard-Drahtbond-Technik verwendet werden.

**[0064]** Um sicherzustellen, dass die primärseitigen Bonddrähte **104** des Transformators **102** von den sekundärseitigen Bonddrähten **106** elektrisch abgekoppelt bleiben, wird der erste Kondensator **118** zwischen einander benachbarten der primärseitigen und der sekundärseitigen Bonddrähte **104**, **106** segmentiert. Der zweite Kondensator **122** wird gleichermaßen zwischen einander benachbarten der primärseitigen und der sekundärseitigen Bonddrähte **104**, **106** segmentiert, um den Satz primärseitiger Bonddrähte **104** vom Satz sekundärseitiger Bonddrähte **106** am zweiten Kondensator **122** elektrisch zu entkoppeln. In einer Ausführungsform können die Kondensatoren **118**, **122** durch physikalische Trennung segmentiert werden, wie in Fig. 4A gezeigt wird, wie zum Beispiel dadurch, dass sie gesägt, mit Laser geschnitten usw. werden, um korrekte elektrische Entkopplung sicherzustellen. Einander benachbarte primärseitige und sekundärseitige Bonddrähte **104**, **106** sind nahe genug zueinander beabstandet ( $d$ ), um einen ausreichend hohen gegenseitigen Kopplungsfaktor sicherzustellen, wie vorher hier beschrieben wurde. Ebenfalls gemäß der Ausführungsform aus Fig. 4 umfasst der Transformator **102** die gleiche Anzahl primärseitiger ( $P$ ) Bonddrähte **104** wie sekundärseitiger ( $S$ ) Bonddrähte **106**, was ein Transformatorwindungsverhältnis ( $N_P/N_S$ ) von 1:1 ergibt. Andere Windungsverhältnisse können durch ungleiche Anzahlen von primärseitigen und sekundärseitigen Bonddrähten **104**, **106** realisiert werden.

**[0065]** Fig. 7, die die Fig. 7A und Fig. 7B aufweist, veranschaulicht eine andere Ausführungsform eines HF-Transistor-Packages, das einen HF-Leistungstransistor-Die **100** und einen Transformator **102**, der aus den Bonddrähten **104**, **106** gebildet wird, am Eingang des Dies **100** aufweist. Fig. 7A zeigt eine Top-Down-Draufsicht des Packages, einschließlich einer explodierten Ansicht eines Teils der Transformator-Bonddraht-Anordnung. Fig. 7B zeigt eine Querschnittsansicht des Packages entlang der in Fig. 7A mit B-B' bezeichneten Linie. Die in Fig. 7 gezeigte Ausführungsform ist der in Fig. 4 gezeigten Ausführungsform ähnlich, allerdings weist der Transformator **102** doppelt so viele primärseitige Bonddrähte **104** wie sekundärseitige Bonddrähte **106** auf, was ein Windungsverhältnis ( $N_P/N_S$ ) von 2:1 ergibt. Umgekehrt kann der Transformator **102** doppelt so viele sekundärseitige Bonddrähte **106** wie primärseitige Bonddrähte **104** aufweisen, was ein Windungsverhältnis ( $N_P/N_S$ ) von 1:2 ergibt. Im Allgemeinen kann der Transformator **102** irgendein gewünschtes Windungsverhältnis aufweisen (z. B. 1:1, 2:1, 4:1, 1:2, 1:4 usw.), indem die Anzahl der primärseitigen und der sekundärseitigen Bonddrähte **104**, **106** geeignet ausgewählt wird, um die Eingangsimpedanz des HF-Leistungstransistors an die Impedanz anzupassen, die über dem HF-Frequenzbereich des HF-Leistungstransistors am Eingangs-Lead **108** des Packages gesehen wird.

**[0066]** Fig. 8, die die Fig. 8A und Fig. 8B aufweist, veranschaulicht noch eine andere Ausführungsform eines HF-Transistor-Packages, das einen HF-Leistungstransistor-Die **100** und einen Transformator **102**, der aus den Bonddrähten **104**, **106** gebildet wird, am Eingang des Dies **100** aufweist. Fig. 8A zeigt eine Top-Down-Draufsicht des Packages, einschließlich einer explodierten Ansicht eines Teils der Transformator-Bonddraht-Anordnung. Fig. 8B zeigt eine Querschnittsansicht des Packages entlang der in Fig. 8A mit C-C' bezeichneten Linie. Die in Fig. 8 gezeigte Ausführungsform ist der in Fig. 4 gezeigten Ausführungsform ähnlich, allerdings ist der Satz primärseitiger Bonddrähte **104** an einem ersten Ende **116** mit dem Eingangs-Lead **108** des Packages, an einem zweiten Ende **120** mit einem ersten Kondensator **200** und zwischen dem ersten und dem zweiten Ende **116**, **120** mit einem zweiten Kondensator **202** verbunden. Auch ist der Satz sekundärseitiger Bonddrähte **106** an einem ersten Ende **124** mit dem Gate des HF-Leistungstransistors, an einem zweiten Ende **126** mit einem

dritten Kondensator **204** und zwischen dem ersten und dem zweiten Ende **124, 126** mit einem vierten Kondensator **206** verbunden. Von daher sind beide der in **Fig. 4** gezeigten zwei Eingangskondensatoren **118, 122** jeder in **Fig. 8** in zwei physikalisch getrennte Kondensatoren **200, 202, 204, 206** aufgeteilt. Von daher kontaktieren die primärseitigen und die sekundärseitigen Bonddrähte **104, 106** nicht den gleichen Kondensator und somit müssen die einzelnen Kondensatoren **200, 202, 204, 206** nicht zwischen einander benachbarten primärseitigen/sekundärseitigen Bonddraht-Verbindungen segmentiert werden, wie in **Fig. 4** gezeigt wird. Stattdessen kann jeder der Eingangskondensatoren **200, 202, 204, 206** ein einzelner, durchgehender Kondensator sein.

**[0067]** **Fig. 9**, die die **Fig. 9A** und **Fig. 9B** aufweist, veranschaulicht noch eine andere Ausführungsform eines HF-Transistor-Packages, das einen HF-Leistungstransistor-Die **100** und einen Transformator **102**, der aus den Bonddrähten **104, 106** gebildet wird, am Eingang des Dies **100** aufweist. **Fig. 9A** zeigt eine Top-Down-Draufsicht des Packages, einschließlich einer explodierten Ansicht eines Teils der Transformator-Bonddraht-Anordnung. **Fig. 9B** zeigt eine Querschnittsansicht des Packages entlang der in **Fig. 9A** mit D-D' bezeichneten Linie. Die in **Fig. 9** gezeigte Ausführungsform ist der in **Fig. 4** gezeigten Ausführungsform ähnlich, allerdings weist das Package auch eine Ausgangsanpassungsschaltung auf, die die Ausgangsbonddrähte **114** und einen Ausgangskondensator **300** aufweist, der den Drain des HF-Leistungstransistors mit dem Ausgangs-Lead **110** des Packages elektrisch verkoppelt. Auch können die primärseitigen Bonddrähte **104** übereinander gestapelt sein, wie in **Fig. 9** gezeigt wird, anstatt lateral beabstandet zu sein.

**[0068]** In jedem Fall ist die Ausgangsanpassungsschaltung dazu ausgelegt, die Ausgangsimpedanz des HF-Leistungstransistors an die Impedanz anzupassen, die über den HF-Frequenzbereich des HF-Leistungstransistors am Ausgangs-Lead **110** des Packages gesehen wird. Die Ausgangsanpassungsschaltung kann bei Frequenzen unterhalb des HF-Frequenzbereichs des HF-Leistungstransistors den Buckel in der Vorwärtsspannungsverstärkung bei niedrigen Frequenzen in der Verstärkungsantwort des HF-Leistungstransistors bewirken, wie in **Fig. 10** gezeigt wird.

**[0069]** **Fig. 10** zeichnet die S<sub>21</sub>-Verstärkung mit (Kurve M) und ohne (Kurve N) den Transformator **102** am Eingang des HF-Leistungstransistors als eine Funktion der Frequenz auf. In beiden Fällen ist eine Ausgangsanpassungsschaltung am Ausgang des HF-Leistungstransistors vorhanden, jedoch ohne ideale 50-Ohm-Impedanzanpassung sowohl am Eingang als auch am Ausgang des HF-Leistungstransistors. Die S<sub>21</sub>-Verstärkung weist infolge des von der Ausgangsanpassungsschaltung bewirkten Buckels in der Vorwärtsspannungsverstärkung bei niedrigen Frequenzen in der Verstärkungsantwort des HF-Leistungstransistors eine beträchtliche Erhöhung bei niedrigen Frequenzen unterhalb von 1 GHz ohne den Eingangstransformator **102** auf. Mit dem Eingangstransformator **102**, der als ein Hochpassfilter fungiert, werden niederfrequente Signale unterhalb von 1 GHz gesperrt und demzufolge nicht durch den Buckel in der Vorwärtsspannungsverstärkung bei niedrigen Frequenzen in der Verstärkungsantwort des HF-Leistungstransistors verstärkt. Die S<sub>21</sub>-Verstärkung mit dem Transformator **102** am Eingang des HF-Leistungstransistors bleibt bei niedrigen Frequenzen relativ unverändert, ungeachtet, ob eine 50-Ohm-Impedanzanpassung am Eingang und Ausgang des HF-Leistungstransistors bereitgestellt wird.

**[0070]** **Fig. 11** zeigt eine ähnliche Aufzeichnung für die maximal verfügbare Verstärkung des HF-Leistungstransistors mit (Kurve M) und ohne (Kurve N) den Transformator **102** am Eingang des HF-Leistungstransistors als eine Funktion der Frequenz. Wie bei der S<sub>21</sub>-Verstärkung weisen niederfrequente Signale unterhalb von 1 GHz erheblich gedämpfte maximal verfügbare Verstärkung auf, wenn die Schaltung den Eingangstransformator **102** aufweist. Wie bei der S<sub>21</sub>-Verstärkung bleibt die maximal verfügbare Verstärkung bei niedrigen Frequenzen relativ unverändert, ungeachtet, ob eine 50-Ohm-Impedanzanpassung am Eingang und Ausgang des HF-Leistungstransistors bereitgestellt wird. Von daher verbessern die hier beschriebenen Eingangstransformatorausführungsformen die Robustheit, die Stabilität und die Linearisierungsfähigkeit des HF-Leistungstransistors, sogar wenn die Quell- und Lastimpedanzen stark fehlangepasst sind, z. B. im Fall einer Doherty-Anwendung.

**[0071]** **Fig. 12** veranschaulicht eine Top-Down-Draufsicht einer anderen Ausführungsform eines HF-Transistor-Packages, das einen HF-Leistungstransistor-Die **100** und einen Transformator **102**, der aus den Bonddrähten **104, 106** gebildet wird, am Eingang des Dies **100** aufweist. Die in **Fig. 12** gezeigte Ausführungsform ist der in **Fig. 4** gezeigten Ausführungsform ähnlich, allerdings weist das Package auch einen Gleichstrom-Einspeiseanschluss **400** auf, um Gleichstrom-Vorspannung am Gate des HF-Leistungstransistors bereitzustellen. Weil der Transformator **102** nicht gestattet, dass Gleichstrom durch ihn weitergeleitet wird, kann die Gleichstrom-Vorspannung durch den Gleichstrom-Einspeiseanschluss **400** am Gate des HF-Leistungstransistors angelegt werden. Gleichstrom-Vorspannung kann dem Drain (Ausgang) des HF-Leistungstransistors durch den Ausgangs-Lead **110** des Packages oder einen ähnlichen Gleichstrom-Einspeiseanschluss (nicht dargestellt)

an der Ausgangsseite des Packages bereitgestellt werden. Gemäß der Ausführungsform aus **Fig. 12** weist der Gleichstrom-Einspeiseanschluss **400** laterale Segmente **402**, **404** auf, die sich entlang der Seiten des Eingangs-Leads **108** des Packages erstrecken. Die Bonddrähte **406** verbinden jedes Segment **402**, **404** des Gleichstrom-Einspeiseanschlusses **400** mit dem Gate des HF-Leistungstransistors.

**[0072]** **Fig. 13** veranschaulicht eine Top-Down-Draufsicht einer anderen Ausführungsform eines HF-Transistor-Packages, das einen HF-Leistungstransistor-Die **100** und einen Transformator **102**, der aus den Bonddrähten **104**, **106** gebildet wird, am Eingang des Dies **100** aufweist. Die in **Fig. 13** gezeigte Ausführungsform ist der in **Fig. 12** gezeigten Ausführungsform ähnlich, allerdings weist der Gleichstrom-Einspeiseanschluss **400** weiterhin ein zusätzliches Segment **408** auf, das die lateralen Segmente **402**, **404** zwischen dem Eingangs-Lead **108** des Packages und einem der Kondensatoren **122** verbindet, mit dem die sekundärseitigen Bonddrähte **106** des Transformators **102** verbunden sind. Gemäß dieser Ausführungsform stellen die sekundärseitigen Bonddrähte **106** des Transformators **102** die Gleichstrom-Vorspannung dem Gate-Eingang des HF-Leistungstransistors bereit.

**[0073]** Gemäß den hier vorher beschriebenen Ausführungsformen wird eine Eingangsanpassung mit zwei Sätzen von Gate-Drähten (primärseitig und sekundärseitig) bereitgestellt, die parallel zueinander verlaufen und elektrisch voneinander entkoppelt sind, was einen Impedanzanpassungstransformator bildet. Aufgrund der direkten Nähe der beiden Drahtsätze zueinander besteht eine effektive induktive Koppelung durch das umgebende Material, wie zum Beispiel Luft oder ein anderes Dielektrikum (wie zum Beispiel Kunststoffgussmasse). HF-Energie aus dem primärseitigen Satz von Gate-Drähten erzeugt einen veränderlichen magnetischen Fluss im umgebenden Material, der dann HF-Energie im sekundärseitigen Satz von Gate-Drähten induziert, die mit dem HF-Leistungstransistor verbunden sind. Auf diese Weise wird HF-Energie durch den Transformator zum Transistor übertragen, jedoch wird die HF-Energie bei niedrigen Frequenzen (Basisband und Gleichstrom) unterdrückt und nicht übertragen. Die primärseitigen und sekundärseitigen Gate-Drähte enden möglicherweise an HF-Kondensatoren, die auch als Gleichstrom-Sperrkondensatoren fungieren, um Gleichstromkriechverlust nach Masse zu verhindern. In einigen Fällen, abhängig von der Package-Konfiguration, können die HF-Kondensatoren in mehrere Teile segmentiert werden, so dass die primärseitigen und die sekundärseitigen Gate-Drähte voneinander entkoppelt sind. Gleichspannung kann in den Eingang (Gate) des HF-Leistungstransistors direkt an den sekundärseitigen Gate-Drähten oder am Transistor-Gate-Pad durch einen Gleichstrom-Einspeiseanschluss eingespeist werden.

**[0074]** **Fig. 14** bis **Fig. 15** veranschaulichen unterschiedliche Ausführungsformen der Eingangskondensatoren zum Verbinden des Transformators mit dem Eingangs-Lead und -Gate des HF-Leistungstransistors.

**[0075]** Gemäß der in **Fig. 14** gezeigten Ausführungsform weist jeder Eingangskondensator **500** eine Oberseite **502**, die von einer Unterseite (verdeckt) durch ein Dielektrikum **504** getrennt ist, und Anschlüsse **506** an der Oberseite **502** für die primärseitigen (P) und die sekundärseitigen (S) Bonddraht-Verbindungen des Eingangstransformators auf. Die Anschlüsse **506**, die mit den primärseitigen Bonddrähten verbunden sind, sind von den Anschlüssen **506**, die mit den sekundärseitigen Bonddrähten verbunden sind, getrennt, um elektrische Entkopplung der Primär- und der Sekundärseite des Transformators sicherzustellen.

**[0076]** Gemäß der in **Fig. 15** gezeigten Ausführungsform weist jeder Eingangskondensator **500** eine oder mehrere innere Metallisierungsschichten **508**, **510** auf, die strukturiert sind, um alle der primärseitigen Bonddrähte des Transformators miteinander, getrennt von allen der sekundärseitigen Bonddrähten zu verbinden, um elektrische Entkopplung zwischen der Primär- und der Sekundärseite aufrechtzuerhalten.

**[0077]** Die in **Fig. 16** gezeigte Ausführungsform ist der in **Fig. 15** gezeigten Ausführungsform ähnlich, allerdings werden Gate-Vorspannungs-Pads **512** an gegenüber liegenden Enden des Kondensators **500** bereitgestellt und jedes mit dem benachbarten primärseitigen (P) / sekundärseitigen (S) Anschluss **506** durch eine entsprechende, niederohmige (z. B. 10 Ohm) Verbindung **514** verbunden.

**[0078]** Räumliche Begriffe, wie zum Beispiel „unter“, „unterhalb“, „unterer“, „über“, „oberer“ und ähnliche, werden zur Vereinfachung der Beschreibung verwendet, um die Positionierung eines Elements in Bezug auf ein zweites Element zu erklären. Es ist beabsichtigt, dass diese Begriffe unterschiedliche Ausrichtungen des Bauelements umfassen, zusätzlich zu anderen als die in den Figuren aufgezeigten Ausrichtungen. Weiterhin werden Begriffe wie zum Beispiel „erster“, „zweiter“ und ähnliche auch verwendet, um verschiedene Elemente, Bereiche, Abschnitte usw. zu beschreiben, und es ist ebenfalls nicht beabsichtigt, dass sie einschränkend sind. Gleiche Begriffe beziehen sich in der Beschreibung durchweg auf gleiche Elemente.

**[0079]** Die Begriffe „aufweisen“, „enthalten“, „umfassen“ und ähnliche sind, wie sie hierin verwendet werden, offene Begriffe, die das Vorhandensein der angegebenen Elemente oder Merkmale anzeigen, jedoch zusätzliche Elemente oder Merkmale nicht ausschließen. Es ist beabsichtigt, dass die Artikel „ein“, „eine“ und „der“, „die“, „das“ sowohl den Plural als auch den Singular beinhalten, es sei denn, der Kontext zeigt eindeutig etwas anderes an.

**[0080]** Unter Berücksichtigung des oben genannten Bereichs von Varianten und Anwendungen versteht es sich, dass die vorliegende Erfindung weder durch die vorhergehende Beschreibung eingeschränkt wird, noch dass sie durch die zugehörigen Zeichnungen eingeschränkt wird. Stattdessen ist die vorliegende Erfindung nur durch die folgenden Ansprüche und ihre rechtlichen Äquivalente beschränkt.

### Patentansprüche

1. HF-Leistungstransistor-Package, das Folgendes umfasst:  
einen Eingangs-Lead;  
einen Ausgangs-Lead;  
einen HF-Leistungstransistor, der ein Gate, einen Drain und eine definierte Verstärkungsantwort über einen HF-Frequenzbereich, für den der HF-Leistungstransistor zum Betrieb ausgelegt ist, aufweist;  
einen Transformator, der das Gate des HF-Leistungstransistors vom Eingangs-Lead elektrisch entkoppelt und induktiv mit ihm koppelt, wobei der Transformator dazu ausgelegt ist, Signale unterhalb des HF-Frequenzbereichs des HF-Leistungstransistors zu sperren und Signale innerhalb des HF-Frequenzbereichs des HF-Leistungstransistors weiterzuleiten; und  
einen Gleichstrom-Einspeiseanschluss zum Bereitstellen von Gleichstrom-Vorspannung für das Gate des HF-Leistungstransistors.
2. HF-Leistungstransistor-Package nach Anspruch 1, wobei der Transformator Folgendes umfasst:  
einen ersten Satz Bonddrähte, die mit dem Eingangs-Lead verbunden sind; und  
einen zweiten Satz Bonddrähte, die mit dem Gate des HF-Leistungstransistors verbunden sind, wobei der erste Satz Bonddrähte elektrisch vom zweiten Satz Bonddrähte abgekoppelt ist, wobei der erste Satz Bonddrähte induktiv mit dem zweiten Satz Bonddrähte über wenigstens einen Teil der Länge der Bonddrähte verkoppelt ist.
3. HF-Leistungstransistor-Package nach Anspruch 2, wobei ein gegenseitiger Kopplungsfaktor zwischen dem ersten Satz Bonddrähte und dem zweiten Satz Bonddrähte wenigstens 0,25 beträgt.
4. HF-Leistungstransistor-Package nach Anspruch 2 oder 3, wobei der erste Satz Bonddrähte wenigstens doppelt so viele Bonddrähte wie der zweite Satz aufweist.
5. HF-Leistungstransistor-Package nach einem der Ansprüche 2 bis 4, wobei der zweite Satz Bonddrähte wenigstens doppelt so viele Bonddrähte wie der erste Satz aufweist.
6. HF-Leistungstransistor-Package nach einem der Ansprüche 2 bis 5, wobei die Bonddrähte im ersten Satz Bonddrähte die gleiche Form und den gleichen Abstand wie die Bonddrähte aufweisen, die der zweite Satz Bonddrähte aufweist.
7. HF-Leistungstransistor-Package nach einem der Ansprüche 2 bis 6, wobei:  
eine Höhe der Bonddrähte im ersten Satz sich zwischen 10 mil und 60 mil bewegt;  
eine Höhe der Bonddrähte im zweiten Satz sich zwischen 10 mil und 60 mil bewegt; und  
einander benachbarte Bonddrähte des ersten und zweiten Satzes zwischen 6 mil und 20 mil beabstandet sind.
8. HF-Leistungstransistor-Package nach einem der Ansprüche 2 bis 7, wobei:  
der erste Satz Bonddrähte an einem ersten Ende mit dem Eingangs-Lead, an einem zweiten Ende mit einem ersten Kondensator und zwischen dem ersten und dem zweiten Ende mit einem zweiten Kondensator verbunden ist;  
der zweite Satz Bonddrähte an einem ersten Ende mit dem Gate des HF-Leistungstransistors, an einem zweiten Ende mit dem zweiten Kondensator und zwischen dem ersten und dem zweiten Ende mit dem ersten Kondensator verbunden ist;  
der erste Kondensator zwischen den Bonddrähten aus dem ersten und dem zweiten Satz, die einander benachbart sind, segmentiert ist, um den ersten Satz Bonddrähte vom zweiten Satz Bonddrähte am ersten Kondensator elektrisch zu entkoppeln; und

der zweite Kondensator zwischen den Bonddrähten aus dem ersten und dem zweiten Satz, die einander benachbart sind, segmentiert ist, um den ersten Satz Bonddrähte vom zweiten Satz Bonddrähte am zweiten Kondensator elektrisch zu entkoppeln.

9. HF-Leistungstransistor-Package nach Anspruch 8, wobei der erste Kondensator und der zweite Kondensator jeder mehrere Anschlüsse umfassen, die voneinander getrennt sind und die mit einem oder mehreren der Bonddrähte im ersten oder zweiten Satz Bonddrähte verbunden sind, so dass der erste Satz Bonddrähte vom zweiten Satz Bonddrähte am ersten Kondensator und am zweiten Kondensator elektrisch entkoppelt ist.

10. HF-Leistungstransistor-Package nach einem der Ansprüche 2 bis 9, wobei:  
der erste Satz Bonddrähte an einem ersten Ende mit dem Eingangs-Lead, an einem zweiten Ende mit einem ersten Kondensator und zwischen dem ersten und dem zweiten Ende mit einem zweiten Kondensator verbunden ist; und  
der zweite Satz Bonddrähte an einem ersten Ende mit dem Gate des HF-Leistungstransistors, an einem zweiten Ende mit einem dritten Kondensator und zwischen dem ersten und dem zweiten Ende mit einem vierten Kondensator verbunden ist.

11. HF-Leistungstransistor-Package nach einem der Ansprüche 2 bis 10, das weiterhin Folgendes umfasst: eine Ausgangsanpassungsschaltung, die den Ausgang des HF-Leistungstransistors elektrisch mit dem Ausgangs-Lead verkoppelt und die dazu ausgelegt ist, eine Ausgangsimpedanz des HF-Leistungstransistors an eine Impedanz anzupassen, die am Ausgangs-Lead über den HF-Frequenzbereich des HF-Leistungstransistors gesehen wird.

12. HF-Leistungstransistor-Package nach einem der Ansprüche 2 bis 11, wobei der zweite Satz Bonddrähte an einem ersten Ende mit dem Gate des HF-Leistungstransistors und an einem zweiten Ende mit einem Kondensator verbunden ist, wobei mehrere Bonddrähte den Gleichstrom-Einspeiseanschluss mit dem Kondensator verbinden.

13. HF-Leistungstransistor-Package, das Folgendes umfasst:  
einen Eingangs-Lead;  
einen Ausgangs-Lead;  
einen HF-Leistungstransistor, der einen Eingang, einen Ausgang, eine Eingangsimpedanz, eine Ausgangsimpedanz und eine definierte Verstärkungsantwort über einen HF-Frequenzbereich, für den der HF-Leistungstransistor zum Betrieb ausgelegt ist, aufweist;  
eine Ausgangsanpassungsschaltung, die den Ausgang des HF-Leistungstransistors elektrisch mit dem Ausgangs-Lead koppelt und die dazu ausgelegt ist, die Ausgangsimpedanz des HF-Leistungstransistors an eine Impedanz anzupassen, die am Ausgangs-Lead über den HF-Frequenzbereich des HF-Leistungstransistors gesehen wird, wobei die Ausgangsanpassungsschaltung bei Frequenzen unterhalb des HF-Frequenzbereichs des HF-Leistungstransistors eine Erhebung in der Vorwärtsspannungsverstärkung bei niedrigen Frequenzen in der Verstärkungsantwort des HF-Leistungstransistors bewirkt;  
einen Transformator, der den Eingang des HF-Leistungstransistors vom Eingangs-Lead elektrisch entkoppelt und induktiv mit diesem koppelt und der dazu ausgelegt ist, Signale zu sperren, die eine Frequenz unterhalb des HF-Frequenzbereichs des HF-Leistungstransistors aufweisen, so dass niederfrequente Signale nicht durch die Erhebung in der Vorwärtsspannungsverstärkung bei niedrigen Frequenzen verstärkt werden; und  
einen Gleichstrom-Einspeiseanschluss zum Bereitstellen von Gleichstrom-Vorspannung für den Eingang des HF-Leistungstransistors.

14. HF-Leistungstransistor-Package nach Anspruch 13, wobei der Transformator dazu ausgelegt ist, die Eingangsimpedanz des HF-Leistungstransistors an eine Impedanz anzupassen, die am Eingangs-Lead über den HF-Frequenzbereich des HF-Leistungstransistors gesehen wird.

15. HF-Leistungstransistor-Package nach Anspruch 13 oder 14, wobei der Transformator Folgendes umfasst:  
einen ersten Satz Bonddrähte, die mit dem Eingangs-Lead verbunden sind; und  
einen zweiten Satz Bonddrähte, die mit dem Eingang des HF-Leistungstransistors verbunden sind, wobei der erste Satz Bonddrähte elektrisch vom zweiten Satz Bonddrähte abgekoppelt ist, wobei der erste Satz Bonddrähte induktiv mit dem zweiten Satz Bonddrähte über wenigstens einen Teil der Länge der Bonddrähte verkoppelt ist.

16. HF-Leistungstransistor-Package nach Anspruch 15, wobei ein gegenseitiger Kopplungsfaktor zwischen dem ersten Satz Bonddrähte und dem zweiten Satz Bonddrähte wenigstens 0,25 beträgt.

17. HF-Leistungstransistor-Package nach Anspruch 15 oder 16, wobei die Bonddrähte im ersten Satz Bonddrähte die gleiche Form und den gleichen Abstand wie die Bonddrähte aufweisen, die der zweite Satz Bonddrähte aufweist.

18. HF-Leistungstransistor-Package nach einem der Ansprüche 15 bis 17, wobei:  
eine Höhe der Bonddrähte im ersten Satz sich zwischen 10 mil und 60 mil bewegt;  
eine Höhe der Bonddrähte im zweiten Satz sich zwischen 10 mil und 60 mil bewegt; und  
einander benachbarte Bonddrähte des ersten und zweiten Satzes zwischen 6 mil und 20 mil beabstandet sind.

19. HF-Leistungstransistor-Package nach einem der Ansprüche 15 bis 18, wobei:  
der erste Satz Bonddrähte an einem ersten Ende mit dem Eingangs-Lead, an einem zweiten Ende mit einem ersten Kondensator und zwischen dem ersten und dem zweiten Ende mit einem zweiten Kondensator verbunden ist;  
der zweite Satz Bonddrähte an einem ersten Ende mit dem Eingang des HF-Leistungstransistors, an einem zweiten Ende mit dem zweiten Kondensator und zwischen dem ersten und dem zweiten Ende mit dem ersten Kondensator verbunden ist;  
der erste Kondensator zwischen den Bonddrähten aus dem ersten und dem zweiten Satz, die einander benachbart sind, segmentiert ist, um den ersten Satz Bonddrähte vom zweiten Satz Bonddrähte am ersten Kondensator elektrisch zu entkoppeln; und  
der zweite Kondensator zwischen den Bonddrähten aus dem ersten und dem zweiten Satz, die einander benachbart sind, segmentiert ist, um den ersten Satz Bonddrähte vom zweiten Satz Bonddrähte am zweiten Kondensator elektrisch zu entkoppeln.

20. HF-Leistungstransistor-Package nach Anspruch 19, wobei der erste Kondensator und der zweite Kondensator jeder mehrere Anschlüsse umfassen, die voneinander getrennt sind und die mit einem oder mehreren der Bonddrähte im ersten oder zweiten Satz Bonddrähte verbunden sind, so dass der erste Satz Bonddrähte vom zweiten Satz Bonddrähte am ersten Kondensator und am zweiten Kondensator elektrisch entkoppelt ist.

21. HF-Leistungstransistor-Package nach einem der Ansprüche 15 bis 20, wobei:  
der erste Satz Bonddrähte an einem ersten Ende mit dem Eingangs-Lead, an einem zweiten Ende mit einem ersten Kondensator und zwischen dem ersten und dem zweiten Ende mit einem zweiten Kondensator verbunden ist; und  
der zweite Satz Bonddrähte an einem ersten Ende mit dem Eingang des HF-Leistungstransistors, an einem zweiten Ende mit einem dritten Kondensator und zwischen dem ersten und dem zweiten Ende mit einem vierten Kondensator verbunden ist.

22. HF-Leistungstransistor-Package nach einem der Ansprüche 13 bis 21, wobei der zweite Satz Bonddrähte an einem ersten Ende mit dem Gate des HF-Leistungstransistors und an einem zweiten Ende mit einem Kondensator verbunden ist, wobei mehrere Bonddrähte den Gleichstrom-Einspeiseanschluss mit dem Kondensator verbinden.

Es folgen 12 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG 1

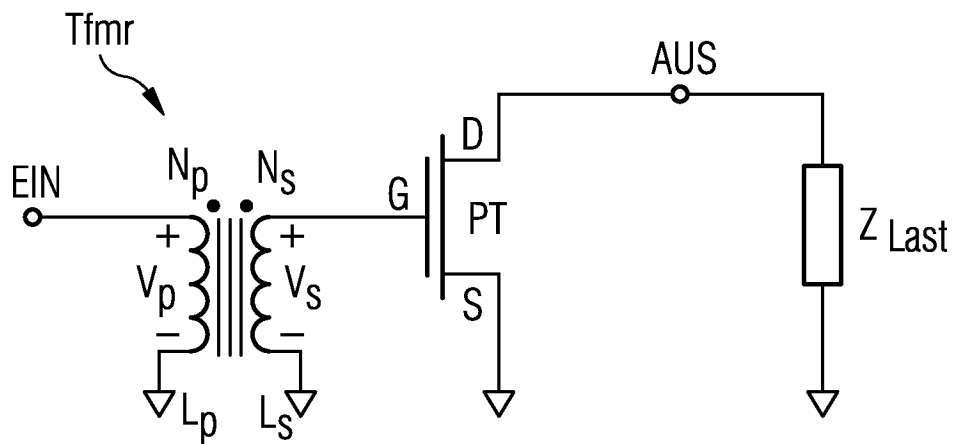


FIG 2

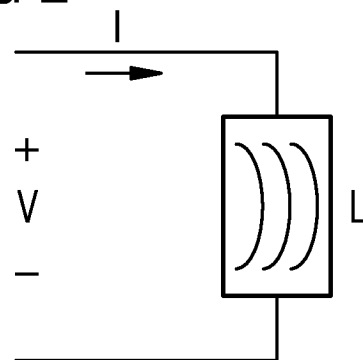


FIG 3

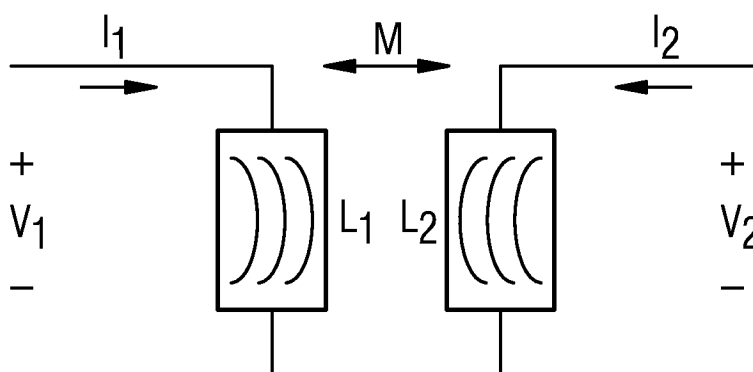


FIG 4A

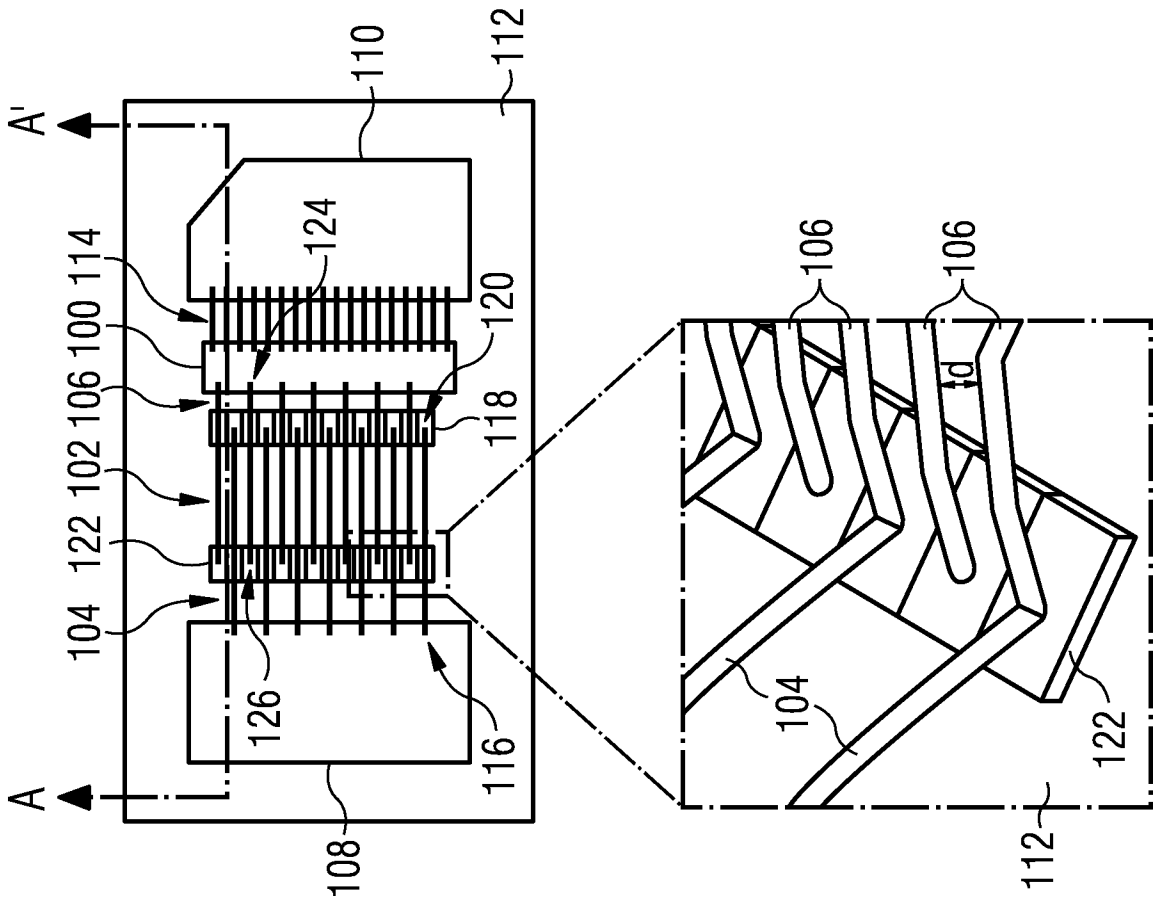


FIG 4B

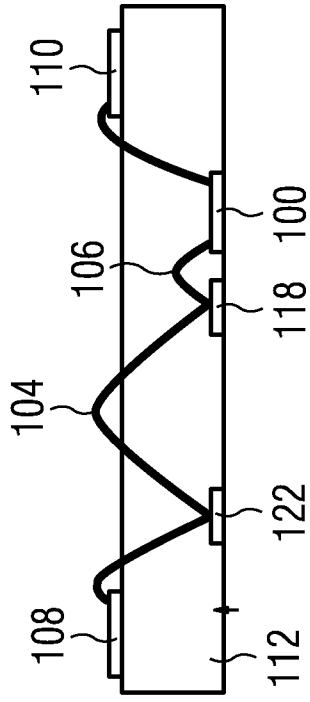
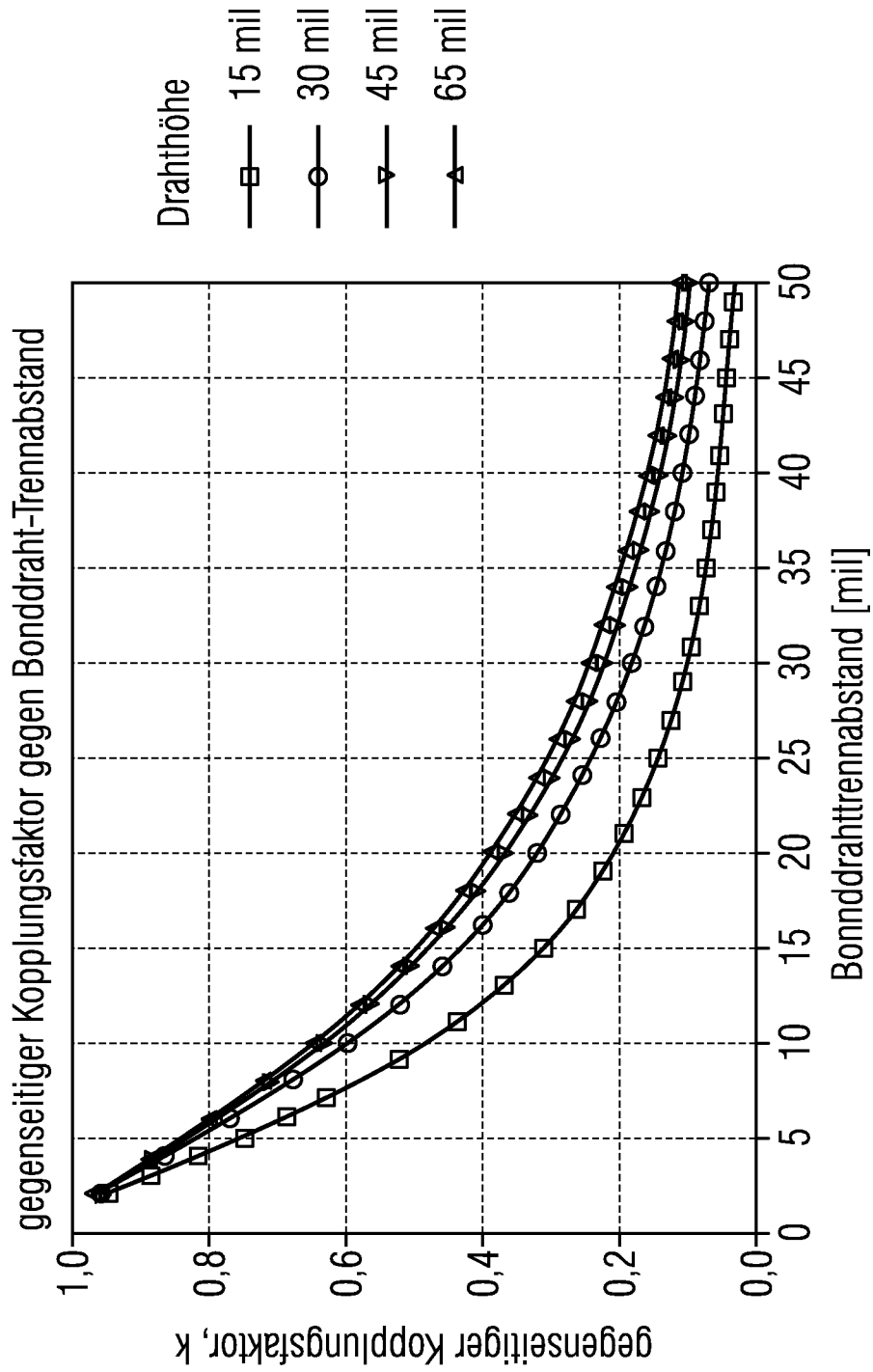




FIG 5



**FIG 6**

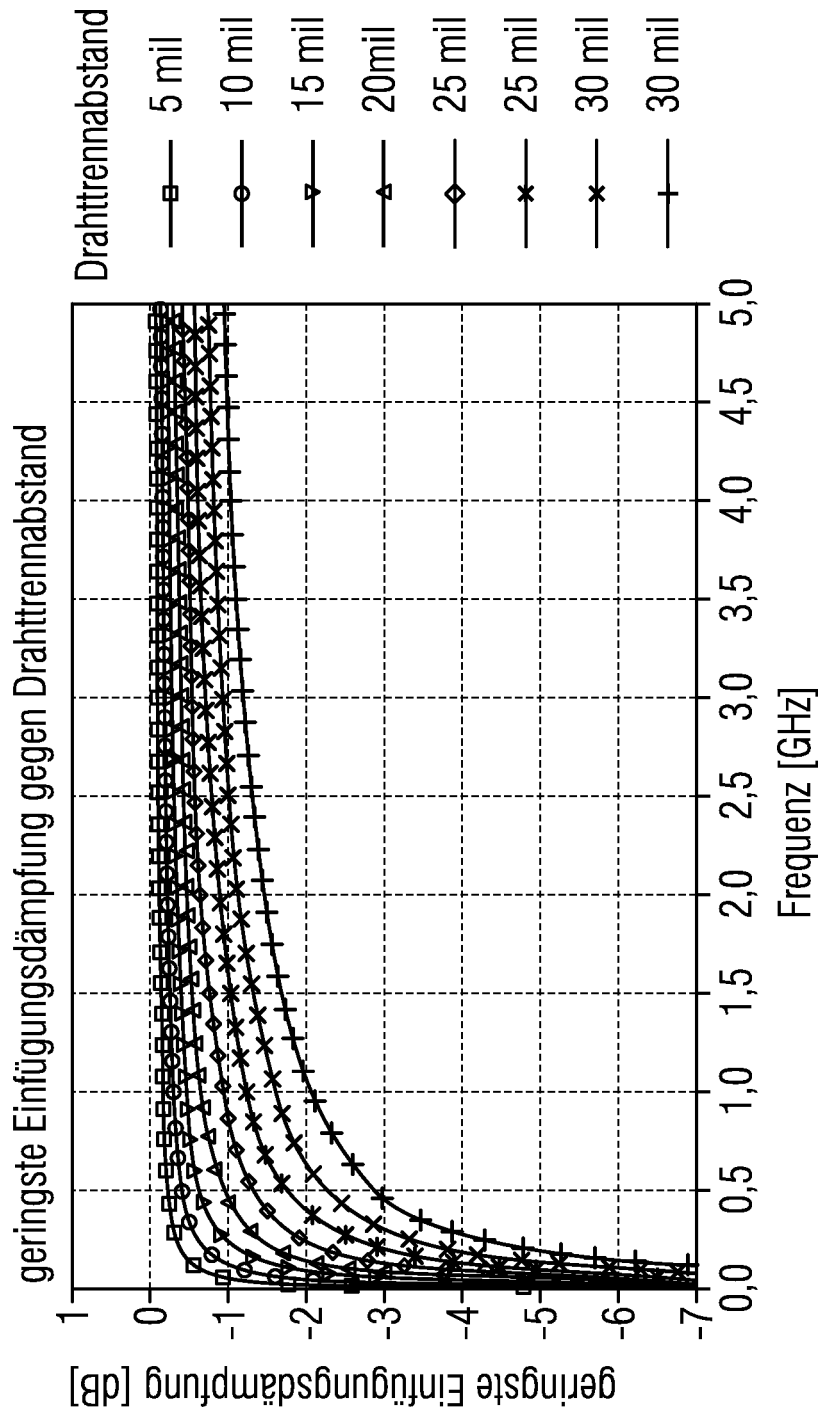


FIG 7B

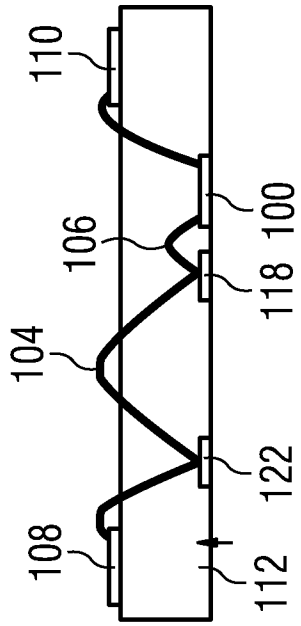


FIG 7A

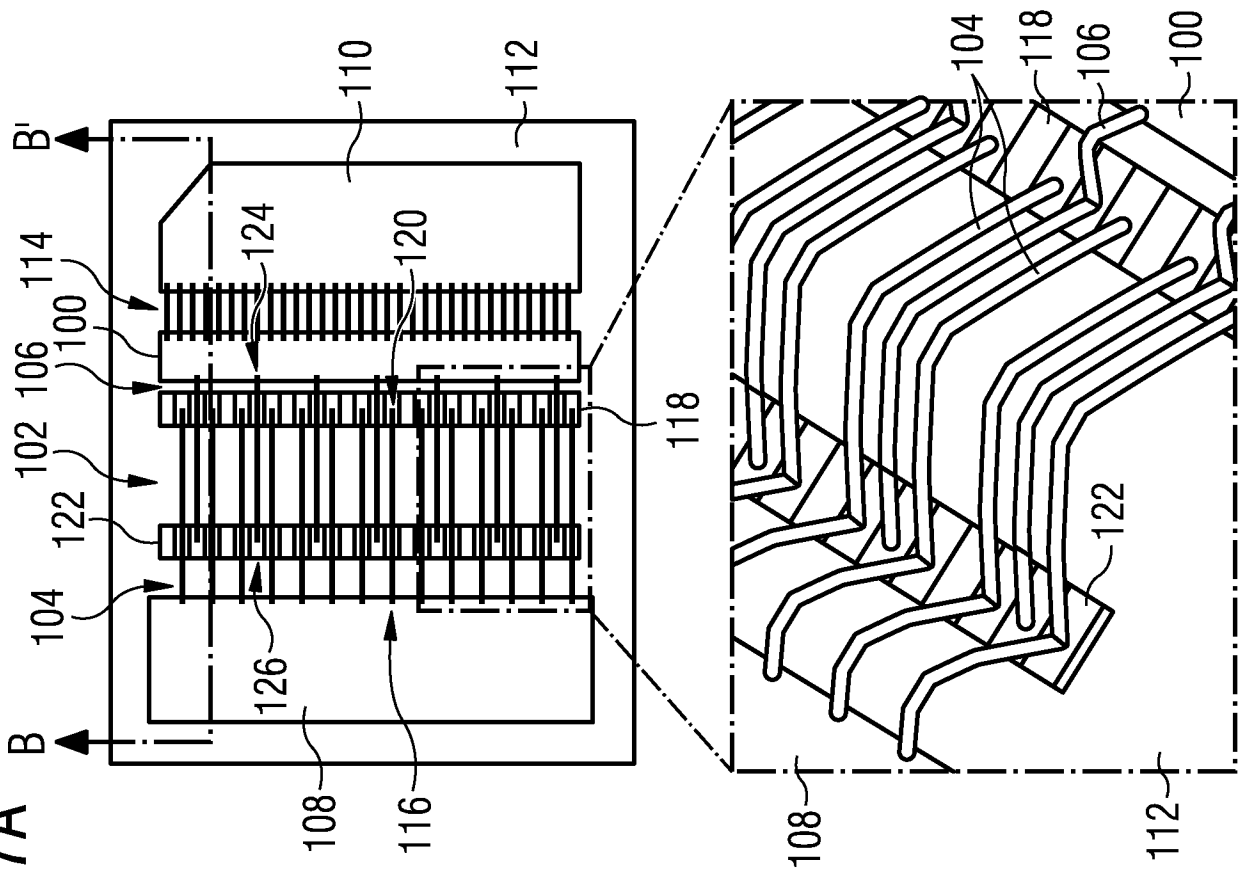


FIG 8A

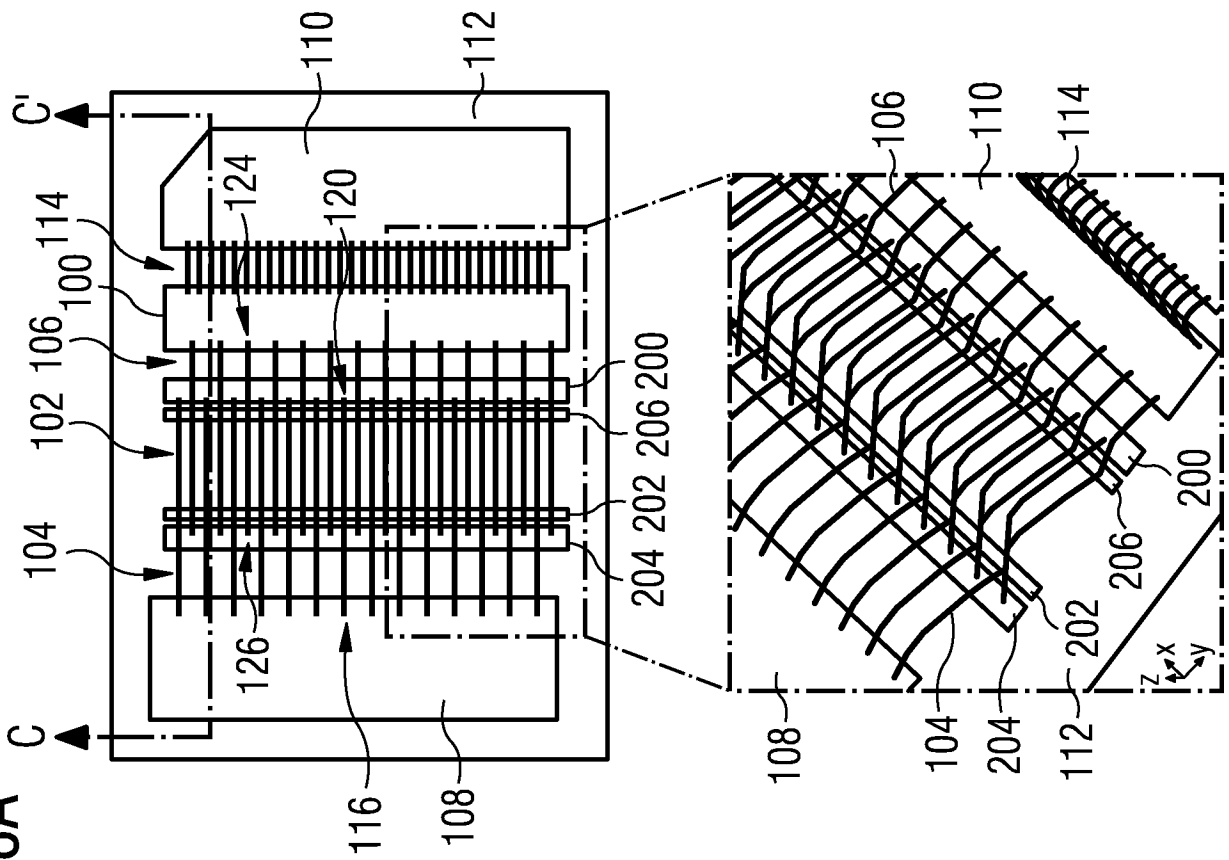


FIG 8B

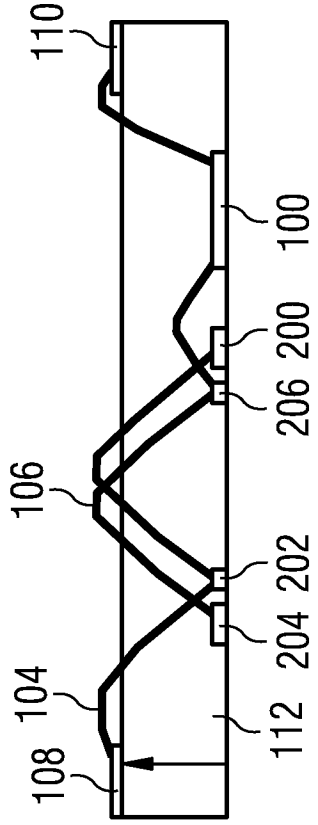




FIG 10

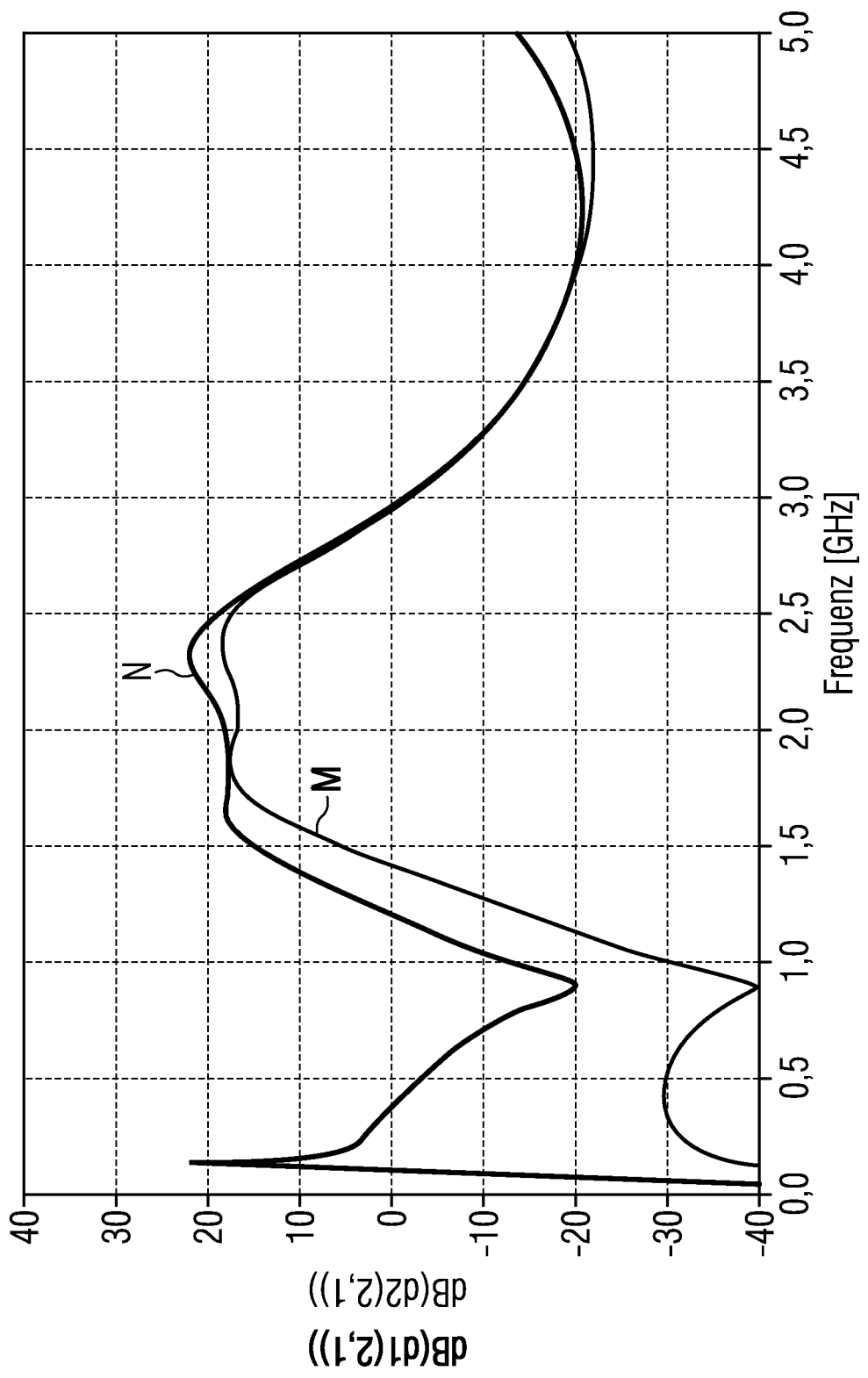


FIG 11

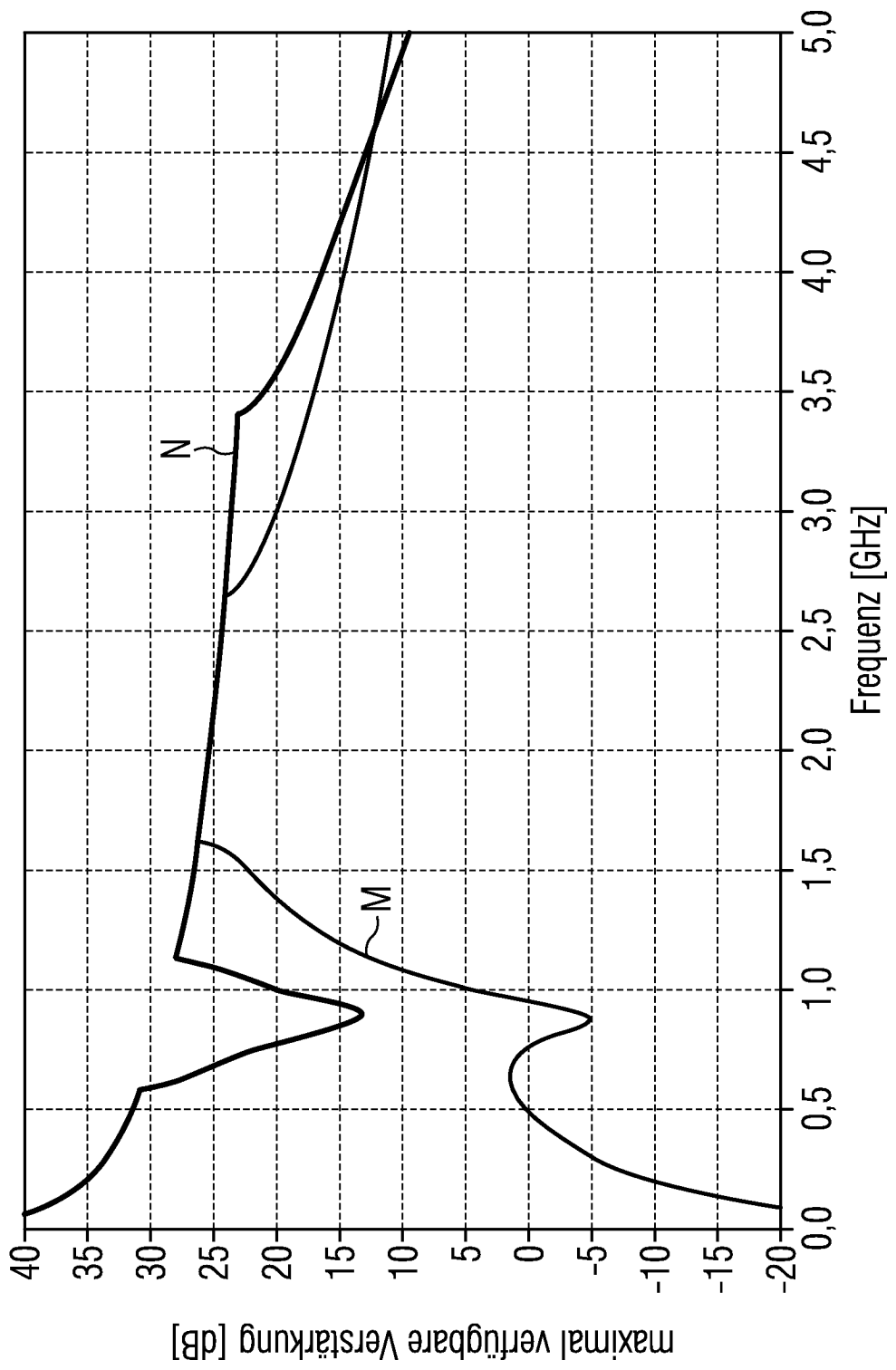


FIG 12

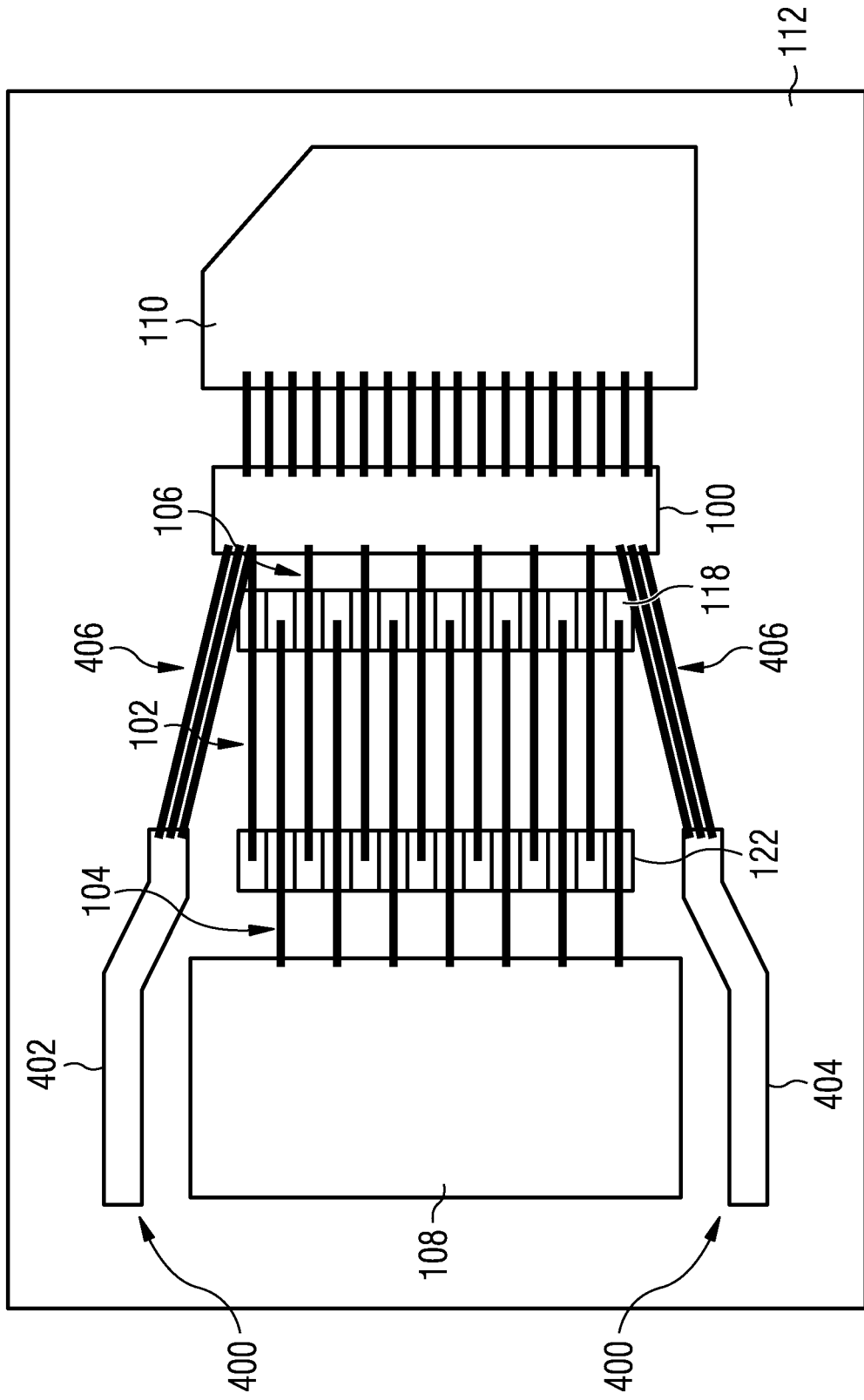




FIG 13

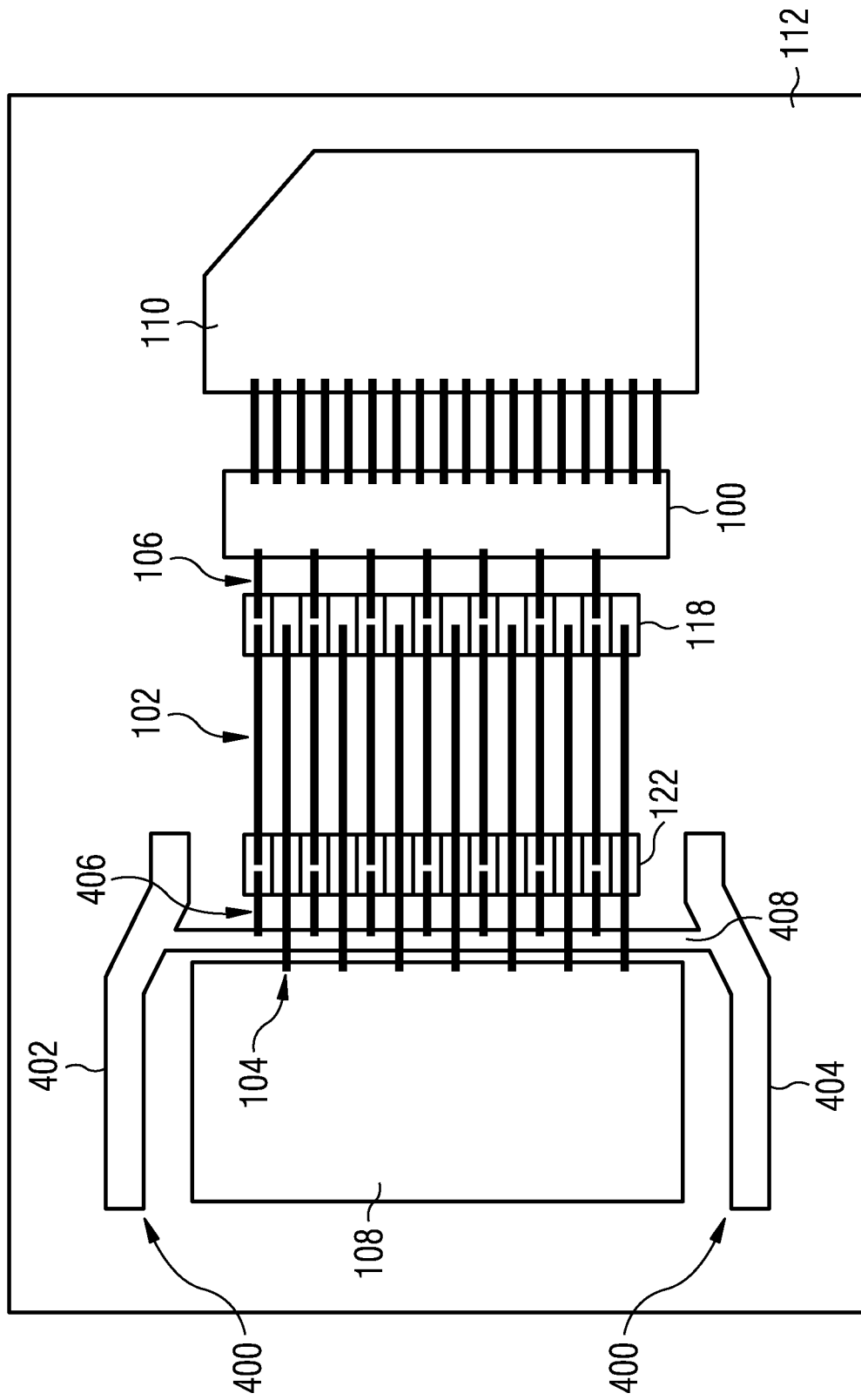


FIG 14

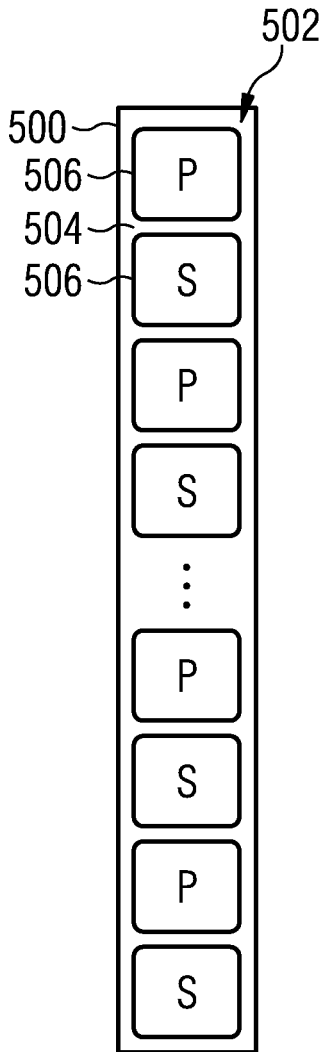


FIG 15

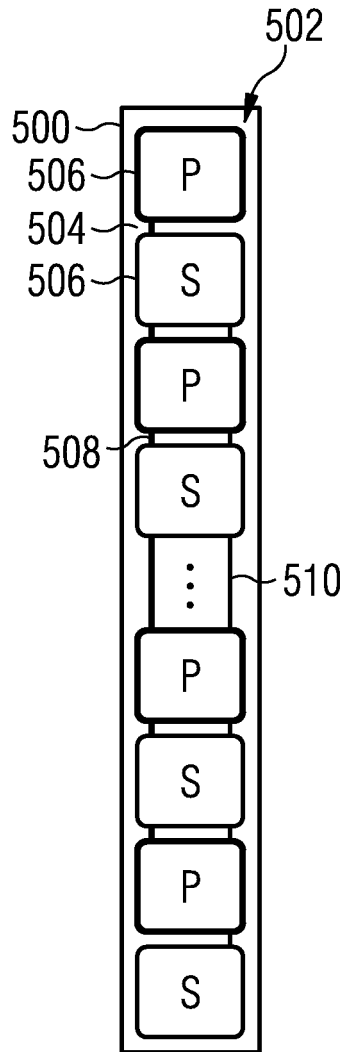


FIG 16

