

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Hochfrequenz-Leistungstransistor und im Speziellen betrifft die Erfindung die Trennung von Hochfrequenz- und Gleichstrom- bzw. Niederfrequenz-Masse innerhalb des Leistungstransistorgehäuses. Der Betrieb eines Hochfrequenz- (HF) Leistungstransistors mit potentialfreier Masse wird durch Einfügen eines HF-Bypasskondensators in das Transistorgehäuse ermöglicht. Durch den Kondensator wird eine Trennung der HF-Masse von der DC- (engl. direct current, dt. Gleichstrom) und Niederfrequenz- (NF) Masse erzeugt. Indem der HF-Bypasskondensator im Gehäuse und so nah wie möglich am Transistor platziert wird, kann die Induktivität des HF-Pfades zwischen dem Sourcekontakt des Transistors und der Systemmasse reduziert werden. Dadurch werden die Effizienz, die DC- & NF- / HF-Isolation und somit auch die NF-Bandbreite sowie die Stabilität verbessert. Ein separater DC- & NF-Anschluss am Gehäuse ermöglicht den potentialfreien Betrieb bei einer großen NF-Bandbreite (engl. video bandwidth), wobei die erreichbare Bandbreite von etwa 10 MHz auf mehrere hundert MHz erhöht wird.

Technologischer Hintergrund der Erfindung

[0002] Hochfrequenz (HF)-Leistungsverstärker sind bekanntlich Schlüsselkomponenten in drahtlosen Kommunikationssystemen. Sie verstärken HF-Signale auf Leistungsniveaus, die für die Übertragung über eine bestimmte Entfernung erforderlich sind. Um die Datenübertragung mit hohen Datenraten oder großer Bandbreite zu ermöglichen, werden komplexe Modulationsschemata auf das HF-Signal angewendet, die zu einer variierenden Signalleistung führen.

[0003] In Anbetracht der Tatsache, dass Energieverbrauch und Energieeinsparung kritische Aspekte bei HF-Leistungsverstärkern sind, ist es wichtig, HF-Leistungsverstärker in einem energieeffizienten Modus zu betreiben. Bei linearen HF-Leistungsverstärkern ist der Wirkungsgrad im Bereich der maximalen Ausgangsleistung am höchsten und nimmt mit reduzierter Ausgangsleistung, d.h. bei Power Backoff, ab.

[0004] Ein Ansatz zur Erhöhung der HF-Leistungsverstärker-Effizienz bei Power Backoff ist das Hüllkurvenverfolgungsverfahren (englisch: envelope tracking technique, ET-technique), bei der die Versorgungsspannung des HF-Leistungsverstärkers entsprechend der momentanen Leistung des modulierten HF-Signals angepasst wird. Das ET-Verfahren reduziert somit die Leistungsaufnahme und damit die Verlustleistung eines HF-Leistungsverstärkers.

[0005] Die extreme Bandbreite moderner Kommunikationssignale erfordert einen sehr schnellen Hüllkurvenverstärker, d.h. einen Gleichspannungswandler, der den HF-Leistungsverstärker mit einer Spannung versorgen kann, die der momentanen Leistungsänderung im HF-Signal entspricht. Alle solchen schnellen Gleichspannungswandler beinhalten eine Art Schaltstufe.

[0006] In der einfachsten Form kann der Gleichspannungswandler ein Abwärtswandler sein, der die Last speist, welche für ein ET-System, das ein ET-Verfahren verwendet, der HF-Leistungsverstärker ist. In dieser Topologie ist der HF-Leistungsverstärker mit der Masse verbunden, was bedeutet, dass der Abwärtswandler in Richtung der ET-System-Versorgungsspannung arbeitet, wobei der HF-Leistungsverstärker vom potentialfreien Abwärtswandler-Ausgang versorgt wird. Dazu ist entweder ein p-Kanal Feldeffekttransistor oder ein n-Kanal Feldeffekttransistor mit isoliertem Gate-Schalttreiber erforderlich.

[0007] Neuartige ultraschnelle Verbindungshalbleiter eignen sich aufgrund ihrer geringen parasitären Kapazitäten sehr gut für Schaltanwendungen, aber nur n-Typ-Material ist mit hoher Leistung und Schaltgeschwindigkeit verfügbar. Eine vielversprechende Topologie in Bezug auf Schaltfrequenz und Belastbarkeit ist ein Abwärtswandler mit einem solchen n-Kanal-Feldeffekttransistor. Der vorgenannte isolierte Gate-Schalttreiber ist jedoch kompliziert zu implementieren und führt zu einer parasitären Kapazität, die das Schaltverhalten beeinflusst und einen großen Einfluss auf die gesamten ET-Systemeigenschaften hat.

[0008] Um dies zu verhindern, wird in WO 2014/170710 A1 ein Hüllkurvenverfolgungssystem mit einem umgekehrten Abwärtswandler vorgeschlagen. Die vorgeschlagene Topologie ist ungewöhnlich in dem Sinne, dass die Versorgungsspannung des HF-Leistungsverstärkers modifiziert wird, indem das Niederfrequenz (NF)-Source-Potential des HF-Leistungsverstärker-Transistors variiert wird, während Systemmasse und HF-Masse gemeinsam gehalten werden. Der HF-Leistungsverstärker ist somit gegenüber der Gleichspannungseinspeisung, oder in diesem Fall dem NF-Source-Potential, potentialfrei. In einem solchen ET-System unter Verwendung eines umgekehrten Abwärtswandlers bildet der HF-Leistungsverstärker die Last des Abwärtswandlers, wird aber aus dem Spannungsabfall zwischen der Versorgungsspannung des ET-Systems und dem Ausgang des Abwärtswandlers mit potentialfreier Masse versorgt.

[0009] HF-Leistungstransistoren, die 10 W oder mehr Leistung liefern und die Kernelemente solcher Leistungsverstärker darstellen, werden typischer-

weise, wie in den **Fig. 1A**, **Fig. 1 B** und **Fig. 1C** dargestellt, als separate, in jeweils ein Gehäuse eingebaute elektrische Bauelemente verwendet. Das in **Fig. 1A** und **Fig. 1C** gezeigte HF-Leistungstransistorgehäuse umfasst einen Flansch mit hoher elektrischer und thermischer Leitfähigkeit, einen darauf angebrachten elektrisch isolierenden Rahmen, der die wiederum darauf angebrachten zwei elektrischen Anschlüsse von dem Flansch isoliert, sowie einen elektrisch isolierenden Deckel, der den Inhalt des Gehäuses schützt. Der im Gehäuse enthaltene Transistor wird (zusammen mit weiteren benötigten Bauelementen) auf dem Flansch innerhalb des elektrisch isolierenden Rahmens platziert. Bei dem in **Fig. 1C** gezeigten gehäuseten (d.h. von einem Gehäuse umgebenen) Transistor, welcher entweder ein Feldeffekt- (FET) oder Bipolar- (BJT) Transistor sein kann, werden Bonddrähte verwendet um den Eingangsanschluss mit dem Gatekontakt des FETs (oder dem Basiskontakt eines BJT), den Drainkontakt des FETs (oder den Emitterkontakt eines BJT) mit dem Ausgangsanschluss sowie den Sourcekontakt des FETs (oder den Kollektorkontakt eines BJT) mit der Systemmasse zu verbinden. Da es sich bei dem dargestellten Transistorchip um einen Transistor ohne Vias (Durchkontaktierungen) handelt, werden elektrisch leitfähige Bondstützpunkte nahe am Transistor platziert, die über den Flansch des Leistungstransistorgehäuses direkt mit der Systemmasse verbunden sind. Der gehäusete Transistor aus **Fig. 1A**, **Fig. 1B** und **1C** kann zusätzlich, wie in **Abb. 1D** gezeigt, ein Eingangsnetzwerk, das den Eingangsanschluss mit dem Gatekontakt des FETs (oder dem Basiskontakt eines BJT) verbindet, und/oder ein Ausgangsnetzwerk, das den Drainkontakt des FETs (oder den Emitterkontakt eines BJT) mit dem Ausgangsanschluss verbindet, enthalten. Weitere gewöhnliche Leistungstransistoren sind in US 6 593 797 B1, US 6 734 728 B1, US 2018/0 262 170 A1 und US 5 841 184 A offenbart. Der gehäusete Transistor wird typischerweise, wie in **Fig. 2A** gezeigt, mit einer Platine verbunden. Auf dieser Platine befinden sich auch Anpassungsnetzwerke und ein DC- & NF- / HF-Diplexer, die den Ausgangsanschluss des Transistors mit dem HF-Ausgang verbinden. Eine DC- & NF-Spannungsversorgung ist über eine DC- & NF-Versorgungsleitung mit dem beschriebenen Diplexer und somit mit dem Ausgangsnetzwerk und dem Ausgangsanschluss des Transistors verbunden. Diese zweifache Funktion der Schaltung auf der Platine bewirkt die gezielte Impedanzanpassung bei der Trägerfrequenz und stellt zugleich einen Weg für die Zuführung der DC-Versorgungsspannung für den Transistor dar. Außerdem muss die Schaltung die DC- & NF-Versorgung vom HF-Ausgang trennen und ein Einkoppeln des HF-Signals in den Versorgungspfad unterdrücken.

[0010] Für den potentialfreien Betrieb des typischen HF-Leistungstransistors muss die HF-Masse von der DC- & NF-Masse außerhalb des Transistorgehäuses getrennt werden. Dies kann, wie in **Fig. 2B** gezeigt, durch das zusätzliche Einbringen eines DC- & NF- / HF-Diplexers in die Schaltung auf der Platine erreicht werden. Der Masseanschluss des Transistors, sprich der Flansch, wird dann über ein HF-Bypassnetzwerk mit der Systemmasse und über ein DC- & NF-Tiefpassnetzwerk mit dem potentialfreien DC- & NF-Anschluss verbunden. Das Gate des Transistors muss für den potentialfreien Betrieb über eine galvanisch getrennte Spannungsversorgung angesteuert werden.

[0011] Der Abstand zwischen dem Transistor und den für die Massentrennung relevanten Schaltungsteilen ist ein Nachteil dieser Realisierungsmöglichkeit, da durch die zusätzlichen Leitungslängen zusätzliche Induktivitäten und elektrische Verzögerungen erzeugt werden. Zusammen mit den Kondensatoren, die für den HF-Bypass auf der Platine benötigt werden, wird somit die NF-Bandbreite begrenzt.

[0012] Alternativ kann der potentialfreie Betrieb eines bloßen HF-Leistungstransistors ohne Vias und ohne Gehäuse mit einem Hybridbau realisiert werden, bei dem die Massentrennung zwischen HF bzw. DC & NF durch einen unmittelbar neben dem Transistorchip auf dem Flansch platzierten bondbaren Bypasskondensator erzeugt wird, dessen obere Elektrode durch Bonddrähte mit dem Sourcekontakt des Transistors verbunden ist und dessen untere Elektrode direkt mit dem Flansch kontaktiert ist. Weiterhin ist der Sourcekontakt des Transistors durch Bonddrähte mit dem DC- & NF-Tiefpassnetzwerk und der zugehörigen potentialfreien Masse auf der umgebenden Platine verbunden. Die Gate- und Drainkontakte des Transistors sind ebenfalls durch Bonddrähte mit den Eingangs- und Ausgangsnetzwerken auf der umgebenden Platine verbunden, was dem Bonden zu den Ein- und Ausgangsanschlüssen in einem typischen HF-Leistungstransistorgehäuse entspricht.

[0013] Problematisch bei den bekannten Lösungen ist das Folgende:

- (1) Es gibt keine genau definierte Schnittstelle zwischen dem potentialfreien Transistor und den umgebenden Netzwerken. Dies bedeutet das:
 - a. Eine korrekte Charakterisierung der Leistung und Stabilität des potentialfreien Transistors zusammen mit dem bondbaren Kondensator ist nicht möglich.
 - b. Es kann für Simulationen kein HF-Modell außer für die einzelnen Zellen des Transistors extrahiert werden.

c. Die Vorhersagbarkeit des HF-Leistungsverstärker-Verhaltens und damit des gesamten ET-Systems ist nicht gut.

(2) Der mechanische Aufbau einer Schaltung mit bloßem Transistorchip und bondbarem Kondensator ist sehr kompliziert und die aufgebaute Schaltung ist nicht vor mechanischen Beschädigungen geschützt. Dies bedeutet das:

a. Aus mechanischer Sicht sind einfache und schnelle Konstruktionen nicht möglich.

b. Der HF-Leistungsverstärker mit gebondetem Transistorchip und Kondensator ist anfällig für mechanische Beschädigungen. Gleichzeitig ist es schwierig, im Falle eines mechanischen oder elektrischen Transistorschadens eine Reparatur durchzuführen und nur wenige Reparaturen sind überhaupt möglich.

Zusammenfassung der Erfindung

[0014] Die Aufgabe besteht darin, einen Hochfrequenz-Leistungstransistor bereitzustellen, der zumindest einen Teil der oben genannten Nachteile überwindet.

[0015] Erfindungsgemäß wird ein Hochfrequenz-Leistungstransistor vorgestellt, umfassend:

- einen Transistor,
- mindestens einen Kondensator,
- ein Gehäuse, das den Transistor und den Kondensator zumindest teilweise umgibt, wobei ein erster Anschluss für einen Hochfrequenz-Eingang und eine Gate-Gleichspannungsversorgung an einem Gatekontakt des Transistors angeschlossen ist,

dadurch gekennzeichnet, dass ein zweiter Anschluss an einem Drainkontakt des Transistors für einen Hochfrequenz-Ausgang und Drain-Gleichspannungsversorgung angeschlossen ist, und wobei an einem Sourcekontakt des Transistors ein dritter Anschluss und ein vierter Anschluss angeschlossen sind, und wobei alle Anschlüsse, sprich der erste, zweite, dritte und vierte Anschluss, aus dem Gehäuse herausführen, und wobei der dritte Anschluss über den Kondensator an den Sourcekontakt angeschlossen ist und der vierte Anschluss über mindestens ein induktives Element an den Sourcekontakt angeschlossen ist, sodass der dritte Anschluss eine Hochfrequenz-Masse bereitstellt und der vierte Anschluss eine potentialfreie DC- & NF- Masse und Sourceversorgung bereitstellt und wobei das induktive Element einen Bonddraht oder mehrere parallel geschaltete Bonddrähte umfasst.

[0016] Unter Niederfrequenz (NF) wird normalerweise Langwellen-Strahlung mit 30 kHz bis 300 kHz verstanden. Hier ist NF als eine generelle Bezeichnung umfassend Strahlung mit der Modulationsfrequenz (MF) oder im Basisband im Frequenzbereich DC (0 Hz) bis mehrere hundert Megahertz, noch bevorzugter bis 400 MHz, zu verstehen. Unter Hochfrequenz (HF) wird normalerweise Kurzwellen-Strahlung mit 3 MHz bis 30 MHz verstanden. Hier ist HF als eine generelle Bezeichnung umfassend Strahlung im Bereich 500 MHz bis mehrere GHz zu verstehen, noch bevorzugter bis 5 GHz und noch bevorzugter bis 10 GHz. Die obere NF-Grenze ist von der HF-Trägerfrequenz abhängig und kann mit der vorgeschlagenen Lösung bis zu 20% der HF-Trägerfrequenz erreichen, und kann noch bevorzugter bis zu 40% der HF Trägerfrequenz erreichen. Wird das beschriebene Verhältnis von NF zu HF berücksichtigt, kann bei einer bevorzugten HF von 10 GHz eine NF von vorzugsweise 4 GHz erreicht werden.

[0017] Vorzugsweise ist der Widerstand zwischen dem Sourcekontakt des Transistors und dem Kondensator kleiner als 1 Ohm, noch bevorzugter kleiner als 0.5 Ohm und noch bevorzugter kleiner als 10 mOhm.

[0018] Vorzugsweise ist die Induktivität zwischen dem Sourcekontakt des Transistors und der Systemmasse kleiner als 0.8 nH, noch bevorzugter kleiner als 0.1 nH und noch bevorzugter kleiner als 10 pH.

[0019] Vorzugsweise ist eine potentialfreie Masse eine geräteinterne Masse ohne einen Bezug zur Erde.

[0020] Unter galvanischer Trennung (auch galvanische Entkopplung) wird vorzugsweise das Vermeiden der elektrischen Leitung zwischen zwei Stromkreisen, zwischen denen Leistung oder Signale ausgetauscht werden sollen, verstanden. Die elektrische Leitung wird dabei durch elektrisch nicht leitfähige Kopplungsglieder aufgetrennt. Bei galvanischer Trennung sind die elektrischen Potentiale voneinander getrennt und die Stromkreise sind dann untereinander potentialfrei.

[0021] Vorzugsweise wird unter Bypassnetzwerk ein oder mehrere Bypass-Kondensatoren verstanden. Ein Bypass-Kondensator wird auch Ableitungskondensator, Kurzschlusskondensator oder Überbrückungskondensator genannt. Allgemein handelt es sich um einen Kondensator, der für bestimmte Signale oder Störsignale eine Umgehungs- oder Ableitungsstrecke schaffen soll.

[0022] Bei einem Diplexer ist vorzugsweise eine elektrisch passive Baugruppe im Bereich der Hochfrequenztechnik mit drei Toren gemeint, die dazu dient, eine geführte elektromagnetische Welle in

Abhängigkeit von der Frequenz zwischen zwei Toren zu trennen oder in umgekehrter Betriebsrichtung auf ein Tor zusammenzufügen. Der Diplexer stellt eine spezielle Bauform einer Frequenzweiche dar.

[0023] Unter Tiefpassnetzwerk wird vorzugsweise ein oder mehrere Tiefpass-Filter verstanden. Ein Tiefpass-Filter ist ein Filter, der nur Frequenzen bis zu einer gewissen Höhe durchlässt. Darüber wird er zum Blockungsfilter.

[0024] Vorzugsweise werden unter Anpassungsnetzwerk eine Schaltung zur Anpassung der Impedanz zwischen einer Quelle für hochfrequente Signale und einem Verbraucher verstanden. Dadurch wird die Leistungsübertragung zwischen Quelle und Verbraucher optimiert.

[0025] Eine $\lambda/4$ -Leitung ist vorzugsweise eine Transmissionsleitung zur Führung elektromagnetischer Wellen in Form einer Koplanar- oder Mikrostreifenleitung, deren Länge ein Viertel der Wellenlänge der zu übertragenden elektromagnetischen Welle beträgt und somit eine Transformation eines HF-Kurzschlusses in einen HF-Leerlauf und umgekehrt bewirkt.

[0026] Vorzugsweise umfasst das HF-Leistungstransistorgehäuse einen Flansch mit hoher elektrischer und thermischer Leitfähigkeit, einen darauf angebrachten elektrisch isolierenden Rahmen, der die wiederum darauf angebrachten zwei elektrischen Anschlüsse von dem Flansch isoliert, sowie einen elektrisch isolierenden Deckel, der den Inhalt des Gehäuses schützt.

[0027] Der vorgeschlagene HF-Leistungstransistor weist getrennte Niederfrequenz- und Hochfrequenz-Massen auf, um ein gut vorhersagbares HF-Leistungsverstärker-Design mit potentialfreier Niederfrequenz-Masse zu ermöglichen. Herkömmliche gehäuste HF-Leistungstransistoren haben drei Anschlüsse, d.h. einen für das HF-Eingangssignal und die DC-Gate-Versorgung, einen zweiten für das HF-Ausgangssignal und die DC-Drain-Versorgung oder in einem ET-System auch für die NF-Drain-Versorgung und einen dritten für die gemeinsame Masse.

[0028] Der erfindungsgemäße Leistungstransistor mit potentialfreier Masse verfügt über vier oder mehr Anschlüsse. Die Anschlüsse für das HF-Eingangssignal und die Gleichspannungs-Gate-Versorgung sowie für das HF-Ausgangssignal und die Gleichspannungs-Drain-Versorgung sind die gleichen wie bei herkömmlichen gehäusten HF-Leistungstransistoren.

[0029] Der Unterschied für den erfindungsgemäßen HF-Leistungstransistor besteht darin, dass der

Anschluss für die herkömmliche gemeinsame Masse von HF und DC & NF nun nur noch als HF-Masse dient. Der Anschluss für die potentialfreie DC- & NF-Masse ist durch mindestens einen zusätzlichen Anschluss (zumindest den vierten Anschluss) realisiert. Aus diesem Grund sind mindestens vier aus dem Gehäuse herausführende Anschlüsse erforderlich. Für den erfindungsgemäßen HF-Leistungstransistor mit potentialfreier NF-Masse erfolgt die Trennung der NF- und HF-Massen beispielsweise durch Kopplung des HF-Signals an die Systemmasse über einen Kondensator mit ausreichender Reihenresonanzfrequenz, der vorzugsweise einen HF-Kurzschluss und DC- & NF-Leerlauf bereitstellt. Die Bandbreite des HF-Kurzschlusses ist hauptsächlich abhängig vom Qualitätsfaktor des Kondensators.

[0030] Der Transistor wird zusammen mit einem (bondfähigen) Kondensator oder einer Anzahl von Kondensatoren parallel in das Gehäuse eingebaut. Diese Lösung ist praktikabel, solange das Gehäuse groß genug ist, um sowohl den Transistor als auch den/die Kondensator(en) aufzunehmen, und nicht zu groß, um eine Grenze bspw. für die parasitären Induktivitäten von Verbindungsbonddrähten, welche das induktive Element darstellen, festzulegen. Insbesondere eventuell verwendete Bonddrähte zwischen dem Sourcekontakt des Transistors und dem Kondensator haben einen wesentlichen Einfluss auf den HF-Kurzschluss.

[0031] Der erfindungsgemäße Leistungstransistor ermöglicht:

- (1) - eine separate Charakterisierung und Modellierung des gehäusten, massegetrennten HF-Leistungstransistors an einer festen Schnittstelle, d.h. den mindestens vier aus dem Gehäuse herausführenden Anschlüssen;
- (2) - einfaches und schnelles HF-Leistungsverstärker-Design durch Verwendung des erfindungsgemäßen HF-Leistungstransistors wie ein konventionell gehäuster HF-Leistungstransistor mit nur mindestens einem zusätzlichen Anschluss für die NF-Masse, ohne dass für die Montage besondere Ausrüstung und Wissen erforderlich sind;
- (3) - Schutz vor mechanischen Beschädigungen durch einen Deckel als Teil des Gehäuses;
- (4) - einfache und schnelle Reparatur eines HF-Leistungsverstärkers mit beschädigtem Transistor durch einfachen Austausch des gehäusten beschädigten Transistors mit einem neuen Transistor.

[0032] Das Merkmal „aus dem Gehäuse herausführen“ in Bezug auf die Anschlüsse ist so zu verstehen, dass eine elektrische Verbindung mit einem externen

Anschluss oder einer Masse für den jeweiligen Anschluss der mindestens vier Anschlüsse ermöglicht wird. Der Begriff Transistor allein betrifft im Rahmen dieser Anmeldung lediglich den Transistor als einzelnes Schaltungselement im erfindungsgemäßen Leistungstransistor, wobei letzterer beispielsweise auch den Kondensator und das Gehäuse umfasst. Der Begriff Kondensator ist im Rahmen diese Anmeldung breit ausgelegt und kann auch ein anderes Schaltungselement, das dessen Funktionalität übernimmt, darstellen.

[0033] In einer bevorzugten Ausführungsform umfasst das induktive Element einen Bonddraht oder mehrere parallel geschaltete Bonddrähte. Vorzugsweise umfasst das induktive Element eine Vielzahl von Bonddrähten. Die Länge und Anzahl der Bonddrähte richtet sich nach dem zu überbrückenden Abstand zwischen dem Transistor und den zu verbindenden Elementen oder Anschlüssen und der benötigten Stromtragfähigkeit und kann außerdem entsprechend der gewünschten Induktivität des induktiven Elements variiert werden.

[0034] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist der Kondensator ein Einschichtkondensator. Die DC- & NF- / HF-Frequenztrennung am Sourcekontakt des Transistors wird dann durch mindestens einen, vorzugsweise bondfähigen, Einschichtkondensator mit entsprechender Kapazität und Reihenresonanzfrequenz erreicht. Der Kondensator ist vorzugsweise so nah wie möglich an dem Sourcekontakt des Transistors gebondet, wodurch ein HF-Kurzschluss zur Systemmasse bereitgestellt wird.

[0035] Vorzugsweise umfasst der Hochfrequenz-Leistungstransistor mindestens zwei parallel geschaltete Kondensatoren zwischen dem dritten Anschluss und dem Sourcekontakt.

[0036] Es ist bevorzugt, wenn der Transistor und der Kondensator in einem integrierten Schaltkreis, noch bevorzugter in einem MMIC (engl. monolithic microwave integrated circuit, dt. monolithisch integrierte Mikrowellenschaltung), kombiniert sind. Ein MMIC ist in der Hochfrequenztechnik eine spezielle Klasse von integrierten Schaltkreisen. Dabei werden alle aktiven und passiven Komponenten auf einem Halbleitersubstrat realisiert (Dicke vorzugsweise zwischen 50 µm und 350 µm). Die Miniaturisierung ermöglicht Schaltungen bis in den Bereich der Millimeterwellen. Der Transistor und der Kondensator, über den die Verbindung zur HF-Masse (insb. zur Systemmasse) erfolgt, sind dann beide innerhalb desselben integrierten Schaltkreises (MMIC) realisiert. Der MMIC umfasst also funktionell den Transistor und den Kondensator und ist von dem Gehäuse zumindest teilweise umschlossen. Die Eigenschaften des HF-Kurzschlusses werden durch den MMIC-Aufbau gegeben (der die Funktion des Kondensa-

tors übernimmt bzw. diesen umfasst) und ist daher nicht von der Baugruppe im Gehäuse abhängig. In diesem Fall wird auch ein induktives Element (insbesondere Bonddrähte) verwendet, um den MMIC mit dem vierten Anschluss zu verbinden.

[0037] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist der dritte Anschluss mit mindestens einem elektrisch leitfähigen Flansch, vorzugsweise mit zwei gegenüberliegenden elektrisch leitfähigen Flanschen verbunden. Dadurch wird eine Verbindung mit einer Systemmasse (beispielsweise über einen kontaktierten Wärmetauscher) erleichtert.

[0038] Es ist bevorzugt, wenn der Hochfrequenz-Leistungstransistor einen fünften Anschluss umfasst, der über mindestens ein induktives Element an den Sourcekontakt angeschlossen ist, sodass der dritte Anschluss eine Hochfrequenz-Masse bereitstellt und der vierte Anschluss und der fünfte Anschluss gemeinsam eine potentialfreie Niederfrequenz-Masse und Source-Gleichspannungsversorgung bereitstellen.

[0039] Die oben genannte Aufgabe wird auch durch einen Hochfrequenz-Leistungstransistor nach einer der vorstehenden Ausführungsformen und zwei auf gegenüberliegenden Seiten des Hochfrequenz-Leistungstransistors angeordnete Platinen gelöst.

[0040] Vorzugsweise ist der erste Anschluss an eine Leiterbahn der ersten Platine angeschlossen, wobei der zweite Anschluss, der vierte Anschluss, sowie gegebenenfalls der fünfte Anschluss, an Leiterbahnen der zweiten Platine angeschlossen sind. Die Leiterbahnen der Platine stellen dann die externen Verbindungen für den ersten, zweiten, vierten und ggf. den fünften Anschluss (oder mehr) bereit. Vorzugsweise stellt eine Platine ein Eingangsanpassungsnetzwerk und die zweite ein Ausgangsanpassungsnetzwerk bereit.

[0041] In einer weiteren Ausführungsform umfasst vorzugsweise eine gemeinsame Platine ein Eingangsanpassungsnetzwerk und ein Ausgangsanpassungsnetzwerk.

[0042] Es ist bevorzugt, wenn der dritte Anschluss, über mindestens einen Flansch, an einen Kühlkörper des Hochfrequenz-Leistungstransistors angeschlossen ist, der die Systemmasse für einen Hochfrequenz-Leistungsverstärker definiert. Damit lässt sich sowohl die HF-Masse über die Systemmasse definieren als auch die mechanische und thermische Verbindung des Leistungstransistors an das System bereitstellen.

Figurenliste

[0043] 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 Beschreibung der Ausführungsbeispiele, die im Zusammenhang mit den Zeichnungen näher erläutert werden. Es zeigen:

Fig. 1A eine Draufsicht eines herkömmlichen gehäuseten HF-Leistungstransistors mit Deckel,

Fig. 1B ein Blockschaltbild eines nach dem Stand der Technik bekannten gehäuseten HF-Leistungstransistors,

Fig. 1C eine Draufsicht eines herkömmlichen gehäuseten HF-Leistungstransistors ohne Deckel mit darin enthaltenem Transistorchip, elektrisch leitfähigen Bondstützpunkten und Bonddrähten,

Fig. 1D ein Blockschaltbild eines herkömmlichen gehäuseten HF-Leistungstransistors mit Ein- und Ausgangsanpassungsnetzwerken innerhalb des Gehäuses,

Fig. 2A ein Blockschaltbild des gehäuseten HF-Leistungstransistors aus **Fig. 1B**, verbunden mit einer Platine, die, entsprechend dem Stand der Technik, Anpassungsnetzwerke sowie den DC- & NF- / HF-Diplexer mit angeschlossenem Versorgungsnetzwerk enthält,

Fig. 2B ein Blockschaltbild des gehäuseten HF-Leistungstransistors aus **Fig. 1B**, verbunden mit einer Platine, die, entsprechend dem Stand der Technik, Anpassungsnetzwerke, den DC- & NF- / HF-Diplexer mit angeschlossenem Versorgungsnetzwerk für die Drainversorgung des Transistors sowie weitere für den potentialfreien Betrieb notwendige Schaltungsteile enthält,

Fig. 3A ein Blockschaltbild einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen gehäuseten HF-Leistungstransistors mit internem HF-Bypassnetzwerk zur Systemmasse,

Fig. 3B ein Blockschaltbild einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen gehäuseten HF-Leistungstransistors mit internem HF-Bypassnetzwerk zur Systemmasse sowie integrierten Ein- und Ausgangsanpassungsnetzwerken,

Fig. 4A ein Blockschaltbild einer weiteren erfindungsgemäßen Ausführungsform des gehäuseten HF-Leistungstransistors mit internem HF-Bypassnetzwerk zur Systemmasse und internem DC- & NF-Tiefpassnetzwerk zum DC- & NF-Masseanschluss,

Fig. 4B ein Blockschaltbild einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen gehäuseten HF-Leistungstransistors mit internem HF-Bypassnetzwerk zur Systemmasse und internem DC- & NF-Tiefpassnetzwerk zum DC- & NF-Masseanschluss sowie integrierten Ein- und Ausgangsanpassungsnetzwerken,

Fig. 5A ein physikalisches Ersatzschaltbild einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen HF-Leistungstransistors,

Fig. 5B ein elektrisches Ersatzschaltbild der Ausführungsform des erfindungsgemäßen HF-Leistungstransistors aus **Fig. 5A**,

Fig. 5C ein Realisierungsbeispiel des erfindungsgemäßen gehäuseten HF-Leistungstransistors mit einem DC- & NF-Masseanschluss,

Fig. 5D ein Realisierungsbeispiel des erfindungsgemäßen gehäuseten HF-Leistungstransistors mit zwei DC- & NF-Masseanschlüssen,

Fig. 6A ein physikalisches Ersatzschaltbild einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen HF-Leistungstransistors mit internen Ein- und Ausgangsanpassungsnetzwerken,

Fig. 6B ein elektrisches Ersatzschaltbild der weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen HF-Leistungstransistors mit internen Ein- und Ausgangsanpassungsnetzwerken aus **Fig. 6A**

Fig. 7A ein physikalisches Ersatzschaltbild einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen HF-Leistungstransistors, bei der das HF-Bypassnetzwerk zur Systemmasse auf demselben Chip wie der Transistor realisiert ist,

Fig. 7B ein elektrisches Ersatzschaltbild der weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen HF-Leistungstransistors, bei der das HF-Bypassnetzwerk zur Systemmasse auf demselben Chip wie der Transistor realisiert ist, aus **Fig. 7A**,

Fig. 7C ein Realisierungsbeispiel des erfindungsgemäßen gehäuseten HF-Leistungstransistors mit einem DC- & NF-Masseanschluss,

Fig. 8 eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen HF-Leistungstransistors gemäß **Fig. 5C** mit umgebenden Platinen,

Fig. 8A ein physikalisches Ersatzschaltbild einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen HF-Leistungstransistors mit internen Ein- und Ausgangsanpassungsnetzwerken, bei der das HF-Bypassnetzwerk zur Systemmasse auf demselben Chip wie der Transistor realisiert ist,

Fig. 8B ein elektrisches Ersatzschaltbild der weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen HF-Leistungstransistors mit internen Ein- und Ausgangsanpassungsnetzwerken, bei der das HF-Bypassnetzwerk zur Systemmasse auf demselben Chip wie der Transistor realisiert ist, aus **Fig. 8A**,

Fig. 9A ein physikalisches Ersatzschaltbild einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen HF-Leistungstransistors, bei der das HF-Bypassnetzwerk zur Systemmasse und das DC- & NF-Tiefpassnetzwerk zum DC- & NF-Anschluss auf demselben Chip wie der Transistor realisiert sind,

Fig. 9B ein elektrisches Ersatzschaltbild der weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen HF-Leistungstransistors, bei der das HF-Bypassnetzwerk zur Systemmasse und das DC- & NF-Tiefpassnetzwerk zum DC- & NF-Anschluss auf demselben Chip wie der Transistor realisiert sind, aus **Fig. 9A**,

Fig. 9C ein elektrisches Ersatzschaltbild einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen HF-Leistungstransistors, bei der das HF-Bypassnetzwerk zur Systemmasse und eine kurzgeschlossene $\lambda/4$ -Leitung zum DC- & NF-Anschluss auf demselben Chip wie der Transistor realisiert sind,

Fig. 10 ein Blockschaltbild einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen potentialfreien gehäusten HF-Leistungstransistors aus **Fig. 4A**, verbunden mit einer Platine, die Anpassungsnetzwerke sowie den DC- & NF- / HF-Diplexer für die Drainversorgung des Transistors mit angeschlossenem Versorgungsnetzwerk enthält, sowie einer zusätzlichen externen Schaltung für die galvanisch getrennte Gateversorgung des Transistors, die für den potentialfreien Betrieb notwendig ist.

Detaillierte Beschreibung der Erfindung

[0044] **Fig. 3A** und **Fig. 3B** zeigen Blockschaltbilder zweier erfindungsgemäßer Ausführungsformen des HF-Leistungstransistors 1 mit bzw. ohne Anpassungsnetzwerken 27, 28 und mit HF-Bypassnetzwerk 3.1 zur Systemmasse 26. Funktionsblöcke mit gleichen Bezeichnungen in beiden Figuren gleichen einander. In **Fig. 3A** und **Fig. 3B** ist ein HF-Leistungstransistor 1 in ein Gehäuse 12 montiert. In beiden Figuren ist ein Feldeffekttransistor 2 (FET) dargestellt. Anstelle dessen kann jedoch, wie bereits erwähnt, auch ein Bipolartransistor (BJT) verwendet werden. Außerdem können anstelle nur eines Transistors 2 mehrere Transistoren in dem Gehäuse 12 montiert und parallelgeschaltet werden. Der Gatekontakt 5 des FETs ist dem Stand der Technik entsprechend unmittelbar oder durch das Eingangs-

passungsnetzwerk 27 mit dem Eingangsanschluss 4 verbunden. Ebenso dem Stand der Technik entsprechend ist der Drainkontakt 7 des FETs 2 unmittelbar oder durch das Ausgangsanpassungsnetzwerk 28 mit dem Ausgangsanschluss 6 verbunden. Entgegen dem Stand der Technik ist der Sourcekontakt 8 des FETs 2 nicht direkt mit der Systemmasse 26 verbunden. Anstelle dessen ist er über ein HF-Bypassnetzwerk 3.1 mit der Systemmasse 26, die die HF-Masse 9,26 darstellt, verbunden und über eine zusätzliche Verbindung mit dem DC- & NF-Masseanschluss 10 verbunden. In beiden Ausführungsformen wird das HF-Bypassnetzwerk 3.1 mittels eines nach Systemmasse 26 geschalteten Kondensators 3 realisiert. Die Verbindung mit dem DC- & NF-Masseanschluss 10 wird durch Drahtbonden erreicht. Die Funktionalität des DC- & NF- / HF-Diplexers 30 wird durch ein auf der Platine befindliches DC- & NF-Tiefpassnetzwerk 3.2 vervollständigt. In der Schaltung für potentialfreien Betrieb in **Fig. 2B**, die dem Stand der Technik entspricht, ist das HF-Bypassnetzwerk 3.1 außerhalb des Transistorgehäuses 12 auf der Platine 29 platziert, wodurch ein gewisser Abstand zum eigentlichen Transistor 2 entsteht. Wie bereits erwähnt, erleichtert die HF-Masseverbindung 9,26 innerhalb des Gehäuses 12 den Entwurf eines HF-Leistungstransistors 1 und erhöht die Bandbreite des HF-Bypassnetzwerkes 3.1 und somit auch die Linearität der Transistorschaltung für breitbandige Signale.

[0045] Die Blockdiagramme der **Fig. 4A** und **Fig. 4B** gleichen denen der **Fig. 3A** und **Fig. 3B** bis auf ein zusätzliches DC- und NF-Tiefpassnetzwerk 3.2, welches zwischen dem Sourcekontakt 8 des FETs 2 und dem DC- & NF-Masseanschluss 10, 26.1 eingefügt ist um die HF-Isolation und NF-Bandbreite des Transistors 2 zu verbessern. Die Funktionalität des DC- & NF- / HF-Diplexer 30 ist somit vollständig innerhalb des Transistorgehäuses 12 realisiert.

[0046] **Fig. 5A** und **Fig. 5B** sind physikalische bzw. elektrische Ersatzschaltbilder der in **Fig. 3A** dargestellten Ausführungsform des erfindungsgemäßen HF-Leistungstransistors 1, wobei die elektrischen Verbindungen durch die in **Fig. 5A** gezeigten Bonddrähte 36, 13, 14, 15 hergestellt werden, die ihrerseits wiederum die in **Fig. 5B** gezeigten Induktivitäten 11 bilden. Das in **Fig. 3A** dargestellte HF-Bypassnetzwerk 3.1 wird durch den in 5A und 5B gezeigten Kondensator 3 gebildet, der wiederum einen diskreten, bondbaren ein- oder mehrlagigen Kondensator darstellt. Anstelle eines Kondensators 3 können auch mehrere parallel geschaltete Kondensatoren verwendet werden, die nebeneinander im Gehäuse 12 platziert werden. Die in **Fig. 5A** dargestellte erfindungsgemäße Ausführungsform des HF-Bypassnetzwerkes 3.1 wird durch einen Kurzschlusskondensator 3 nach Systemmasse 26 gebildet, der bei der HF-Trägerfrequenz optimale Eigenschaften besitzt und durch Bonddrähte 15, 11 mit dem Transistor 2

und dem DC- & NF-Masseanschluss 10 verbunden ist. Die Größe der dadurch eingebrachten Induktivitäten 15, 11 trägt zur HF-Isolation und NF-Bandbreite des Diplexers 30 bei. Die kleine Induktivität 15, 11 stellt zusammen mit dem Kurzschlusskondensator 3 einen optimalen HF-Bypass 3.1 zur Systemmasse 26 dar. In einer anderen Ausführungsform des erfindungsgemäßen HF-Leistungstransistors wird, wie in **Fig. 4A** gezeigt, die gesamte Funktionalität des DC- & NF- / HF-Diplexers 30 im Transistorgehäuse 12 untergebracht, wobei das HF-Bypassnetzwerk 3.1 unverändert bleibt, aber eine zusätzliche Induktivität 36, 11 zwischen der oberen Elektrode des Kondensators 3, der mit dem Sourcekontakt 8 verbunden ist, und dem DC- & NF-Masseanschluss 10 in das Gehäuse 12 eingefügt. Diese Induktivität 36, 11 muss die entsprechende Größe aufweisen, um zusammen mit der Induktivität 15, 11 eine gute HF-Isolation und NF-Bandbreite zu realisieren. Diese zusätzliche Induktivität 36, 11 kann erfindungsgemäß entweder durch eine erhöhte Anzahl von Bonddrähten oder das Einfügen einer diskreten Spule erreicht werden.

Fig. 5C zeigt eine erste Ausführungsform des erfindungsgemäßen HF-Leistungstransistors 1. Das gezeigte HF-Leistungstransistorgehäuse 12 ähnelt dem in **Fig. 1A-C** gezeigten und umfasst einen Flansch 16 mit hoher elektrischer und thermischer Leitfähigkeit, einen darauf angebrachten keramischen Rahmen des Gehäuses 12, der die wiederum darauf angebrachten drei elektrischen Anschlüsse 4, 6, 10 von dem Flansch 16 isoliert. Der im Gehäuse 12 enthaltene Transistor 2 wird zusammen mit einem bondbaren, einlagigen Kondensator 3 auf dem Flansch 16 innerhalb des keramischen Rahmens des Gehäuses 12 platziert. Es werden Bonddrähte 13 verwendet um den Eingangsanschluss 4 mit dem Gatekontakt 5 des FETs 2 (oder dem Basiskontakt eines BJTs), den Drainkontakt 7 des FETs 2 (oder Emitterkontakt eines BJTs) mit dem Ausgangsanschluss 6 sowie den Sourcekontakt 8 des FETs 2 (oder Kollektorkontakt eines BJTs) mit der oberen Elektrode des Kondensators 3 und weiter mit dem DC- & NF-Masseanschluss 10 zu verbinden. Bei dem dargestellten Transistorchip handelt es sich um einen Transistor ohne Vias, sodass die Trennung von DC- & NF- / HF-Masse erreicht werden kann. Optional kann ein keramischer Deckel 12.1, wie in **Fig. 1A** gezeigt, verwendet werden um den Inhalt des Gehäuses 12 zu schützen.

Fig. 5D zeigt eine zweite Ausführungsform des erfindungsgemäßen HF-Leistungstransistors 1, die der in **Fig. 5C** ähnelt, mit dem Unterschied, dass anstelle des einen in **Fig. 5C** gezeigten DC- & NF-Masseanschlusses 10 zwei DC- & NF-Masseanschlüsse 10 enthalten sind und folglich auch zusätzliche Bonddrähte 36, die die obere Elektrode des Kondensators 3 mit dem zweiten DC- & NF-Masseanschluss 10 verbinden.

[0047] Fig. 6A und **Fig. 6B** sind physikalische bzw. elektrische Ersatzschaltbilder der in **Fig. 3B** dargestellten Ausführungsform des erfindungsgemäßen HF-Leistungstransistors 1 mit integrierten Anpassungsnetzwerken 27, 28, wobei Bonddrähte 36, 13, 14, 15 als induktive Elemente und diskrete ein- oder mehrlagige Kondensatoren 3 als kapazitive Elemente eingesetzt werden. Die Anpassungsnetzwerke 27, 28 können bezüglich des HF-Leistungstransistors 1 ein- und/oder ausgangsseitig implementiert werden. Das in **Fig. 3B** gezeigte Eingangsanpassungsnetzwerk 27 ist in **Fig. 6A** mit einem diskreten ein- oder mehrlagigen Kurzschlusskondensator 3 realisiert, welcher durch Drahtbonden sowohl mit dem Eingangsanschluss 4 als auch mit dem Gatekontakt 5 des Transistors 2 verbunden ist. Anstelle eines Kondensators 3 können auch mehrere parallel geschaltete Kondensatoren 3 verwendet werden. Das in **Fig. 6A** gezeigte Eingangsanpassungsnetzwerk 27 kann um weitere Stufen in Form induktiver und/oder kapazitiver Elemente erweitert werden. Das in **Fig. 3B** gezeigte Ausgangsanpassungsnetzwerk 28 ist in

Fig. 6A mit einem diskreten ein- oder mehrlagigen Kurzschlusskondensator 3 realisiert, welcher durch Drahtbonden sowohl mit dem Drainkontakt 7 des Transistors 2 als auch mit dem Ausgangsanschluss 6 verbunden ist. Anstelle eines Kondensators 3 können auch mehrere parallel geschaltete Kondensatoren 3 verwendet werden. Das in **Fig. 6A** gezeigte Ausgangsanpassungsnetzwerk 28 kann um weitere Stufen in Form induktiver und/oder kapazitiver Elemente erweitert werden. Das in **Fig. 3B** gezeigte HF-Bypassnetzwerk 3.1 ist in **Fig. 6A** mit einem ein- oder mehrlagigen Kondensator 3 realisiert, der bei der HF-Trägerfrequenz optimale Eigenschaften besitzt. Die obere Elektrode des Kondensators 3 ist durch Bonddrähte 15 mit dem Sourcekontakt 8 des Transistors 2 verbunden. Die untere Elektrode des Kondensators 3 ist direkt mit dem Flansch 16 des Transistorgehäuses 12 verbunden, welcher die System- bzw.

HF-Masse 9,26 darstellt. In einer typischen Ausführungsform stellen die Induktivitäten 36 und 15 die Induktivitäten der für die elektrischen Verbindungen verwendeten Bonddrähte 36, 15 dar. Zugleich trägt deren Größe zur HF-Isolation und NF-Bandbreite des Diplexers 30 bei. Die kleine Induktivität 15 stellt zusammen mit dem Kurzschlusskondensator 3 einen optimalen HF-Bypass 3.1 zur Systemmasse 26 dar. In einer anderen Ausführungsform des erfindungsgemäßen HF-Leistungstransistors wird, wie in **Fig. 4B** gezeigt, die gesamte Funktionalität des DC- & NF- / HF-Diplexers 30 im Transistorgehäuse 12 untergebracht, wobei das HF-Bypassnetzwerk 3.1 unverändert bleibt, aber eine zusätzliche Induktivität 36, 11 zwischen der oberen Elektrode des Kondensators 2, der mit dem Sourcekontakt 8 verbunden ist, und dem DC- & NF-Masseanschluss 10 in das Gehäuse 12 eingefügt wird. Diese Induktivität 36, 11 muss die

entsprechende Größe aufweisen, um zusammen mit der Induktivität 15, 11 eine gute HF-Isolation und NF-Bandbreite zu realisieren. Diese zusätzliche Induktivität 36, 11 kann erfindungsgemäß entweder durch eine erhöhte Anzahl von Bonddrähten oder das Einfügen einer diskreten Spule erreicht werden.

[0048] **Fig. 7A** und **Fig. 7B** sind physikalische bzw. elektrische Ersatzschaltbilder einer weiteren auf **Fig. 3A** basierenden Ausführungsform des erfindungsgemäßen HF-Leistungstransistors 1, die den **Fig. 5A** und **Fig. 5B** ähneln, bei denen aber der HF-Bypasskondensator 3.1 als Metall-Isolator-Metall- (MIM) Kondensator 3 auf demselben Chip 18 wie der Transistor 2 realisiert ist. Dadurch wird der induktive Anteil des HF-Bypassnetzwerkes 3.1 minimiert und die HF-Isolation und NF-Bandbreite weiter verbessert.

Fig. 7C zeigt eine dritte Ausführungsform des erfindungsgemäßen HF-Leistungstransistors 1 gemäß **Fig. 7A** und **Fig. 7B**, die der in **Fig. 5C** ähnelt, mit dem Unterschied, dass anstelle des Transistorchips mit separatem Kondensator 3 ein Transistorchip mit integriertem MIM-Kondensator gemäß **Fig. 7A** und **Fig. 7B** im Gehäuse 12 platziert wird. Die Anzahl der benötigten Bonddrähte ist somit gegenüber **Fig. 5C** reduziert.

[0049] **Fig. 8** zeigt eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen HF-Leistungstransistors 1 gemäß der Ausführungsform der **Fig. 5C** und zwei auf gegenüberliegenden Seiten des Hochfrequenz-Leistungstransistors 1 angeordnete Platine 20, 21. Der erste Anschluss 4 ist an eine Leiterbahn 22 der ersten Platine 20 angeschlossen. Der zweite Anschluss 6 und der vierte Anschluss 10 (sowie gegebenenfalls der fünfte Anschluss 17, hier nicht gezeigt) sind an entsprechende Leiterbahnen 23, 24 der zweiten Platine 21 angeschlossen. Die Leiterbahnen 22, 23, 24 der Platinen 20, 21 stellen die externen Verbindungen für den ersten, zweiten, vierten und ggf. den fünften (oder weitere) Anschluss 4, 6, 10, 17 bereit.

[0050] Der dritte Anschluss 9 ist über mindestens einen Flansch 16 an einen Kühlkörper 25 des Hochfrequenz-Leistungstransistors 1 angeschlossen, der die Systemmasse für den Hochfrequenz-Leistungstransistor definiert.

[0051] Der Leistungstransistor 1 ist hier am Beispiel des Leistungstransistors 1 der **Fig. 5C** dargestellt, aber dem Fachmann sind entsprechende Ausführungsformen für die Leistungstransistoren 1 der **Fig. 5D** und **Fig. 7C** ohne weiteres ersichtlich.

[0052] **Fig. 8A** und **Fig. 8B** sind physikalische und elektrische Ersatzschaltbilder einer anderen durch **Fig. 3B** dargestellten Ausführungsform des erfindungsgemäßen HF-Leistungstransistors 1, die den

Fig. 6A und **Fig. 6B** ähneln, bei denen aber der HF-Bypasskondensator 3 als Metall-Isolator-Metall-(MIM) Kondensator auf demselben Chip 18 wie der Transistor 2 realisiert ist. Dadurch wird der induktive Anteil des HF-Bypassnetzwerkes 3.1 minimiert und die HF-Isolation und NF-Bandbreite weiter verbessert.

[0053] Das in **Fig. 3B** gezeigte Eingangsanpassungsnetzwerk 27 ist in **Fig. 8A** mit einem diskreten ein- oder mehrlagigen Kurzschlusskondensator 3 realisiert, welcher durch Drahtbonden sowohl mit dem Eingangsanschluss 4 als auch mit dem Gatekontakt 5 des Transistors 2 verbunden ist. Anstelle eines Kondensators 3 können auch mehrere parallel geschaltete Kondensatoren verwendet werden. Das in **Fig. 8A** gezeigte Eingangsanpassungsnetzwerk 27 kann um weitere Stufen in Form induktiver und/oder kapazitiver Elemente erweitert werden. Das in **Fig. 3B** gezeigte Ausgangsanpassungsnetzwerk 28 ist in **Fig. 8A** mit einem diskreten ein- oder mehrlagigen Kurzschlusskondensator 3 realisiert, welcher durch Drahtbonden sowohl mit dem Drainkontakt 7 des Transistors 2 als auch mit dem Ausgangsanschluss 6 verbunden ist. Anstelle eines Kondensators 3 können auch mehrere parallel geschaltete Kondensatoren verwendet werden. Das in **Fig. 8A** gezeigte Ausgangsanpassungsnetzwerk 28 kann um weitere Stufen in Form induktiver und/oder kapazitiver Elemente erweitert werden. In einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen HF-Leistungstransistors 1 werden das Eingangs- und/oder Ausgangsanpassungsnetzwerk 27 und/oder 28 auf demselben Chip 18 wie der Transistor 2 realisiert, indem MIM-Kondensatoren 3 auf dem Chip 18 mit dem Gate 5- bzw. Drainkontakt 7 verbunden werden und durch Drahtbonden mit den Eingangs- bzw. Ausgangsanschlüssen 4 bzw. 6 des Transistorgehäuses 12 verbunden werden.

[0054] **Fig. 9A** ist das physikalische Ersatzschaltbild einer weiteren durch **Fig. 4A** dargestellten Ausführungsform des erfindungsgemäßen HF-Leistungstransistors 1, die den Ausführungsformen in **Fig. 7A** und **Fig. 7B** ähnelt, bei der aber die Funktion des DC- & NF-Tiefpassfilters 3.2 nicht durch die Anzahl und Länge der verwendeten Bonddrähte zwischen dem Sourcekontakt 8 und dem DC- & NF-Masseanschluss 10, sondern durch Einfügen einer geeigneten Filterstruktur 3.2 auf dem Transistorchip 18 realisiert wird. **Fig. 9B** und **Fig. 9C** sind elektrische Ersatzschaltbilder zweier Ausführungsformen des erfindungsgemäßen HF-Leistungstransistors 1 der **Fig. 9A**. In **Fig. 9B** wird die Filterstruktur 3.2 durch ein induktiv-kapazitives (LC) Filter auf dem Transistorchip 18 realisiert. Die DC- & NF-Verbindung zwischen dem Chip 18 und dem DC- & NF-Masseanschluss 10 wird durch Drahtbonden realisiert. In einer anderen Ausführungsform des erfindungsgemäßen HF-Leistungstransistors 1 wird das LC-Filter

3.2 auf einem separaten Chip realisiert, der durch Drahtbonden sowohl mit dem Sourcekontakt 8 des Transistors 2 als auch mit dem DC- & NF-Masseanschluss 10 verbunden wird. In **Fig. 9C** wird die HF-Isolation und NF-Bandbreite der Filterstruktur 3.2 verbessert, indem als Filter eine mit einem Kondensator kurzgeschlossene $\lambda/4$ -Leitung 35 als DC- & NF-Leitung auf demselben Chip 18 wie der Transistor 2 implementiert wird, welche durch Drahtbonden 36, 11 mit dem DC- & NF-Masseanschluss 10 verbunden wird. In einer anderen Ausführungsform des erfindungsgemäßen HF-Leistungstransistors 1 wird die kurzgeschlossene $\lambda/4$ -Leitung 35 auf einem separaten Chip realisiert, der durch Drahtbonden sowohl mit dem Sourcekontakt 8 des Transistors 2 als auch mit dem DC- & NF-Masseanschluss 10 verbunden wird. In einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen HF-Leistungstransistors 1 werden in das Transistorgehäuse 12 zusätzlich zu dem Transistorchip 18 mit integriertem DC- & NF- / HF-Di-plexer 30 Eingangs 27- und/oder Ausgangsanpassungsnetzwerke 28 montiert, wobei das Eingangsanpassungsnetzwerk 27 mit einem diskreten ein- oder mehrlagigen Kurzschlusskondensator 3 realisiert wird, welcher durch Drahtbonden sowohl mit dem Eingangsanschluss 4 als auch mit dem Gatekontakt 5 des Transistors 2 verbunden ist und das Ausgangsanpassungsnetzwerk 28 mit einem diskreten ein- oder mehrlagigen Kurzschlusskondensator 3 realisiert wird, welcher durch Drahtbonden sowohl mit dem Drainkontakt 7 des Transistors als auch mit dem Ausgangsanschluss 6 verbunden ist. Für beide Anpassungsnetzwerke 27, 28 können anstelle eines Kondensators 3 auch mehrere parallel geschaltete Kondensatoren verwendet werden. Beide Anpassungsnetzwerke 27, 28 können um weitere Stufen in Form induktiver und/oder kapazitiver Elemente erweitert werden. In einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen HF-Leistungstransistors 1 werden das Eingangs 27- und/oder Ausgangsanpassungsnetzwerk 28 auf demselben Chip 18 wie der Transistor 2 realisiert, indem MIM-Kondensatoren auf dem Chip 18 mit dem Gate 5- bzw. Drainkontakt 7 verbunden werden und durch Drahtbonden mit den Eingangs 4- bzw. Ausgangsanschlüssen 6 des Transistorgehäuses 12 verbunden werden.

[0055] **Fig. 10** ist ein Blockschaltbild einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen potentialfreien gehäusten HF-Leistungstransistors 1 aus **Fig. 4A** umgeben von einer Platine 29, die Anpassungsnetzwerke 28 sowie den DC- & NF- / HF-Di-plexer 30 für die Drainversorgung des Transistors 1 mit abgeschlossenem Versorgungsnetzwerk 31 enthält, sowie einer zusätzlichen externen Schaltung für die galvanisch getrennte Gateversorgung 34 des Transistors 1, die für den potentialfreien Betrieb notwendig ist. **Fig. 10** verdeutlicht die Vorteile der Erfindung verglichen mit dem Stand der Technik.

[0056] Obwohl die Erfindung im Detail durch bevorzugte Ausführungsbeispiele näher illustriert und beschrieben wurde, so ist die Erfindung nicht durch die offenbarten Beispiele eingeschränkt und andere Variationen können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzzumfang der Erfindung zu verlassen.

[0057] Vorzugsweise sind alle induktiven Elemente 11 als Bond-Drähte ausgebildet.

Bezugszeichenliste

1	Hochfrequenz-Leistungstransistor
2	Transistor
3	Kondensator
3.1	Bypassnetzwerk
3.2	Tiefpassnetzwerk
4	erster Anschluss (Eingangsanschluss)
5	Gatekontakt
6	zweiter Anschluss (Ausgangsanschluss)
7	Drainkontakt
8	Sourcekontakt
9	dritter Anschluss (HF-Masseverbindung)
10	vierter Anschluss (DC- & NF-Masseanschluss)
11	induktives Element
12	Gehäuse
12.1	Deckel
13	Bond-Drähte
14	Bond-Drähte
15	Bond-Drähte
16	Flansch
16.1	Bondstützpunkte
17	fünfter Anschluss
18	Integrierter Schaltkreis
19	Ausschnitt eines Hochfrequenzleistungsverstärkers: Hochfrequenz-Leistungstransistor mit umgebenden Platinen
20	gedruckte Leiterplatte
21	gedruckte Leiterplatte
22	Leiterbahn
23	Leiterbahn
24	Leiterbahn

25	Kühlkörper
26	Masse
26.1	DC- & NF-Masse
27	Eingangsanpassungsnetzwerk
28	Ausgangsanpassungsnetzwerk
29	Platine
30	Diplexer
31	DC- & NF-Versorgungsnetzwerk
32	DC- & NF-Versorgung
33	HF-Ausgang
34	Galvanisch getrennte Gateversorgung
35	$\lambda/4$ -Leitung
36	Bond-Drähte

Patentansprüche

1. Hochfrequenz-Leistungstransistor (1) umfassend:

- einen Transistor (2, 18),
- mindestens einen Kondensator (3, 18),
- ein Gehäuse (12), das den Transistor (2, 18) und den Kondensator (3, 18) zumindest teilweise umgibt,

wobei ein erster Anschluss (4) für einen Hochfrequenz-Eingang und eine Gate-Gleichspannungsversorgung an einem Gatekontakt (5) des Transistors (2, 18) angeschlossen ist,

wobei ein zweiter Anschluss (6) an einem Drainkontakt (7) des Transistors (2, 18) für einen Hochfrequenz-Ausgang und eine Drain-Gleichspannungsversorgung angeschlossen ist, und

wobei an einem Sourcekontakt (8) des Transistors (2, 18) ein dritter Anschluss (9) und ein vierter Anschluss (10) angeschlossen sind, und

wobei alle Anschlüsse, sprich der erste, zweite, dritte und vierte Anschluss (4, 6, 9, 10), aus dem Gehäuse (12) herausführen, und

wobei der dritte Anschluss (9) über den Kondensator (3, 18) an den Sourcekontakt (8) angeschlossen ist und der vierte Anschluss (10) über mindestens ein induktives Element (36, 11) an den Sourcekontakt (8) angeschlossen ist, sodass der dritte Anschluss (9) eine Hochfrequenz-Masse bereitstellt und der vierte Anschluss (10) eine potentialfreie Niederfrequenz-Masse und Source-Gleichspannungsversorgung bereitstellt

dadurch gekennzeichnet, dass

das induktive Element (36, 11) einen Bonddraht oder mehrere parallel geschaltete Bonddrähte umfasst.

2. Hochfrequenz-Leistungstransistor (1) nach Anspruch 1, wobei der Kondensator (3) ein Einschichtkondensator ist.

3. Hochfrequenz-Leistungstransistor (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Hochfrequenz-Leistungstransistor (1) mindestens zwei parallel geschaltete Kondensatoren (3) zwischen dem dritten Anschluss (9) und dem Sourcekontakt (8) umfasst.

4. Hochfrequenz-Leistungstransistor (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Transistor (2) und der Kondensator (3) in einem integrierten Schaltkreis (18) kombiniert sind.

5. Hochfrequenz-Leistungstransistor (1) nach Anspruch 4, wobei der integrierte Schaltkreis (18) ein MMIC ist.

6. Hochfrequenz-Leistungstransistor (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der dritte Anschluss (9) mit mindestens einem elektrisch leitfähigen Flansch (16), vorzugsweise mit zwei gegenüberliegenden elektrisch leitfähigen Flanschen (16) verbunden ist.

7. Hochfrequenz-Leistungstransistor (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der vierte Anschluss (10) über ein Tiefpassnetzwerk (3.2) an den Sourcekontakt (8) angeschlossen ist.

8. Hochfrequenz-Leistungstransistor (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Hochfrequenz-Leistungstransistor (1) einen fünften Anschluss (17) umfasst, der über mindestens ein induktives Element (36, 11) an den Sourcekontakt (8) angeschlossen ist, sodass der dritte Anschluss (9) eine Hochfrequenz-Masse bereitstellt und der vierte Anschluss (10) und der fünfte Anschluss (17) gemeinsam eine potentialfreie Niederfrequenz-Masse und Source-Gleichspannungsversorgung bereitstellen.

9. Hochfrequenz-Leistungstransistor (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei zwei Platinen (20, 21) auf gegenüberliegenden Seiten des Hochfrequenz-Leistungstransistors (1) angeordnet sind.

10. Hochfrequenz-Leistungstransistor (1) nach Anspruch 9, wobei der erste Anschluss (4) an eine Leiterbahn (22) der ersten Platine (20) angeschlossen ist, und wobei der zweite Anschluss (6), der vierte Anschluss (10), sowie gegebenenfalls der fünfte Anschluss (17), an Leiterbahnen (23, 24) der zweiten Leiterplatte (21) angeschlossen sind.

11. Hochfrequenz-Leistungstransistor nach Anspruch 9 oder 10, wobei der dritte Anschluss (9), vorzugsweise über mindestens einen Flansch (16), an einen Kühlkörper (25) des Hochfrequenz-Leistungstransistors angeschlossen ist, der die Sys-

temasse für einen Hochfrequenz-Leistungsverstärker definiert.

Es folgen 14 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

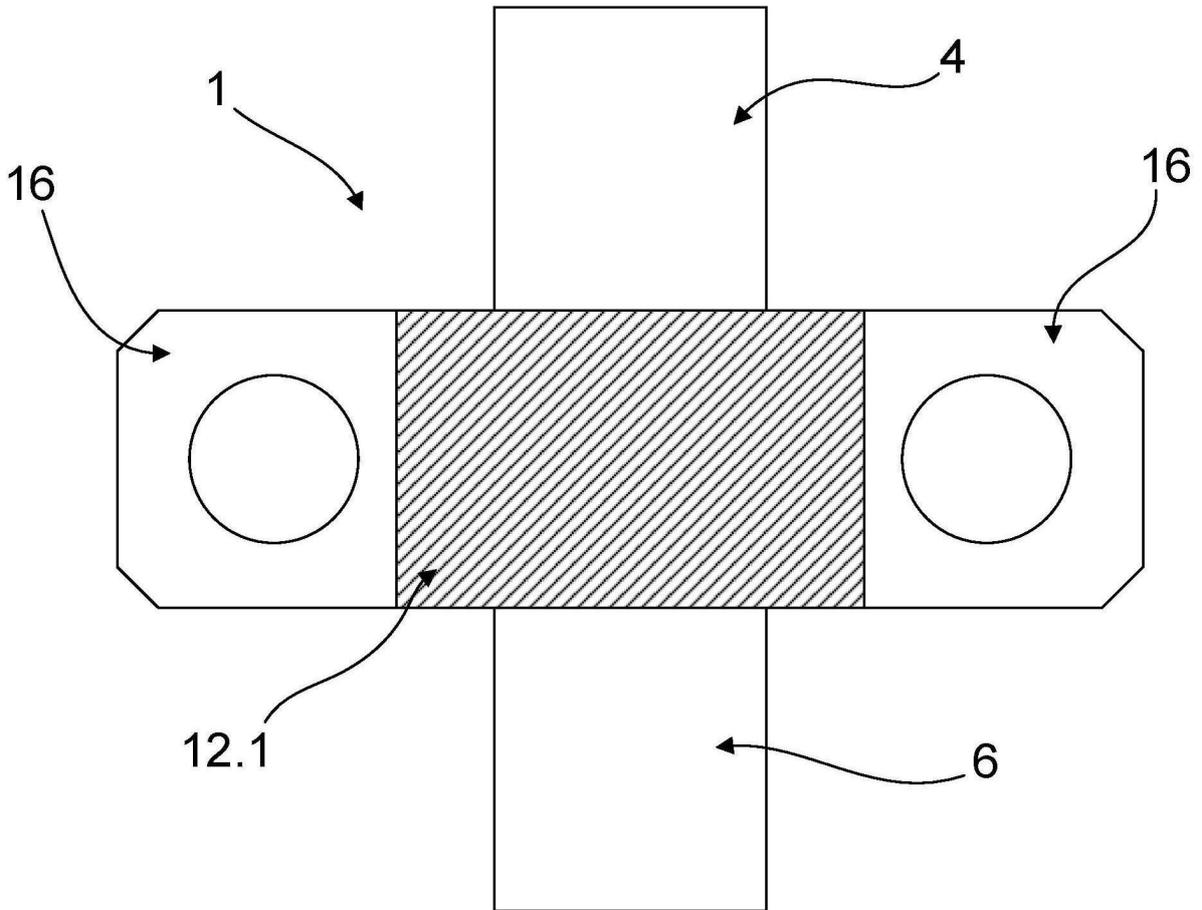


Fig. 1A Stand der Technik

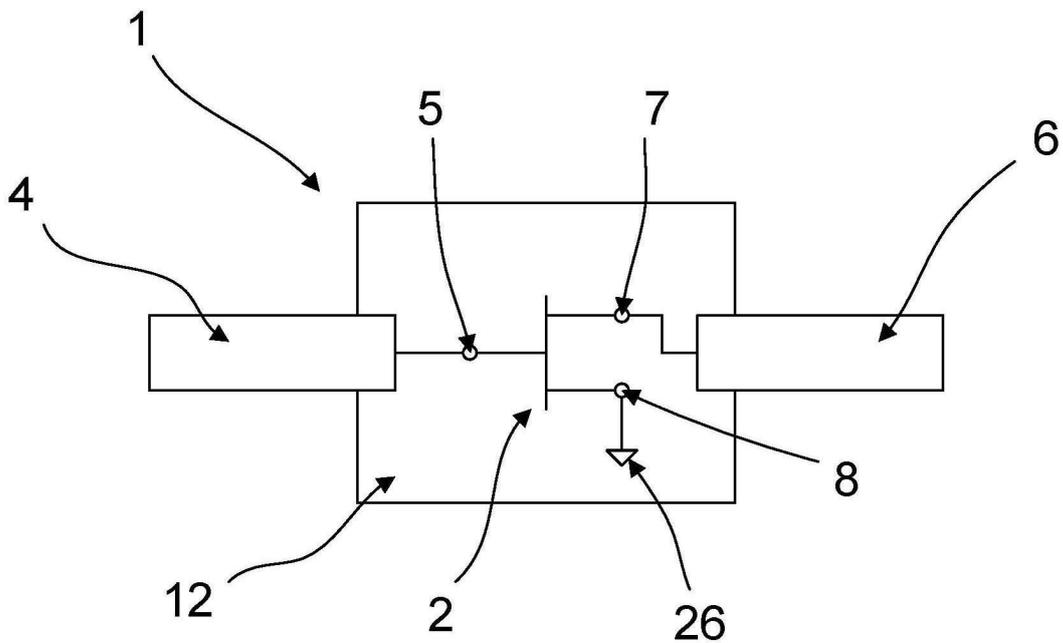


Fig. 1B Stand der Technik

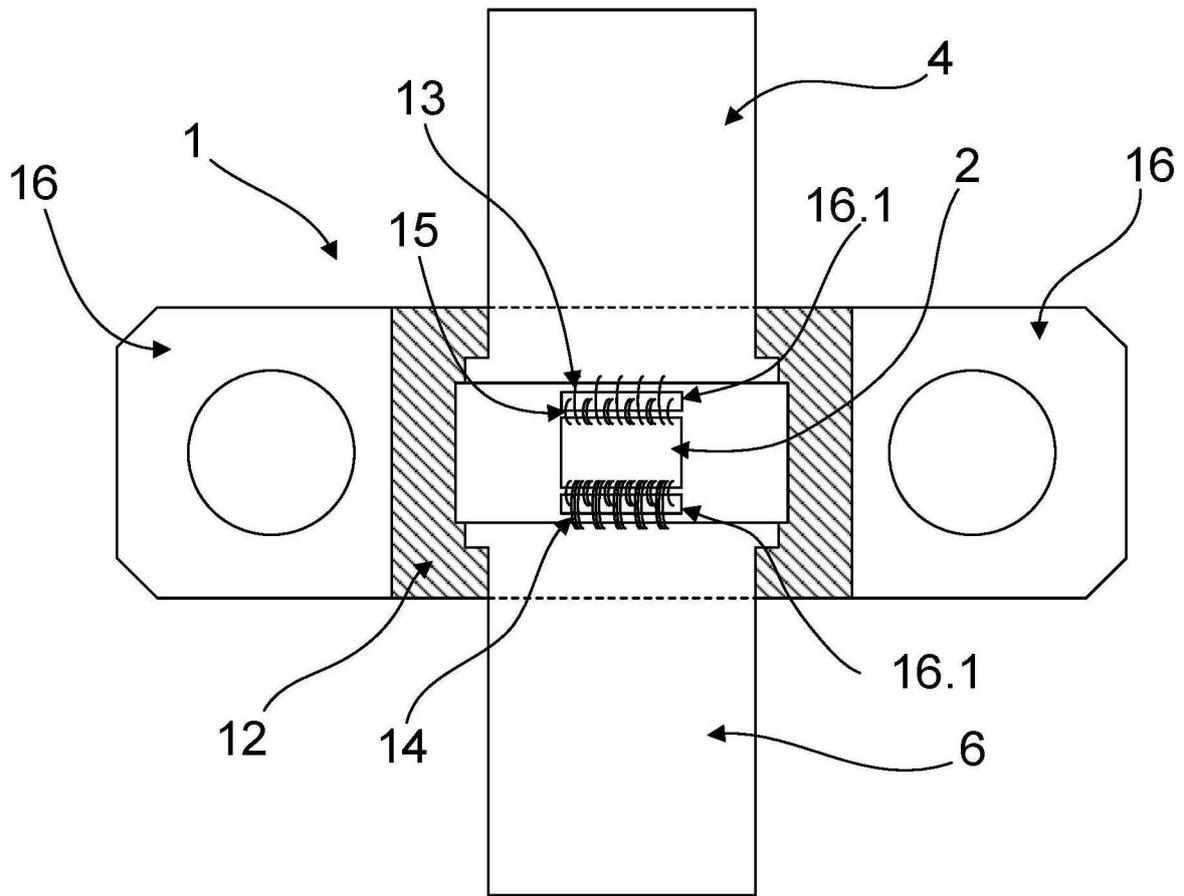


Fig. 1C Stand der Technik

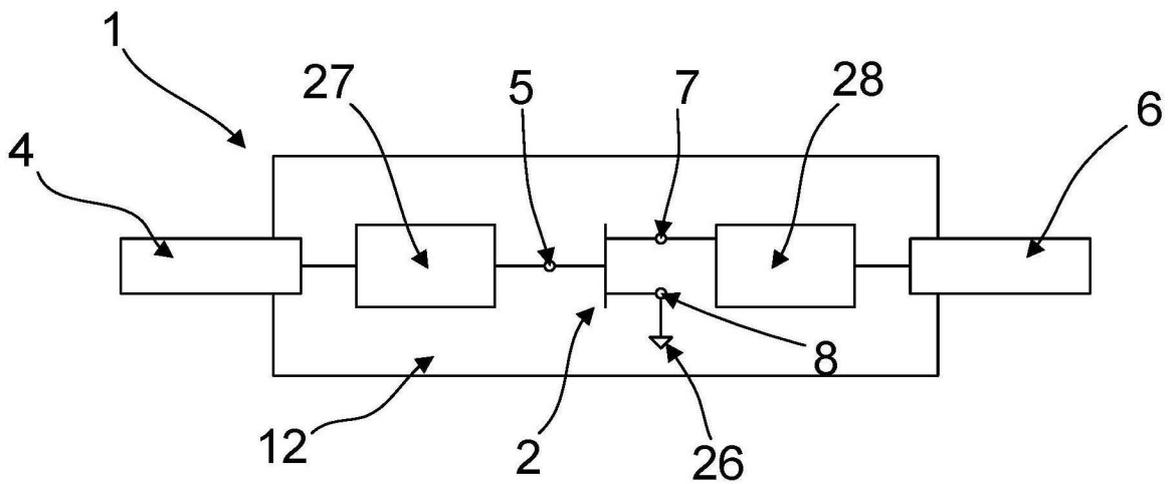


Fig. 1D Stand der Technik

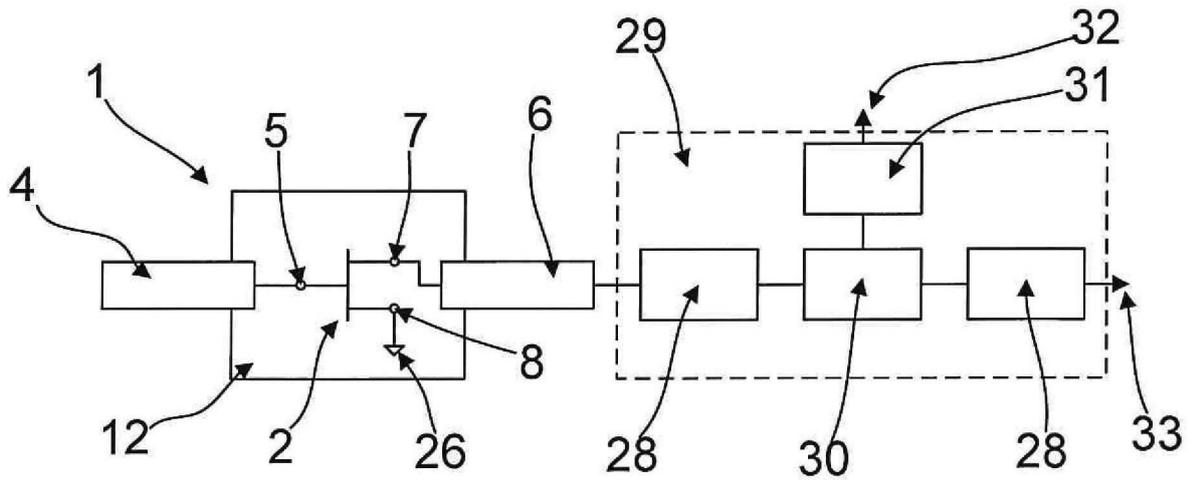


Fig. 2A Stand der Technik

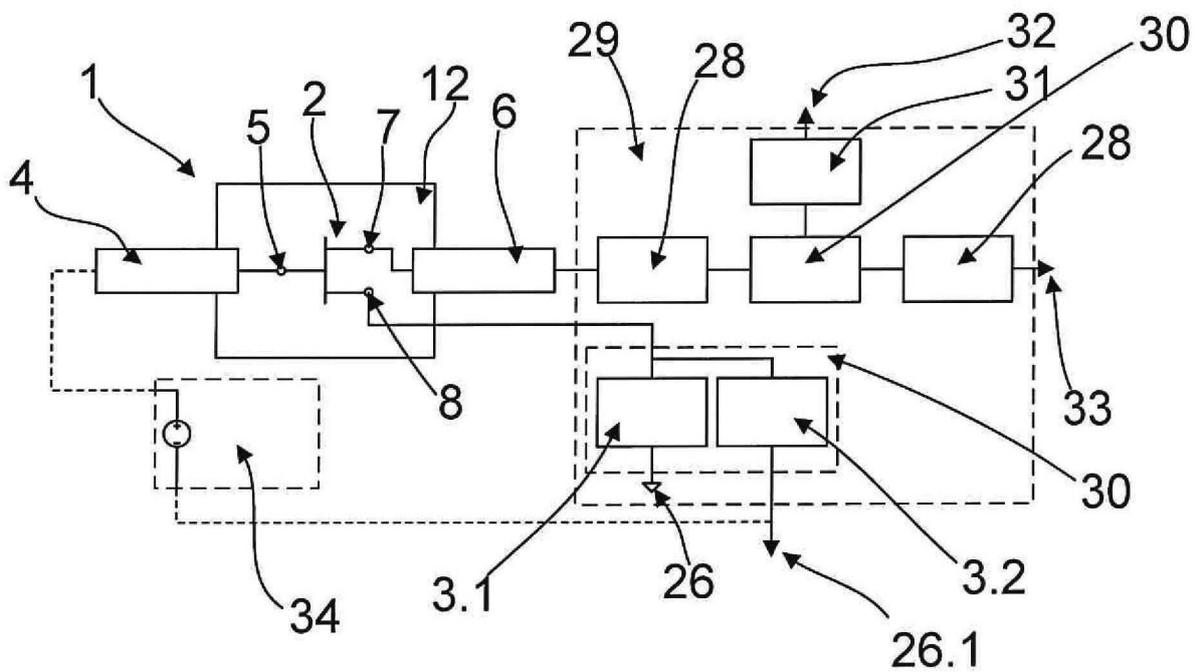


Fig. 2B Stand der Technik

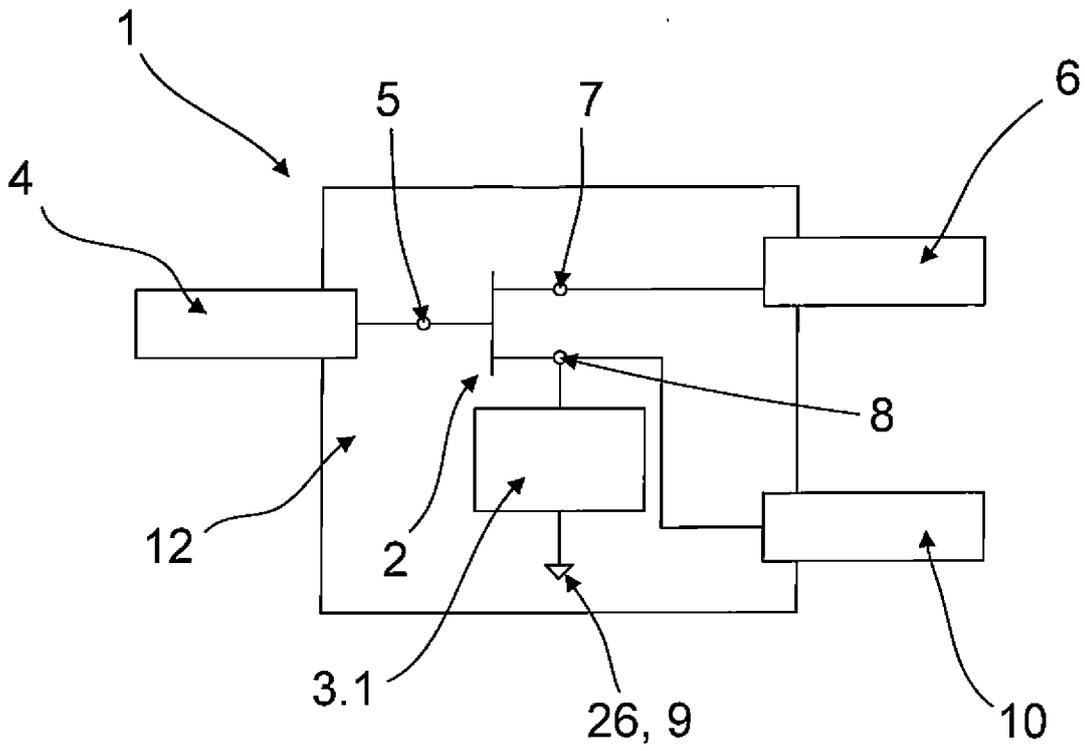


Fig. 3A

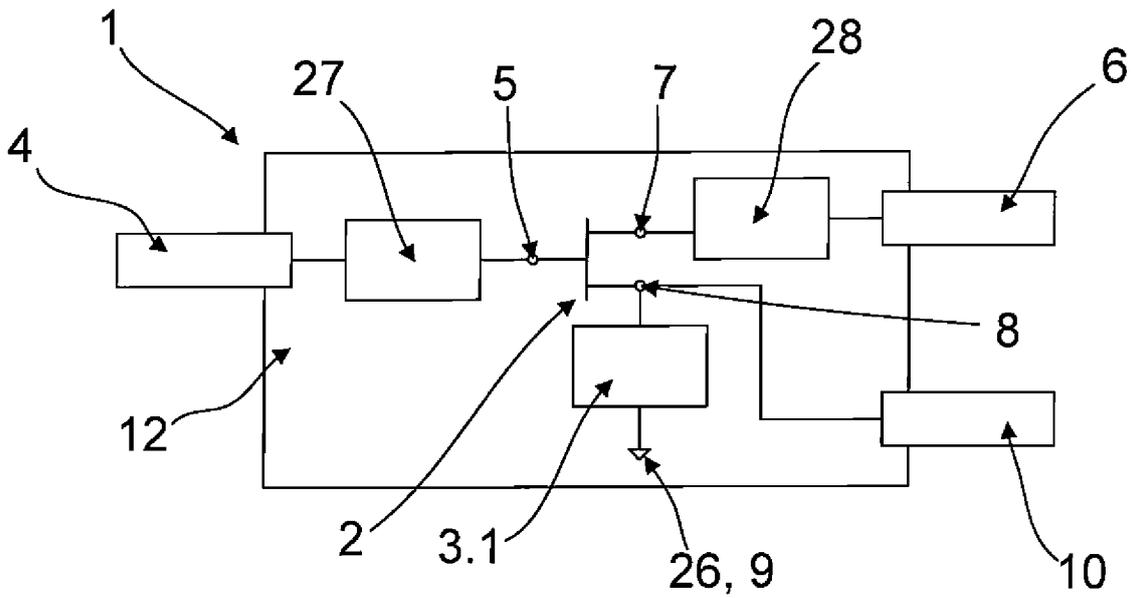


Fig. 3B

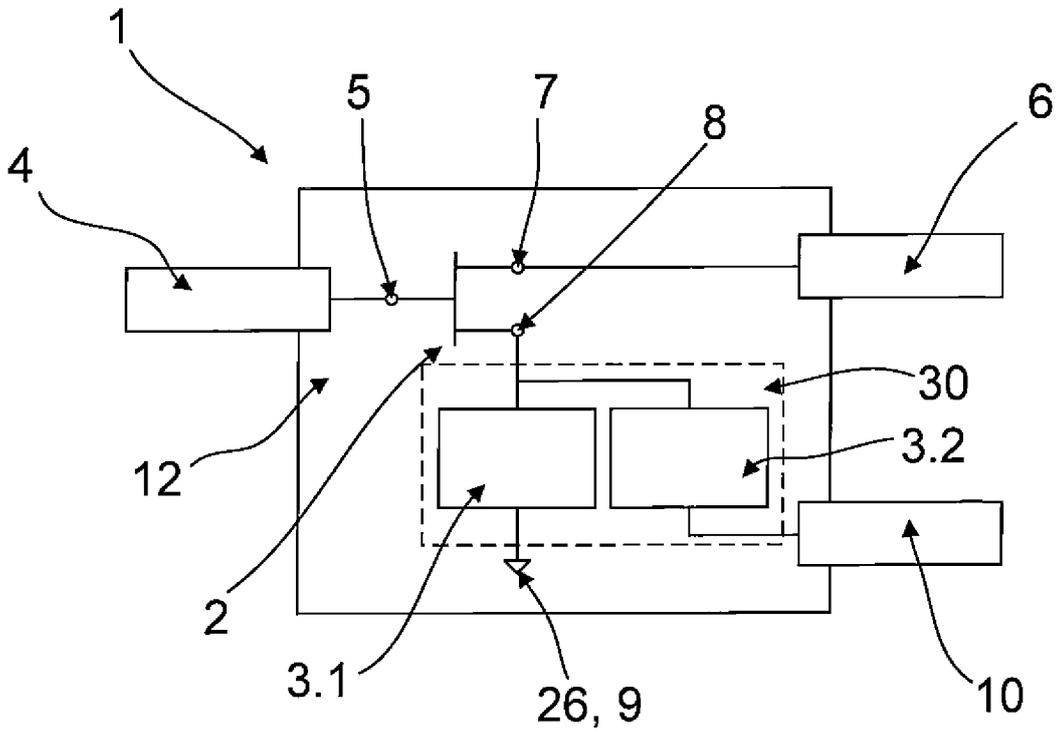


Fig. 4A

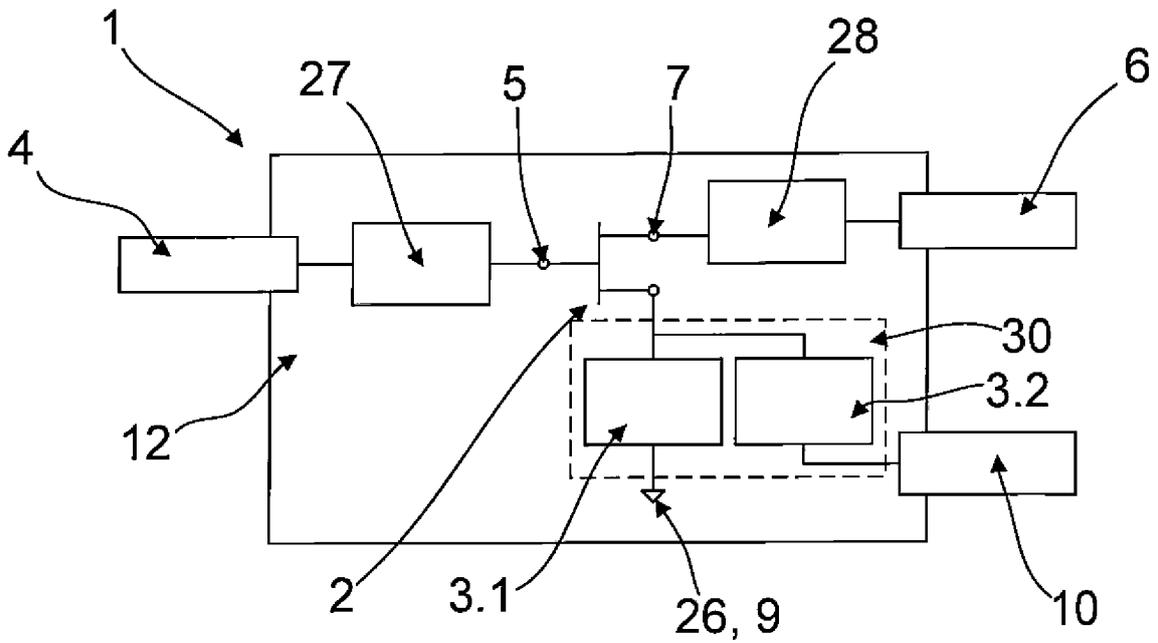


Fig. 4B

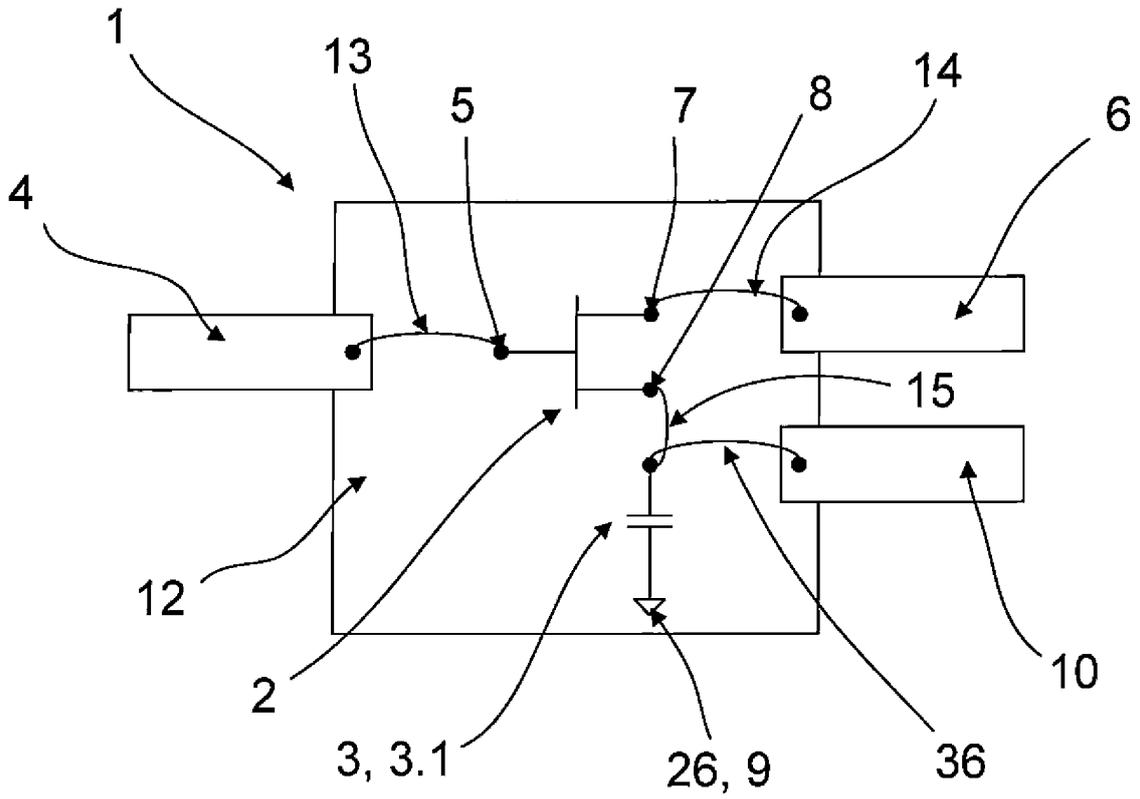


Fig. 5A

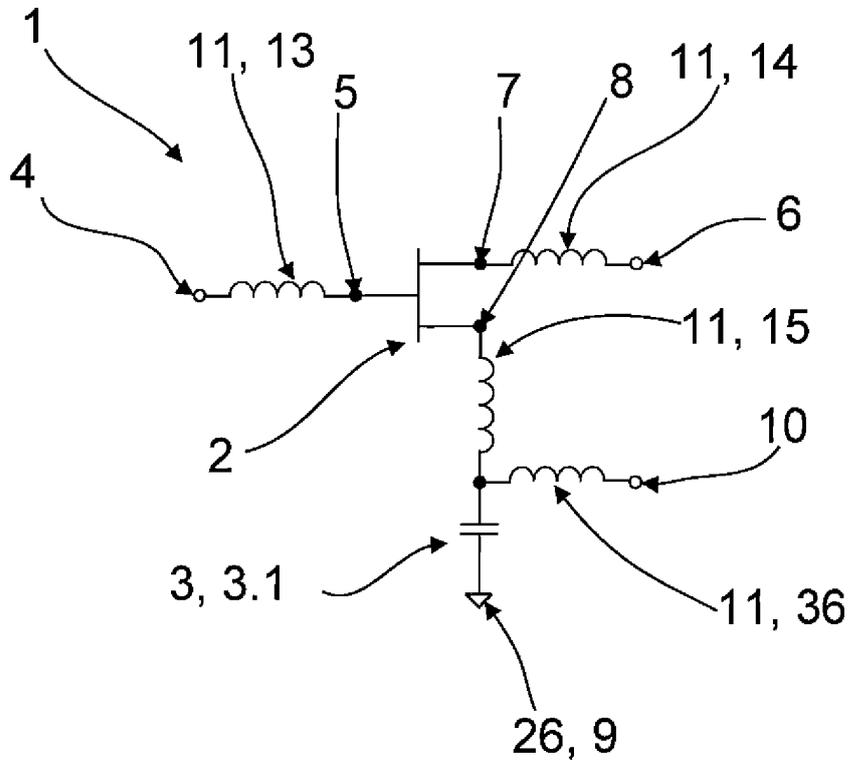


Fig. 5B

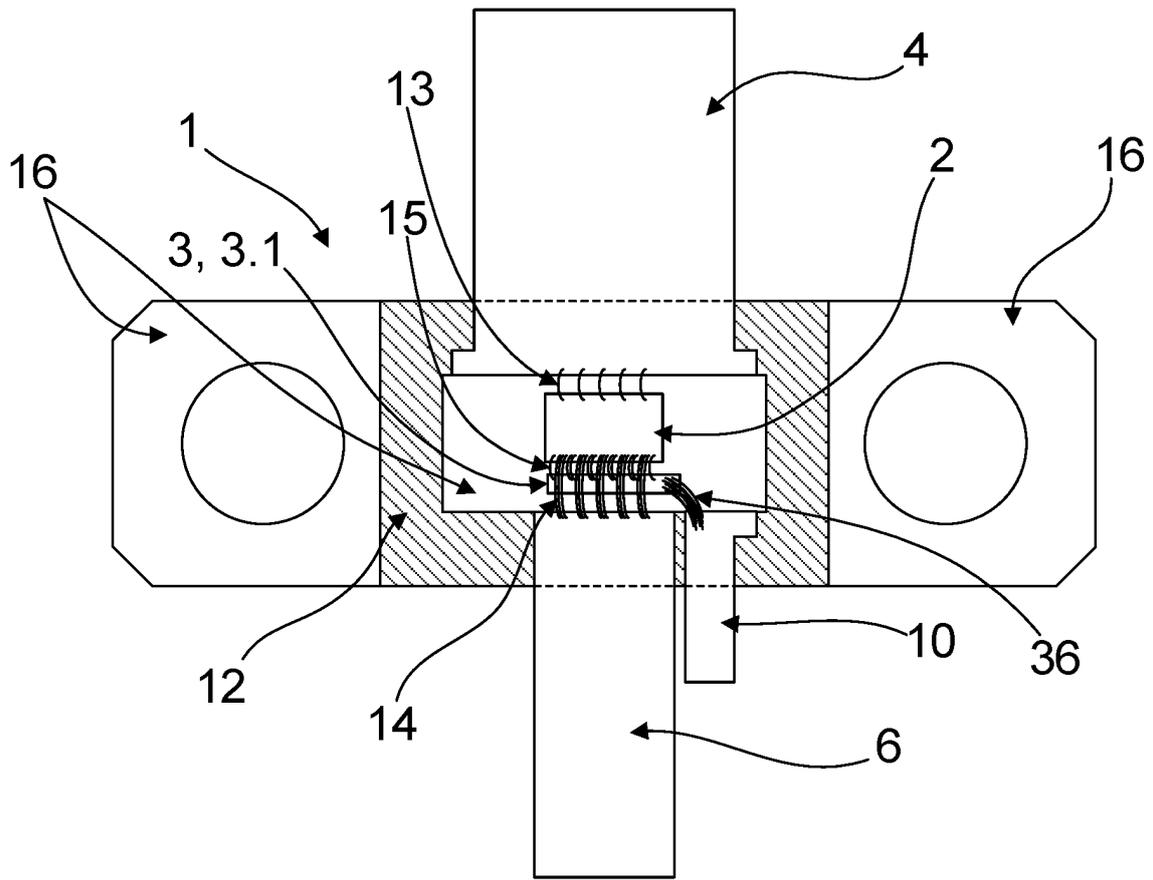


Fig. 5C

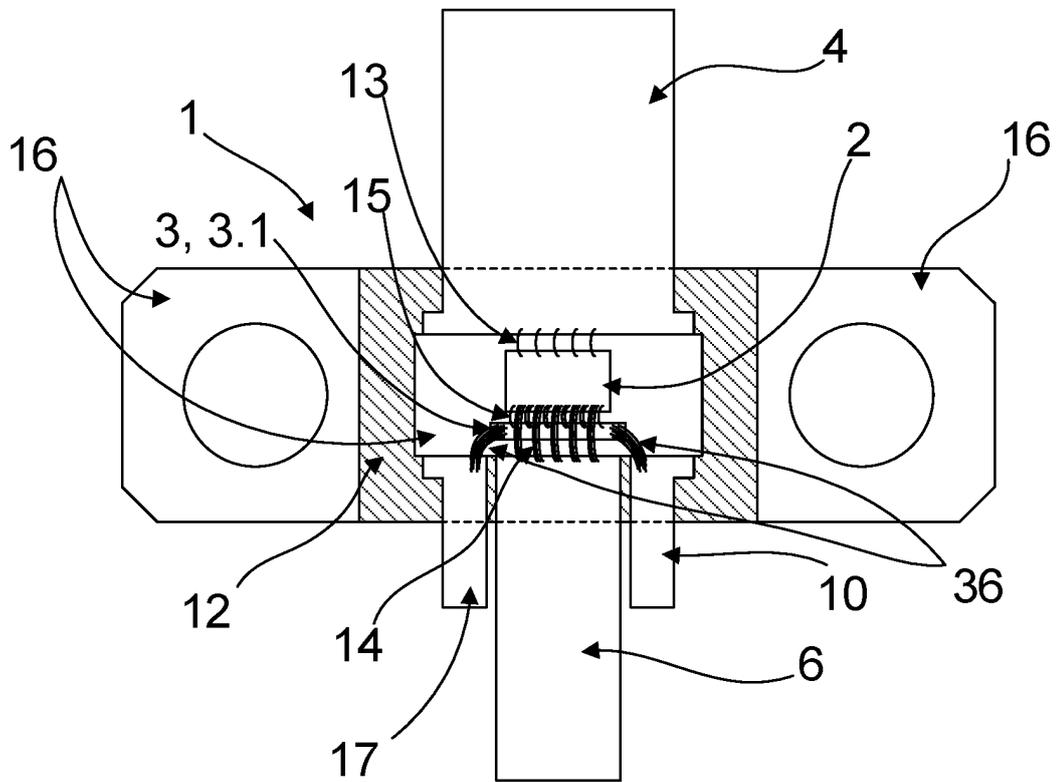


Fig. 5D

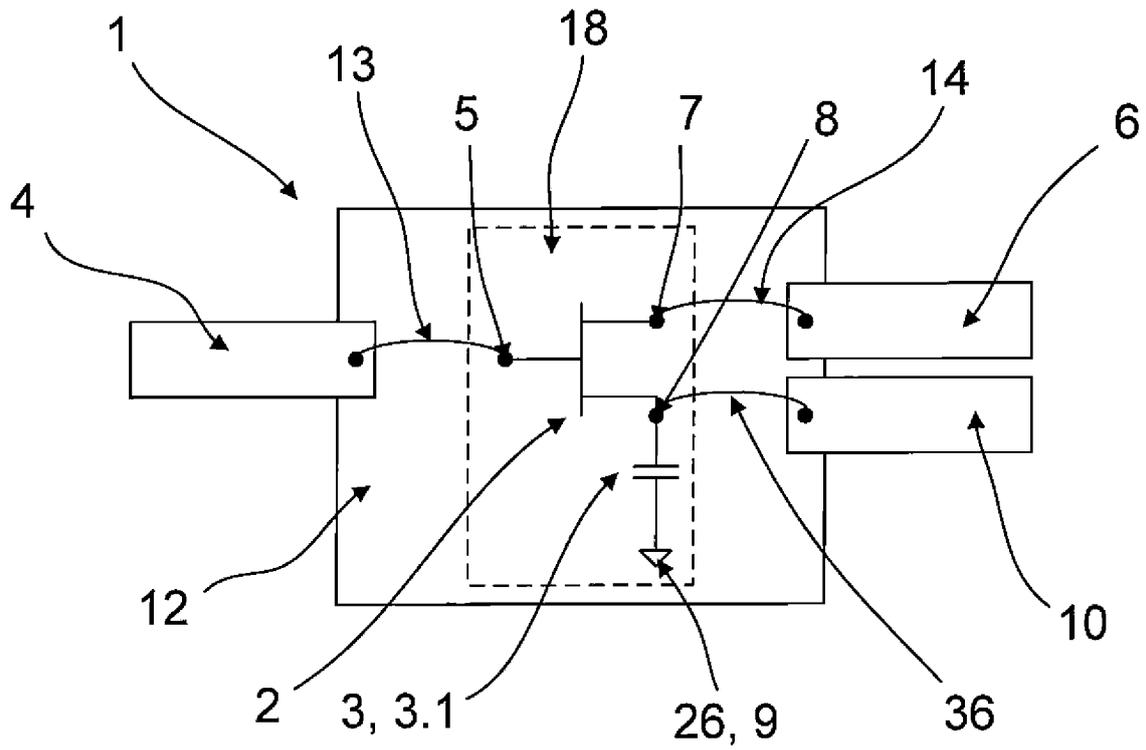


Fig. 7A

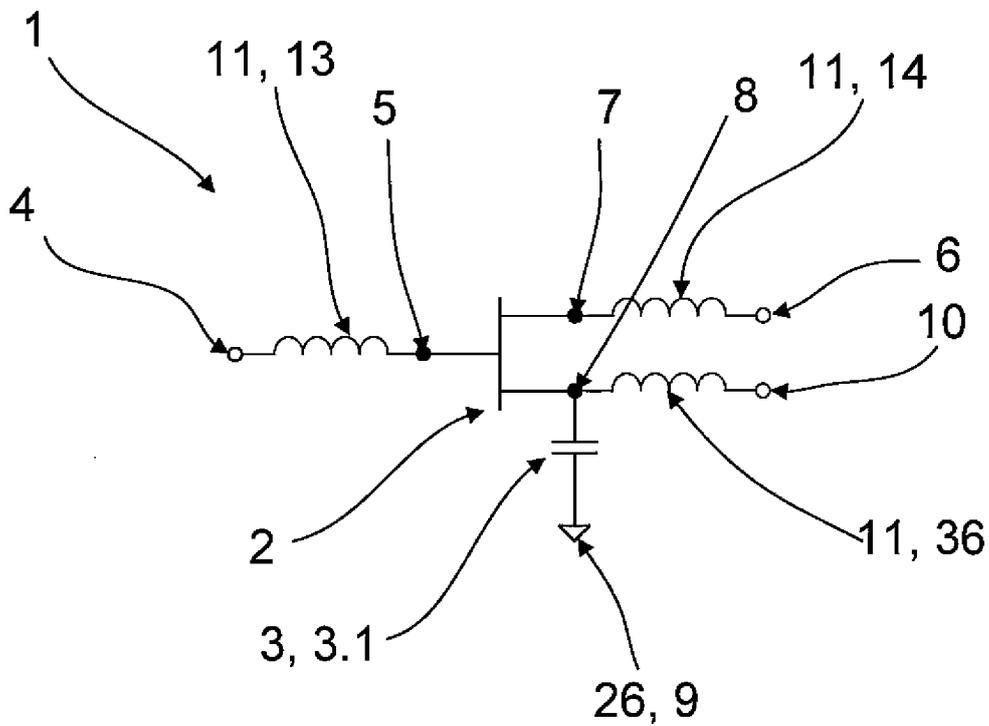


Fig. 7B

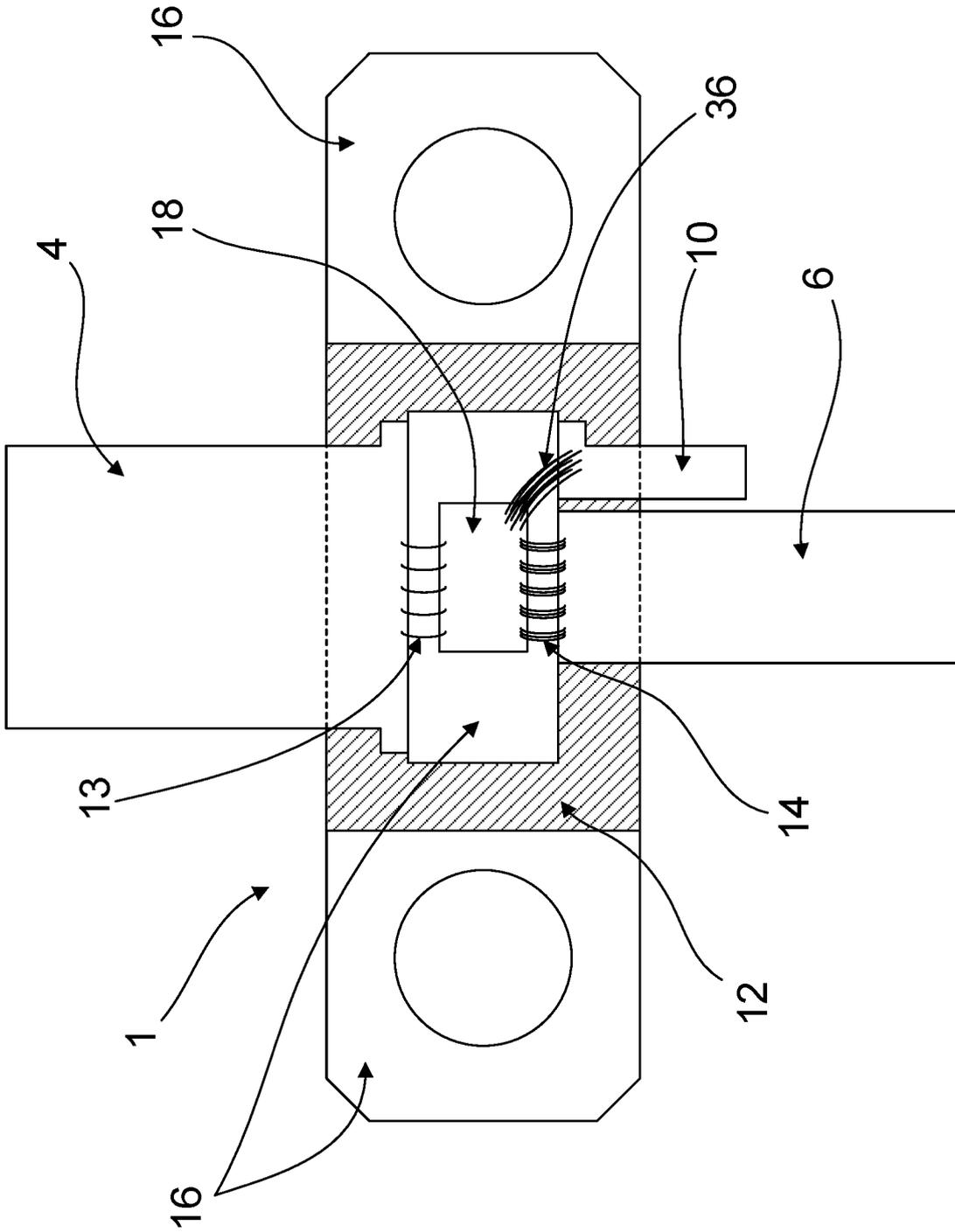


Fig. 7C

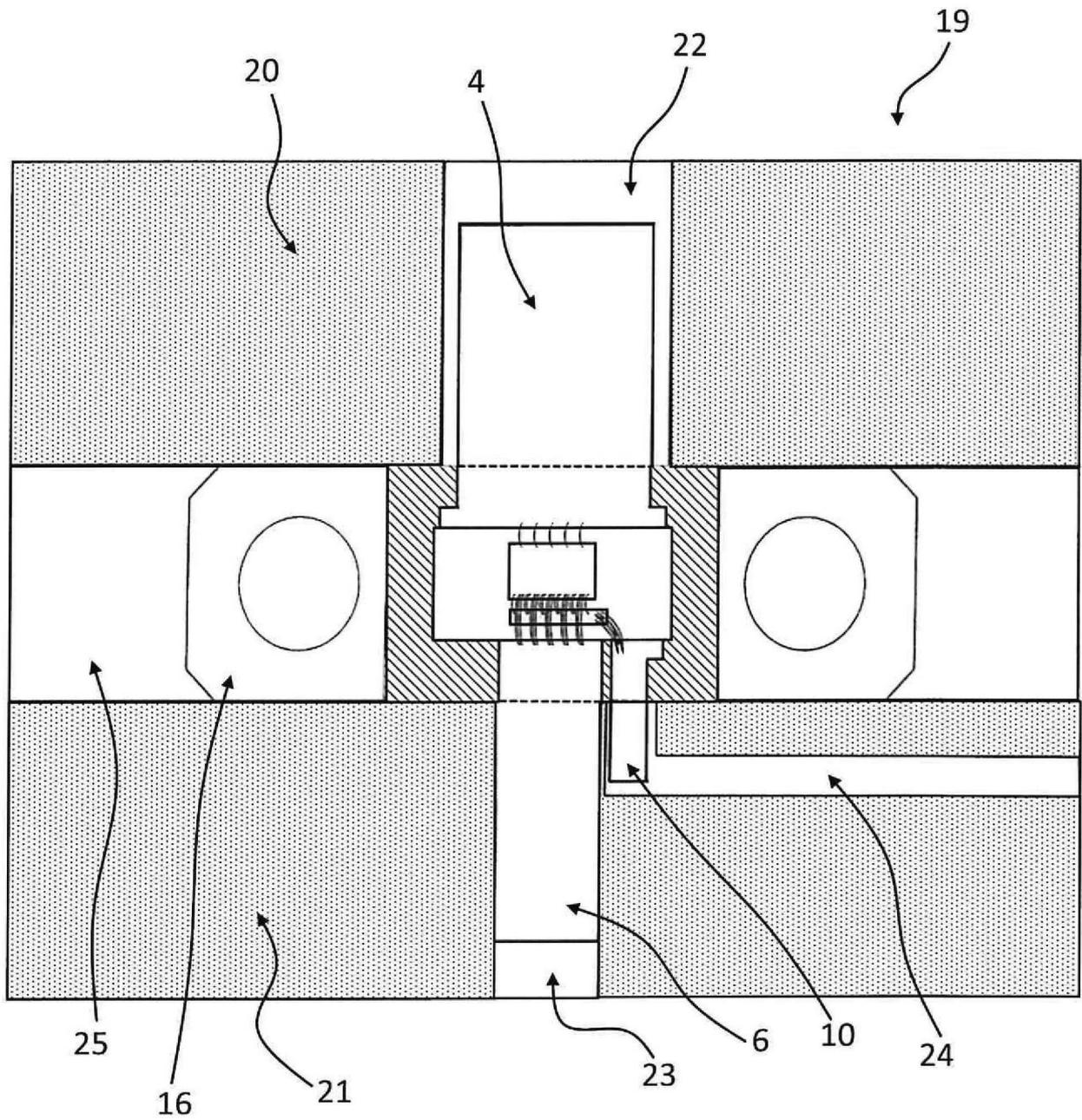


Fig. 8

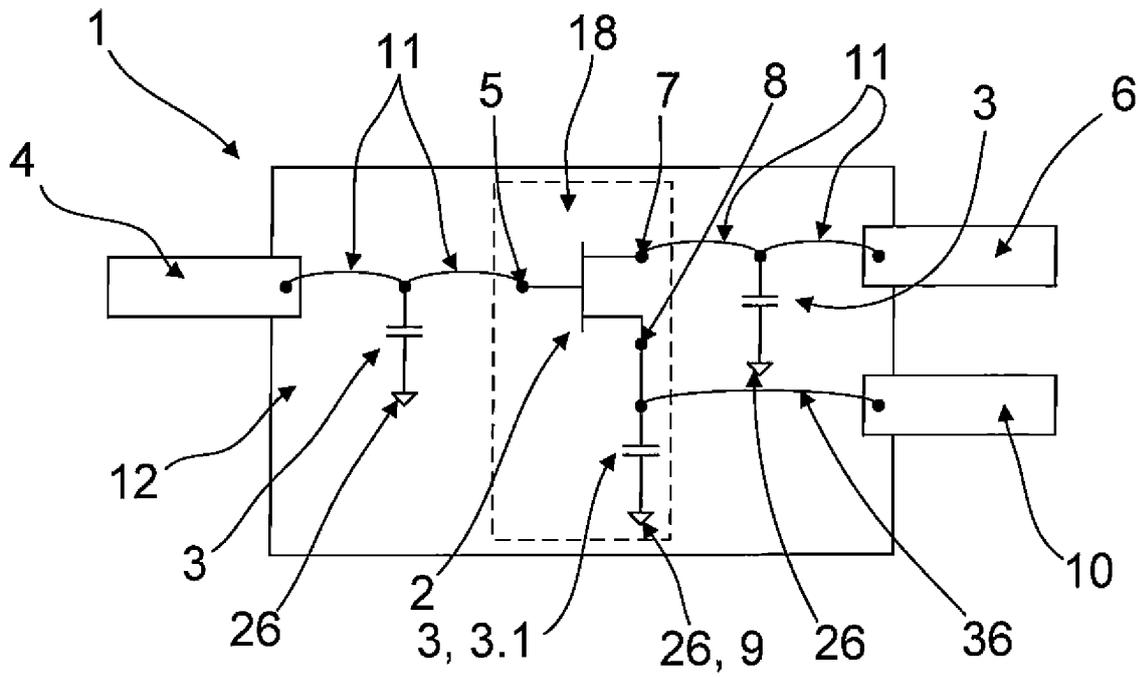


Fig. 8A

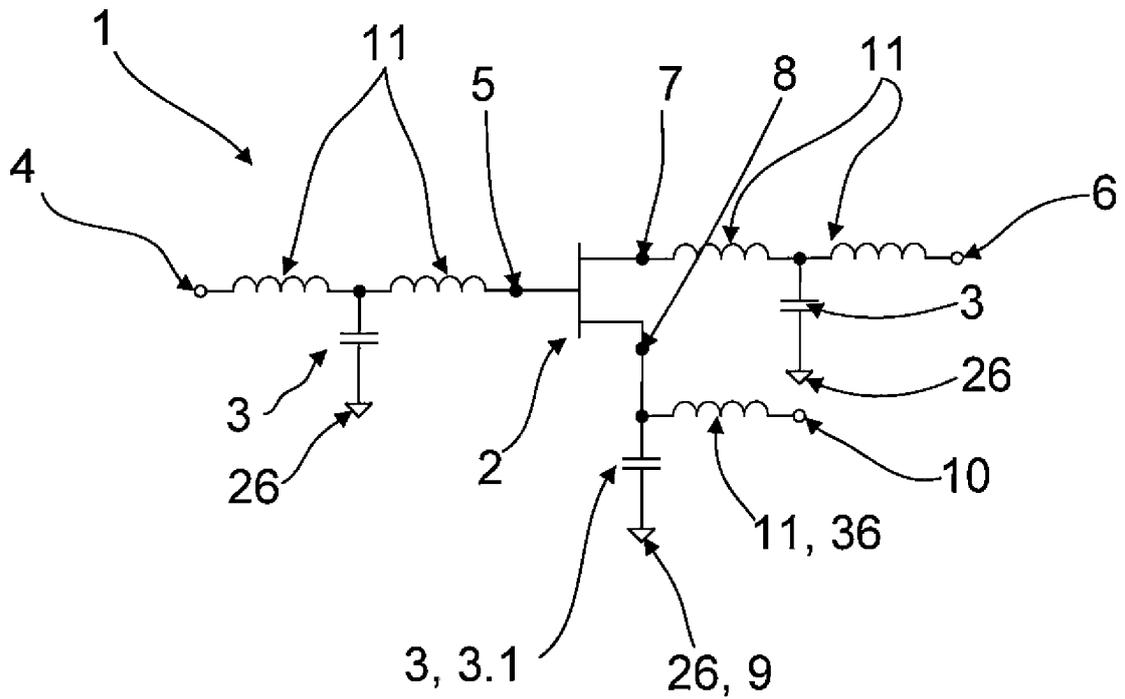


Fig. 8B

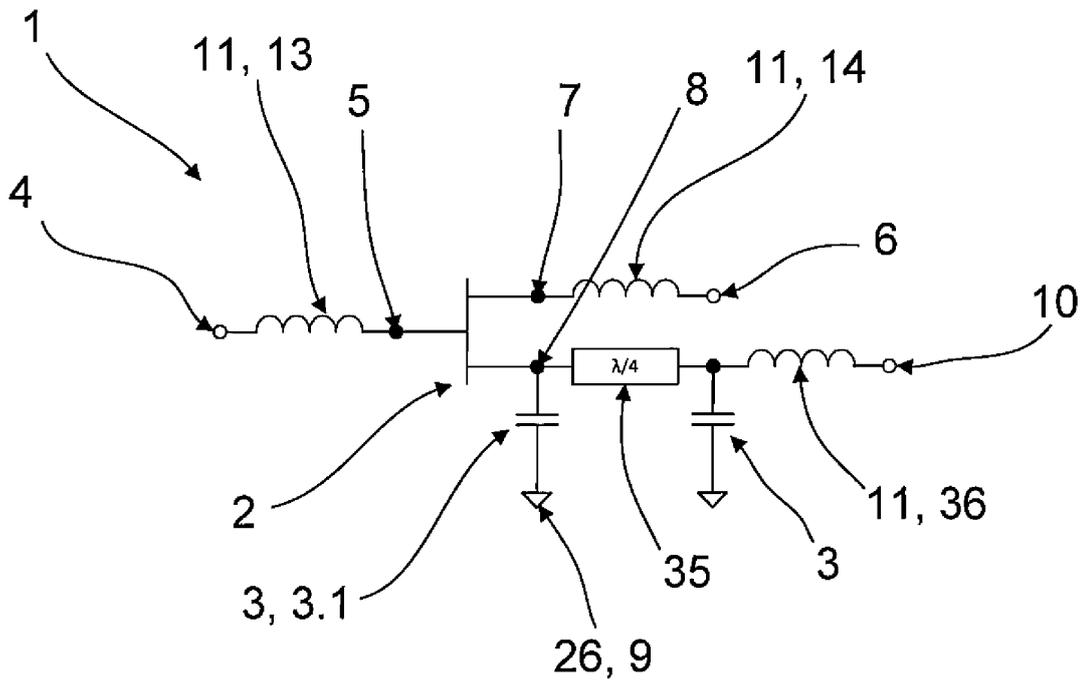


Fig. 9C

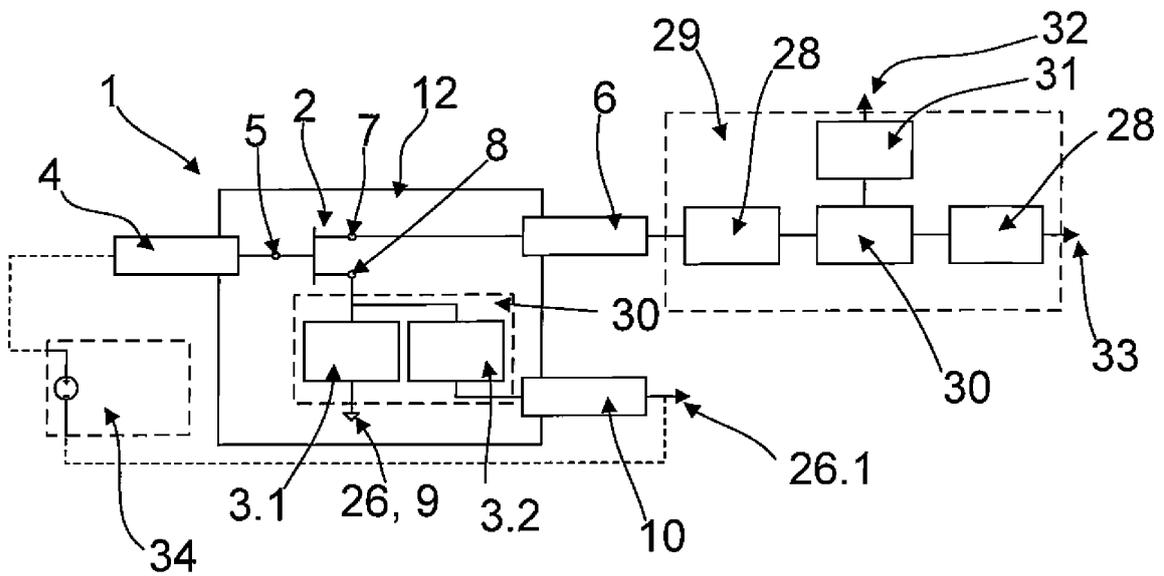


Fig. 10