(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
10. Dezember 2009 (10.12.2009)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2009/147206 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
H03B 5/12 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2009/056867

(22) Internationales Anmeldedatum:
4. Juni 2009 (04.06.2009)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2008 027 126.8 6. Juni 2008 (06.06.2008) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **BSH BOSCH UND SIEMENS HAUSGERÄTE GMBH** [DE/DE]; Carl-Wery-Str. 34, 81739 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: **KOMMA, Thomas** [DE/DE]; Dr.-O.-Bößner Weg 7a, 85521 Ottobrunn (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: **BSH BOSCH UND SIEMENS HAUSGERÄTE GMBH**; Carl-Wery-Str. 34, 81739 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title**: METHOD FOR OPERATING AN OSCILLATING CIRCUIT COMPRISING AT LEAST TWO ELECTRONIC SWITCHES, AND OSCILLATING CIRCUIT

(54) **Bezeichnung**: VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINES SCHWINGKREISES MIT MINDESTENS ZWEI ELEKTRONISCHEN SCHALTERN UND SCHWINGKREIS

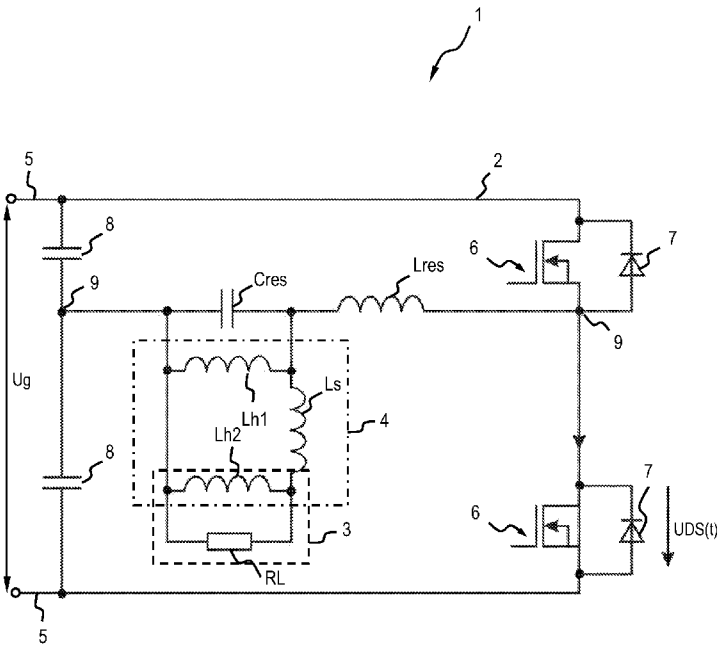


FIG 2

(57) **Abstract**: The method for operating an oscillating circuit comprising at least two electronic switches is characterized in that the oscillating circuit is turned off when a current through one of the switches reaches a predetermined threshold or falls below said threshold essentially during the turn-off step and/or after the turn-off step of said switch.

(57) **Zusammenfassung**: Das Verfahren zum Betreiben eines Schwingkreises mit mindestens zwei elektronischen Schaltern zeichnet sich dadurch aus, dass der Schwingkreis abgeschaltet wird, falls im Wesentlichen während des Abschaltens und / oder nach dem Abschalten eines der Schalter ein Strom durch diesen Schalter einen vorgegebenen Schwellwert erreicht oder unterschreitet.

WO 2009/147206 A2

Veröffentlicht:

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

Beschreibung

Verfahren zum Betreiben eines Schwingkreises mit mindestens zwei elektronischen Schaltern und Schwingkreis

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Schwingkreises mit mindestens zwei elektronischen Schaltern, insbesondere MOSFETs, und einen solchen Schwingkreis.

Eine drahtlose Energieübertragung kann induktiv durch Anwendung von speziellen Transformatoren erfolgen, deren Primär- und Sekundärseite durch den Nutzer auch während des Betriebes trennbar sind. Eine Möglichkeit zur Erzeugung der Primärspannung bilden Resonanzwandler, bei denen ein Schwingkreis mittels einer Elektronik angeregt und parallel zu dessen Schwingkreiskapazität eine sinusförmige Spannung ausgekoppelt wird. Da die sich mit dem Abstand ändernde Streuinduktivität Ls und Hauptinduktivität Lh des Transformators Bestandteil des Schwingkreises sind, kommt es beim Trennen der beiden Transformatorseiten bzw. beim Betrieb mit zueinander versetzten Transformatorhälften zur Verschiebung der Resonanzfrequenz. Im schlimmsten Fall wechselt die Betriebsart vom überresonanten Betrieb in den unterresonanten Betrieb, was zur Zerstörung der Leistungshalbleiter führen kann.

Bisher wird die Verbindung von Primär- und Sekundärseite durch Messung des sekundärseitigen Laststromes oder mit Hilfe von Mikrotastern bzw. Optokopplern erkannt. Dies ist jedoch konstruktiv aufwendig und störanfällig. Hilfswicklungen in der primärseitigen Transformatorhälfte detektieren ebenfalls getrennte Trafohälften, können jedoch aufgrund ihrer langsamen Erfassung nicht eine Zerstörung der Leistungshalbleiter verhindern. Eine weitere Möglichkeit zur Verhinderung einer Zerstörung ist der überresonante Betrieb mit genügend großem Abstand zur Resonanzfrequenz, was jedoch eine schlechte Ausnutzung der Leistungsbauelemente zur Folge hat.

Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Möglichkeit zum Betrieb eines Schwingkreises mit Halbleiterbausteinen bereitzustellen, welche die Halbleiterbausteine bei unterresonantem Betrieb bei gleichzeitig guter Ausnutzung schützt.

Diese Aufgabe wird mittels eines Verfahrens zum Betrieb eines Schwingkreises nach Anspruch 1, eines Schwingkreises nach Anspruch 6 und eines Haushaltsgeräts nach Anspruch 12 gelöst. Bevorzugte Ausführungsformen sind insbesondere den abhängigen Ansprüchen entnehmbar.

Das Verfahren dient zum Betreiben eines Schwingkreises mit mindestens zwei elektronischen Schaltern. Der Schwingkreis wird abgeschaltet, falls im Wesentlichen während des Abschaltens und / oder nach dem Abschalten (insbesondere unmittelbar nach dem Abschalten) eines der Schalter ein Strom durch diesen Schalter einen vorgegebenen Schwellwert erreicht oder unterschreitet.

Dieses Verfahren weist den Vorteil auf, dass es sehr schnell schaltet und kaum oder nur einfach implementierbare und zudem unempfindliche zusätzliche Bauteile benötigt. So brauchen zur Erkennung der Unterresonanz nicht mehrere Schwingungen abgetastet und ausgewertet zu werden.

Vorzugsweise wird ein Strom durch den / die Schalter an einer Spule, insbesondere Drosselspule, des Schwingkreises abgegriffen. Die Drosselspule ist vorzugsweise eine mehreren Schaltern gemeinsame Drosselspule. Die Verwendung des Stroms in einer Resonanzdrossel ist besonders vorteilhaft, weil dieser in Schwingkreisen, insbesondere Resonanzwandlern, ohnehin überwacht wird, damit Überströme durch unterschiedlichste Lastwiderstände nicht auftreten können. Es wird daher kein zusätzlicher Stromwandler benötigt. Der Strom kann aber auch an geeigneter anderer Stelle abgefühlt werden, z. B. direkt am Transistor.

Es ist zur Energieübertragung mit hohem Wirkungsgrad vorteilhaft, wenn der Schwingkreis zur resonanten Anregung ausgestaltet ist, insbesondere als Resonanzwandler.

Der Schwingkreis mag jede geeignete Zahl und Anordnung von Schaltern zur Anregung des Schwingkreises aufweisen, jedoch wird eine Halbbrücke bevorzugt, insbesondere bei nicht zu hoher benötigter Leistung, z. B. gegenüber einer teureren Vollbrücke.

Grundsätzlich ist jeder geeignete elektronische Schalter zur Anregung des Schwingkreises einsetzbar, z. B. ein Transistor in Form eines IGBT oder eines MOSFETs. Da jedoch ein IGBT aufgrund seines Stromschweifs einen vergleichsweise hohen Verlust aufweist, wird es bevorzugt, wenn mindestens einer der elektronischen Schalter ein MOSFET ist, insbesondere alle elektronischen Schalter MOSFETs sind.

Der vorgegebene Schwellwert kann beliebig geeignet gewählt werden, z. B. so, dass er eine Trägheit der Abschaltung vorauskompensiert oder eine Sicherheitsmarge bereitstellt. So kann der Schwellwert vorzugsweise so gesetzt werden, dass er ungefähr eine Zeitdauer vor Erreichen des Nulldurchgangs auslöst, die einer Zeitverzögerung der Abschaltung entspricht.

Es wird zur einfach implementierbaren und detektierbaren Erkennung der Strompolarität jedoch bevorzugt, wenn der Schwellwert im wesentlichen Null ist, also eine Nulldurchgangserkennung durchgeführt wird, bevorzugt mit Vorzeichenerkennung.

Der Schwingkreis, der mit mindestens zwei elektronischen Schaltern ausgerüstet, ist dazu eingerichtet, das Verfahren wie oben beschrieben ablaufen zu lassen.

Der Schwingkreis weist vorzugsweise mindestens auf:

- eine Stromschwellwerterkennungsschaltung zur Erkennung eines Erreichens eines Stromschwellwerts eines Stroms durch mindestens einen der Schalter;
- eine Abschalterkennungsschaltung zur Erkennung eines Abschaltens dieses mindestens einen Schalters;
- eine der Stromschwellwerterkennungsschaltung und Taktflankenerkennungsschaltung nachgeschaltete UND-Schaltung, welche bei einem gemeinsamen Eintritt einer Erkennung durch die Stromschwellwerterkennungsschaltung und einer Erkennung durch die Taktflankenerkennungsschaltung ein Signal zum Abschalten des Wandlers ausgibt.

Vorzugsweise umfasst die Stromschwellwerterkennungsschaltung eine Nulldurchgangserkennungsschaltung zur Erkennung eines Nulldurchgangs durch mindestens einen der Schalter.

Vorzugsweise umfasst die Abschalterkennungsschaltung eine Taktflankenerkennungsschaltung zur Erkennung einer den Schalter abschaltenden Taktflanke eines Taktsignals.

Vorzugsweise ist das Taktsignal ein Gatespannungssignal (z. B. bei einem MOSFET oder einem IGBT).

Vorzugsweise ist der Schwingkreis als Resonanzwandler ausgestaltet und umfasst zumindest eine Seite eines trennbaren Transformators zur Leistungsübertragung.

Das Haushaltsgerät ist mit einem solchen Schwingkreis ausgestaltet.

In den folgenden Figuren wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels schematisch genauer beschrieben. Dabei können zur besseren Übersichtlichkeit gleiche oder gleichwirkende Elemente mit gleichen Bezugszeichen versehen sein.

FIG 1 zeigt ein Schaltbild eines Schwingkreises zur Leistungsübertragung (FIG 1A) sowie dessen Frequenzgang (FIG 1B);

FIG 2 zeigt ein detaillierteres Schaltbild des Schwingkreises aus FIG 1A;

FIG 3 zeigt einen Frequenzgang des Schwingkreises aus FIG 2 im überresonanten Betrieb (FIG 3A) und im unterresonanten Betrieb (FIG 3B) für den Fall, dass eine Schaltfrequenz 100 KHz beträgt;

FIG 4 zeigt in jeweils drei Teilbildern einen Verlauf eines Drainstroms, einer Drain-Source-Spannung und einer Gate-Spannung im überresonanten Betrieb (FIG 4A) und im unterresonanten Betrieb (FIG 4B);

FIG 5 zeigt ein Diagramm einer Simulation eines Drainstroms und einer Drain-Source-Spannung im überresonanten Betrieb (FIG 5A) und im unterresonanten Betrieb (FIG 5B);

FIG 6A zeigt ein Blockschaltbild einer Resonanzerkennungsschaltung;

FIG 6B zeigt eine mögliche Realisierung der Resonanzerkennungsschaltung aus FIG 6A.

FIG 1A zeigt ein Schaltbild eines Schwingkreises 1 eines Resonanzwandlers zur Leistungsübertragung zwischen einem Leistungsteil 2 und einem davon galvanisch getrennten Verbraucherteil 3 mittels eines Transformators 4. Der Transformator 4 ist hier als Ersatzschaltbild mit einer primärseitigen Hauptinduktivität Lh1, einer sekundärseitigen Hauptinduktivität Lh2 und einer Streuinduktivität Ls dargestellt. Die primärseitige Hauptinduktivität Lh1 ist parallel zu einem Resonanzkondensator Cres geschaltet, die beide wiederum in Reihe

mit einer Resonanzspule (Resonanzdrossel) Lres geschaltet sind. Die Induktivitäten des Transformators 4, der Resonanzkondensator Cres und die Resonanzspule Lres bestimmen wesentlich die Resonanzfrequenz bzw. den Resonanzpunkt des Schwingkreises 1.

Beim Betrieb wird die primärseitige Hauptinduktivität Lh1 mit einer Wechselspannung betrieben, mit deren Frequenz die Ausgangsspannung gestellt wird. Sie kann sich z. B. an der Resonanzfrequenz befinden, sich in der Nähe der Resonanzfrequenz befinden oder auch wesentlich größer sein, und zwar beispielsweise je nach gewünschter Ausgangsspannung. Das so von der primärseitigen Hauptinduktivität Lh1 erzeugte Magnetfeld wird von der sekundärseitigen Hauptinduktivität Lh2 induktiv aufgenommen, um eine damit verbundene Last zu speisen, die hier vereinfachend als Lastwiderstand RL eingezeichnet ist.

Der Transformator 4 ist hier mit seiner primärseitigen Hauptinduktivität Lh1 zum Leistungsteil 2 zugehörig und mit seiner sekundärseitigen Hauptinduktivität Lh2 zu Verbraucherteil 3 zugehörig eingezeichnet. Zur räumlichen Trennung von Leistungsteil 2 und Verbraucherteil 3 ist der Transformator 4 zwischen seinen Hauptinduktivitäten Lh1, Lh2 trennbar. Werden die Transformatorhälften getrennt, sinken die Werte der Hauptinduktivitäten Lh1 und Lh2 stark, während der Wert der Streuinduktivität Ls steigt. Damit ändern sich die Schwingkreisparameter, und die Resonanzfrequenz des Schwingkreises steigt. Bei gleichbleibender Ansteuerfrequenz kann es so zum unterresonanten Betrieb kommen, wodurch sich die Strom- und Spannungsbelastung der Schalter gravierend ändert, wie weiter unten unter Bezug auf FIG 3A und FIG 3B genauer beschrieben.

FIG 1B zeigt den berechneten Frequenzgang des Schwingkreises aus FIG 1A aufgetragen als Amplitude der einzelnen Frequenzen des berechneten Frequenzganges in beliebigen Einheiten über die Frequenz f in KHz. Der normale Betrieb des Schwingkreises erfolgt rechts von der Resonanzfrequenz, d. h., überresonant.

Leistungsteil 2 und Verbraucherteil 3 können beispielsweise Teil eines Haushaltsgerätssystems ein. So mögen ein oder mehrere Leistungsteile 2 in eine Arbeitsfläche integriert sein, z. B. für eine Küche, oder in ein Kochfeld. Ein Verbraucherteil 3 kann dann auf die Arbeitsfläche gegenüberliegend einem der Leistungsteile 2, oder dazu leicht seitlich versetzt, aufgesetzt und betrieben werden. Ein Verbraucherteil 3 kann beispielsweise als Gargeschirr (mit dem Lastwiderstand RL in Form einer Widerstandsheizung, z. B. als Topf, Pfanne usw.) oder als Kaffeemaschine (mit dem Lastwiderstand RL in Form einer Elektronik und mehrerer Widerstandsheizungen) ausgestaltet sein.

FIG 2 zeigt den Schwingkreis 1 aus FIG 1A mit einer detaillierteren Darstellung des Leistungsteils 2. Der Leistungsteil arbeitet als Gleichstrom-Wechselstrom-Wandler 2, welcher eine an seinen Eingangsanschlüssen 5 anliegende Gleichspannung Ug von hier beispielhaft 380 V in eine Wechselspannung zum Betrieb der primärseitigen Hauptinduktivität Lh1 umwandelt (Resonanzwandler).

Der Schwingkreis 1 umfasst dazu eine Halbbrücke mit zwei elektronischen Schaltern in Form von normal leitenden MOSFETs 6. Die MOSFETs 6 sind in Reihe zwischen die Eingangsanschlüsse 5 geschaltet. Die MOSFETs 6 schalten passiv bei einem Strom kleiner Null ein und schalten aktiv einen Strom größer Null aus. Jeder der MOSFETs 6 ist parallel zu einer zugehörigen Diode 7 geschaltet, die bezüglich der Eingangsgleichspannung von 380 V sperrend angeordnet sind. Im Fall der MOSFETs 6 entsprechen die Dioden 7 den jeweiligen parasitären Bodydioden. Bei IGBTs müssen diese extra parallel geschaltet werden.

Parallel zu den MOSFETs 6 sind zwei gleiche Kondensatoren 8 in Reihe zwischen die Eingangsanschlüsse 5 geschaltet, über denen jeweils die Hälfte der Eingangsspannung abfällt. Zwi-

schen den Mittelabgriffen 9 der MOSFETs 6 und der Kondensatoren 8 sind der Resonanzkondensator Cres und die Resonanzspule bzw. Resonanzdrossel Lres ähnlich zu FIG 1A in Reihe geschaltet. Parallel zum Resonanzkondensator Cres ist, ebenfalls ähnlich zu FIG 1A, der Transformator 4 mit dem sekundärseitigen Lastwiderstand RL geschaltet. Dadurch werden zwei Teilschwingkreise erzeugt, welche die Elemente des Mittenabgriffs Lres,Cres,4 gemeinsam haben und über die MOSFETs 6 einzeln an- und abschaltbar sind.

Zur Erzeugung einer Wechselspannung am Transformator 4 bzw. zumindest an der primärseitigen Hauptinduktivität Lh1 werden die MOSFETs 6 abwechselnd über ihre jeweilige Gatespannung UG ein- und ausgeschaltet. Dadurch wird eine sinusförmige Wechselspannung mit einer Frequenz entsprechend der Taktfrequenz der MOSFETs 6 erzeugt.

FIG 3A zeigt in einer Darstellung analog zu FIG 1B einen Frequenzgang des Schwingkreises 1 aus FIG 2 bei aufgesetztem Verbraucherteil als Frequenzgang des Schwingkreises 1 aufgetragen als Amplitude der einzelnen Frequenzen des berechneten Frequenzganges in beliebigen Einheiten über die Frequenz f in KHz. In diesem Fall wird der Schwingkreis 1 überresonant betrieben, d. h., bei Frequenzen oberhalb der Resonanzfrequenz des Schwingkreises, deren Lage sich bei ca. 90 KHz befindet.

FIG 3B zeigt in einer Darstellung analog zu FIG 3A dagegen den Frequenzgang im Fall getrennter Transformatorhälften, d. h., eines stark versetzten oder entfernten Verbraucherteils. Dabei sinken die Werte der Hauptinduktivitäten Lh1 und Lh2 stark, während der Wert der Streuinduktivität Ls steigt. Folglich ändern sich die Schwingkreisparameter, und die Resonanzfrequenz des Schwingkreises steigt, deren Lage nun bei ca. 120 KHz gestrichelt angedeutet ist. Bei gleichbleibender Ansteuerfrequenz der Leistungshalbleiter von hier 100 KHz kommt es so zum unterresonanten Betrieb, wodurch sich die

Strom- und Spannungsbelastung auf die MOSFETs 6 gravierend ändert.

FIG 4A skizziert für den überresonanten Betrieb für jeweils einen Taktzyklus: (a) einen Verlauf des Transistorstroms (Drainstroms) ID durch einen der MOSFETS aus FIG 2 (oberes Teilbild); (b) einen Verlauf der Drain-Source-Spannung UDS an diesem MOSFET (mittleres Teilbild); und (c) einen Verlauf der Gate-Spannung UGS an diesem MOSFET (unteres Teilbild) über einen An/Aus-Zyklus des MOSFETs. FIG 5A zeigt in einem Diagramm einen entsprechenden gemessenen Transistorstrom (Drainstrom) ID und eine zugehörige, gemessene Drain-Source-Spannung UDS eines MOSFETs über die relative Zeit t für einen An/Aus-Zyklus in %.

Bei eingeschaltetem MOSFET (eingeschalteter Gatespannung UGS, siehe unteres Teilbild von FIG 4A) leitet dieser, so dass die Drain-Source-Spannung UDS im wesentlichen Null ist. In diesem leitenden Zustand läuft der Drainstrom ID im überresonanten Zustand von einem negativen Anfangswert kommend in den positiven Bereich hoch.

Beim Ausschalten des MOSFETs (UGS ausgeschaltet bzw. im wesentlichen Null) sperrt dieser seinen Kanal, und die Drain-Source-Spannung UDS steigt auf einen endlichen Wert an. Im gesperrten Zustand fließt kein Strom. Da der Drainstrom ID beim Ausschalten einen positiven Wert aufweist, schaltet dieser die Diode des gegenüberliegenden Schalters passiv ein und die Schaltverluste sind vernachlässigbar.

FIG 4B zeigt in analoger Ansicht zu FIG 4A einen Verlauf im unterresonanten Betrieb; und FIG 5B zeigt in analoger Ansicht zu FIG 5A einen zugehörigen gemessenen Drainstrom ID und eine zugehörige gemessene Drain-Source-Spannung UDS.

Bei eingeschaltetem, leitendem MOSFET läuft der Drainstrom ID nun typischerweise von einem positiven Anfangswert kommend

zunächst auf ein Maximum hoch, um danach in den Bereich negativer Polarität zu wechseln, während der MOSFET noch aktiv eingeschaltet ist. Dadurch wird die parasitäre Body-Diode des Transistors geflutet (Inversbetrieb). Bei folgendem Ausschalten dieses MOSFETs bzw. folgendem Einschalten des gegenüberliegenden MOSFETs auf die geflutete (langsame) Body-Diode kommt es zu hohen Strömen und damit zu hohen Verlusten, was eine Zerstörung des MOSFETs verursachen kann.

Um eine solche Zerstörung zu verhindern, wird der Schwingkreis abgeschaltet, wenn ein negativer Transistorstrom und ein Ausschalten des Transistors bzw. Einschalten des gegenüberliegenden Transistors zusammenkommen. Dies kann beispielsweise bei MOSFETs dadurch geschehen, dass bei negativem Transistorstrom eine fallende Gatespannungsflanke erkannt wird. In diesem Fall liegen getrennte bzw. versetzte Transformatorhälften und somit ein unterresonanter Betrieb vor. Als Transistorstrom lässt sich der Transistorstrom direkt am Transistor oder der Strom in der Resonanzdrossel zusammen mit dem zugehörigen Gatesignal eines Leistungstransistors auswerten. Durch Auswertung des Stromes in der Resonanzdrossel in Verbindung mit der Gatespannungsflanke ist unmittelbar, d. h., nahezu ohne Verzögerung, eine getrennte Transformatorhälfte erkennbar. Eine Zerstörung von MOSFETs durch deren geflutete parasitäre Body-Diode wird dadurch verhindert. Die Verwendung des Stroms in der Resonanzdrossel ist auch deshalb vorteilhaft, weil dieser in diesem Typ von Wandler ohnehin überwacht wird, damit Überströme durch unterschiedlichste Lastwiderstände nicht auftreten können. Es wird daher kein zusätzlicher Stromwandler benötigt.

Die Leistungselektronik lässt sich ferner so dimensionieren, dass das Ausgangsspannungsmaximum mit geringer Reserve über der Resonanzfrequenz liegt, wodurch die passiven Bauelemente besser ausgenutzt werden.

FIG 6A zeigt ein Blockschaltbild einer Resonanzerkennungsschaltung 10 bzw. Sperrschaltung zur Erkennung eines unterresonanten Betriebs des Schwingkreises aus FIG 2 bzw. Erkennung und folgendem Sperren (Ausschalten) des Schwingkreises.

Die Resonanzerkennungsschaltung 10 umfasst dazu erstens eine Stromschwellwerterkennungsschaltung 11 zur Erkennung eines Erreichens eines Stromschwellwerts eines Stroms durch mindestens einen der Schalter (insbesondere MOSFETS) und eine Abschalterkennungsschaltung 12 zur Erkennung eines Abschaltens dieses mindestens einen Schalters. Diesen beiden Erkennungsschaltungen 11,12 ist eine UND-Schaltung 13 nachgeschaltet, welche bei einem gemeinsamen Eintritt einer Erkennung durch die Stromschwellwerterkennungsschaltung und einer Erkennung durch die Taktflankenerkennungsschaltung ein Signal zum Abschalten des Schwingkreises ausgibt.

Im vorliegenden Fall ist die Stromschwellwerterkennungsschaltung 11 als Schwellwerterkennungsschaltung zur Erkennung eines Schwellwertes nahe des Nulldurchgangs in den Bereich negativer Polarität durch den betrachteten MOSFET ausgestaltet. Es wird also erkannt, ob die Bedingung ID < ID_min vorliegt, wobei ID_min einen Drainstrom-Schwellwert darstellt. Alternativ kann die Stromschwellwerterkennungsschaltung 11 als Nulldurchgangserkennungsschaltung zur Erkennung eines Nulldurchgangs in den Bereich negativer Polarität durch den betrachteten MOSFET ausgestaltet sein; es wird dann erkannt, ob die Bedingung ID = 0 oder ID < 0 vorliegt.

Ferner ist die Abschalterkennungsschaltung 12 als Taktflankenerkennungsschaltung zur Erkennung einer den MOSFET abschaltenden Taktflanke eines Taktsignals ausgestaltet. Das Taktsignal entspricht hier der Gatespannung UGS, so dass erkannt wird, ob die Bedingung d(UGS)/dt < 0 vorliegt.

In der nachgeschalteten UND-Schaltung 13 wird ein Sperrsignal zum Herunterschalten des Schwingkreises an eine Sperrschal-

tung weitergegeben, falls beide der obigen Bedingungen erfüllt sind, also der Fall nach FIG 4B vorliegt.

FIG 6B zeigt eine selbsterklärende mögliche Realisierung des Blockschaltbilds nach FIG 6A.

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

So kann statt eines MOSFETs beispielsweise auch ein IGBT verwendet werden, der vergleichsweise robust ist, aber aufgrund des Schweifstroms beim Abschalten eine relativ hohe Verlustleistung bedingt (oder jegliche andere geeignete elektronische Schalter, insbesondere Transistor). Auch kann zum Beispiel statt eines Halbbrückenwandlers ein Vollbrückenwandler eingesetzt werden, z. B. mit vier elektronischen Schaltern. Auch ist der Schwingkreis allgemein zur drahtlosen Übertragung von Energie über einen Transformator geeignet und nicht nur auf den Haushaltsbereich beschränkt. Ferner braucht nicht nur auf einen Nulldurchgang zur Erkennung eines negativ gepolten Transistorstroms abgehoben zu werden; vielmehr kann beispielsweise auch ein Erreichen eines vorbestimmten, vorher eintretenden Schwellwerts eine der Bedingungen zum Abschalten des Schwingkreises erfüllen. Dadurch wird erreicht, dass eine gewisse Trägheit bzw. Zeitverzögerung bis zum Abschalten des Schwingkreises eine negative Auswirkung hat. Folglich kann der Schwellwert insbesondere so gesetzt werden, dass er eine Zeitdauer vor Erreichen des Nulldurchgangs auslöst, die einer Zeitverzögerung der Abschaltung entspricht.

Bezugszeichenliste

1 Schwingkreis
2 Leistungsteil
3 Verbraucherteil
4 Transformator
5 Eingangsanschluss
6 MOSFET
7 Diode
8 Kondensator
9 Mittelabgriff
10 Resonanzerkennungsschaltung
11 Stromschwellwerterkennungsschaltung
12 Abschalterkennungsschaltung
13 Korrelatorschaltung
C Kapazität
Cres Resonanzkondensator
ID Drainstrom
ID_min Drainstrom-Schwellwert
L Induktivität
Lh1 primärseitige Hauptinduktivität
Lh2 sekundärseitige Hauptinduktivität
Lres Resonanzdrossel
Ls Streuinduktivität
R Widerstand
RL Lastwiderstand
UDS Drain-Source-Spannung
UGS Gate-Spannung

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines Schwingkreises (1) mit mindestens zwei elektronischen Schaltern (6), **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schwingkreis (1) abgeschaltet wird, falls im Wesentlichen während des Abschaltens und / oder nach dem Abschalten eines der Schalter (6) ein Strom durch diesen Schalter (6) einen vorgegebenen Schwellwert (ID_min) erreicht oder unterschreitet.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Schwingkreis (1) zur resonanten Anregung ausgestaltet ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Schwingkreis (1) eine Halbbrücke umfasst.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens einer der elektronischen Schalter ein MOSFET (6) ist.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass der vorgegebene Schwellwert (ID_min) im wesentlichen Null ist.

6. Schwingkreis (1) mit mindestens zwei elektronischen Schaltern (6), **dadurch gekennzeichnet, dass** er dazu eingerichtet ist, das Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche ablaufen zu lassen.

7. Schwingkreis (1) nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass er aufweist:

- eine Stromschwellwerterkennungsschaltung (11) zur Erkennung eines Erreichens oder Durchlaufens eines Stromschwellwerts (ID_min) eines Strom (ID) durch mindestens einen der Schalter (6);

- eine Abschalterkennungsschaltung (12) zur Erkennung eines Abschaltens dieses mindestens einen Schalter (6);
- eine der Stromschwellwerterkennungsschaltung (11) und der Abschalterkennungsschaltung (12) nachgeschaltete Korrelatorschaltung (13), welche bei einem gemeinsamen Eintritt einer Erkennung durch die Stromschwellwerterkennungsschaltung (11) und einer Erkennung durch die Abschalterkennungsschaltung (12) ein Signal zum Abschalten des Schwingkreises (1) ausgibt.

8. Schwingkreis (1) nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Stromschwellwerterkennungsschaltung (11) eine Nulldurchgangserkennungsschaltung zur Erkennung eines Nulldurchgangs durch mindestens einen der Schalter (6) umfasst.

9. Schwingkreis (1) nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Stromschwellwerterkennungsschaltung (11) zur Erkennung eines Erreichens oder Durchlaufens eines Stromschwellwerts (ID_min) eines Strom (ID) durch mindestens einen der Schalter (6) eingerichtet ist, welcher von Null verschieden ist.

10. Schwingkreis (1) nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Abschalterkennungsschaltung (12) eine Taktflankenerkennungsschaltung (12) zur Erkennung einer den Schalter (6) abschaltenden Taktflanke eines Taktsignals (UGS) umfasst.

11. Schwingkreis (1) nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Taktsignal ein Gatespannungssignal (UGS) ist.

12. Schwingkreis (1) nach einem der Ansprüche 7 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Korrelatorschaltung eine UND-Logik (13) umfasst.

13. Schwingkreis (1) nach einem der Ansprüche 6 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Schwingkreis (1) zur Resonanzwandlung ausgestaltet ist und zumindest eine Seite (2) eines trennbaren Transformators (4) zur Leistungsübertragung umfasst.

14. Haushaltsgerät, dadurch gekennzeichnet, dass es mit mindestens einem Schwingkreis (1) nach einem der Ansprüche 6 bis 13 ausgestattet ist.

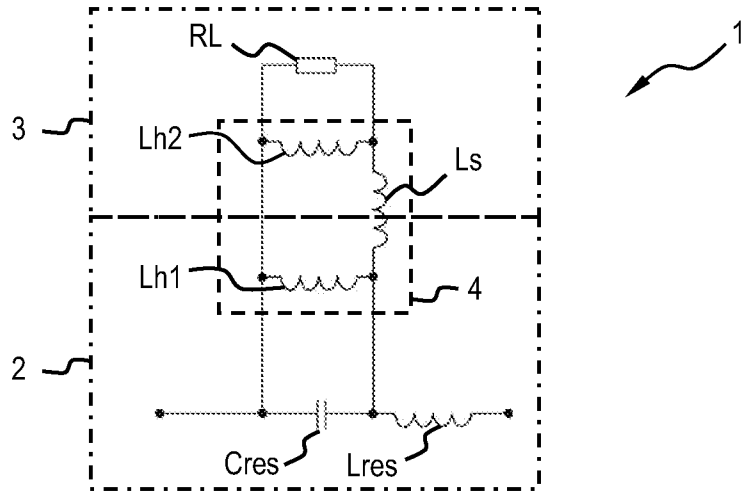


FIG 1A

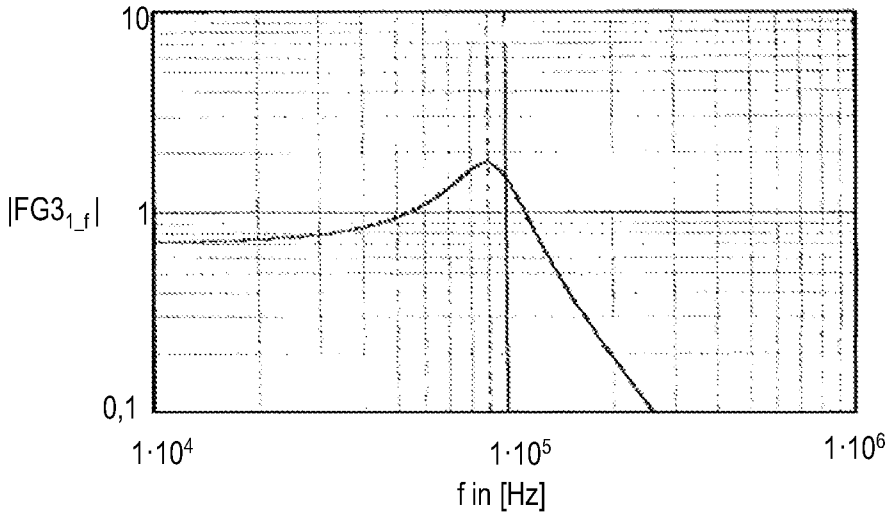


FIG 1B

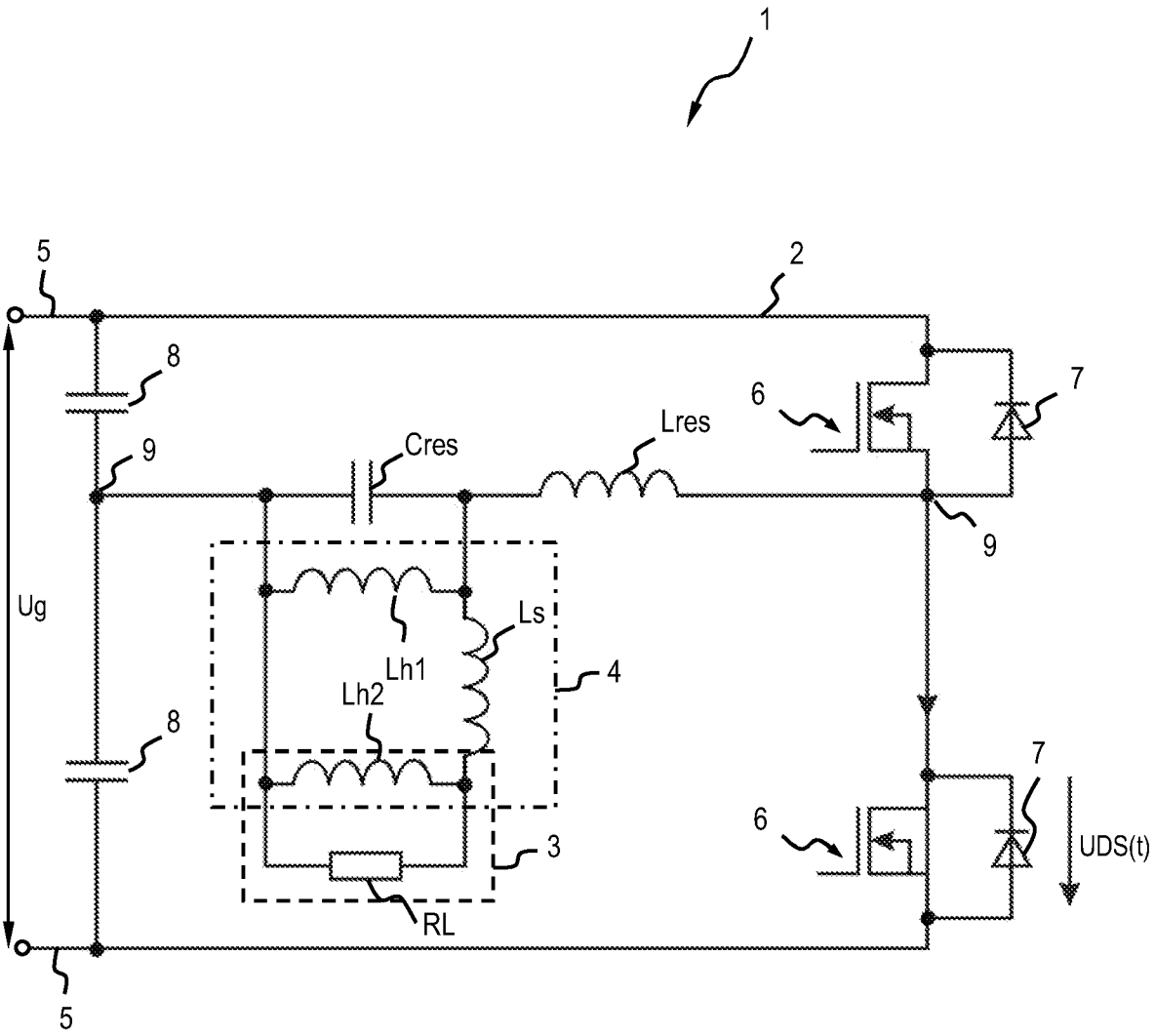


FIG 2

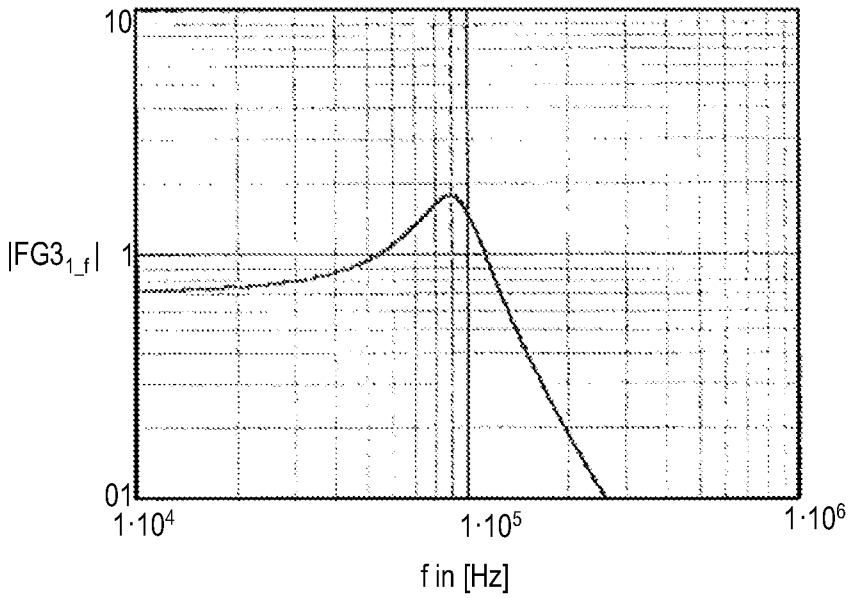

10
|FG3$_{1_f}$| 1
01
1·10^4
1·10^5
1·10^6
f in [Hz]

FIG 3A

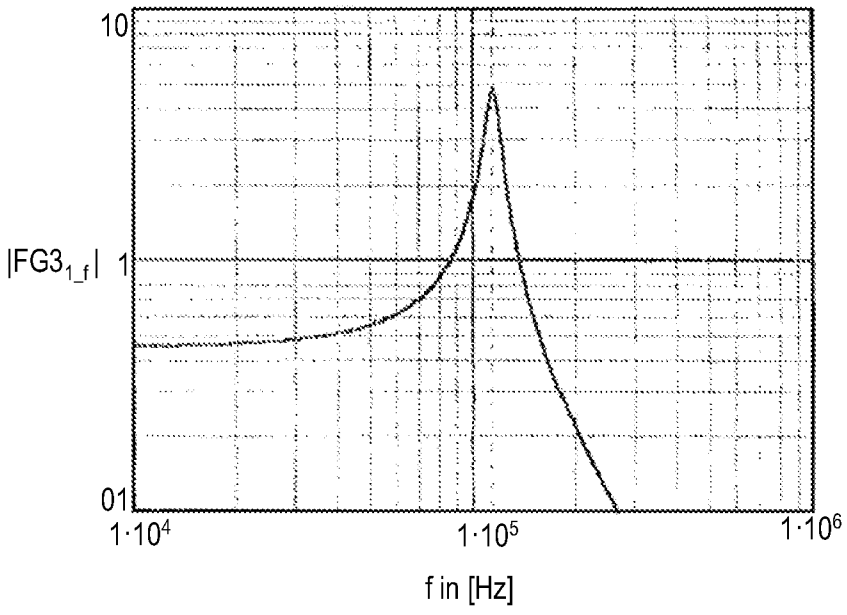

10
|FG3$_{1_f}$| 1
01
1·10^4
1·10^5
1·10^6
f in [Hz]

FIG 3B

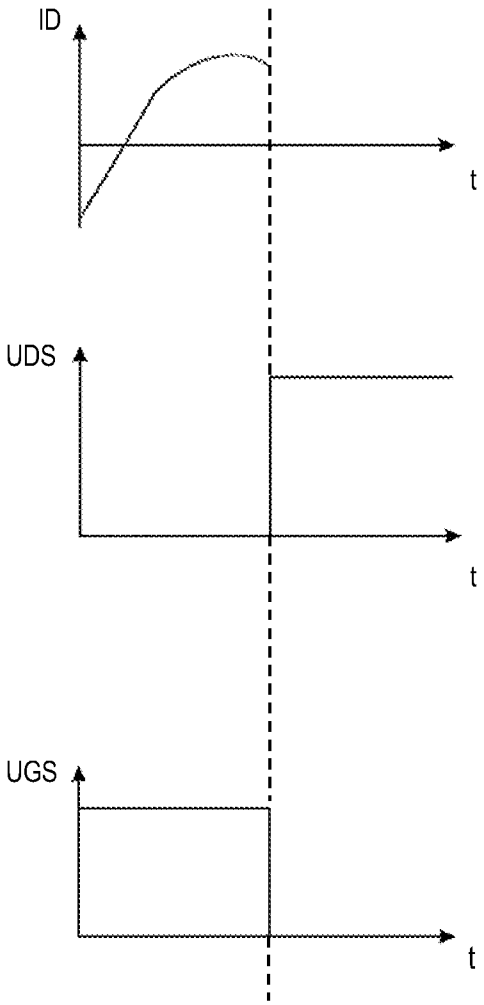


FIG 4A

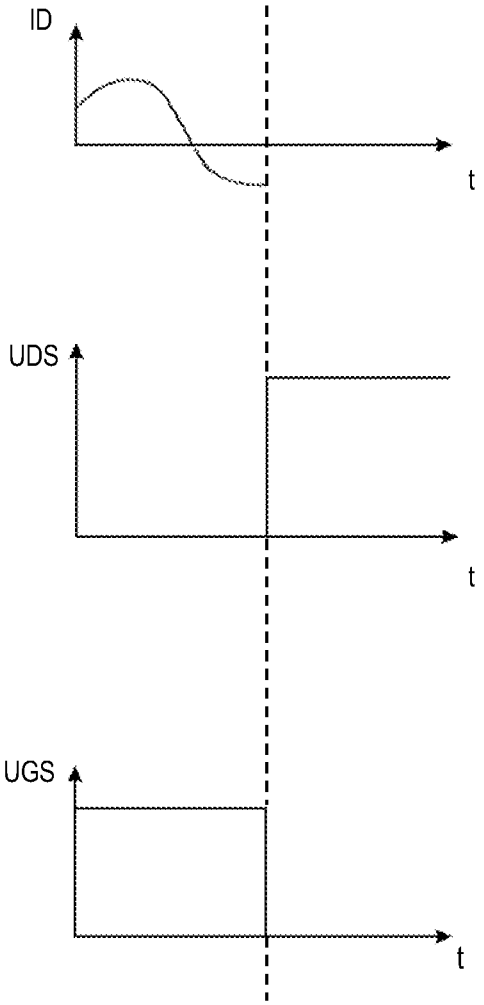


FIG 4B

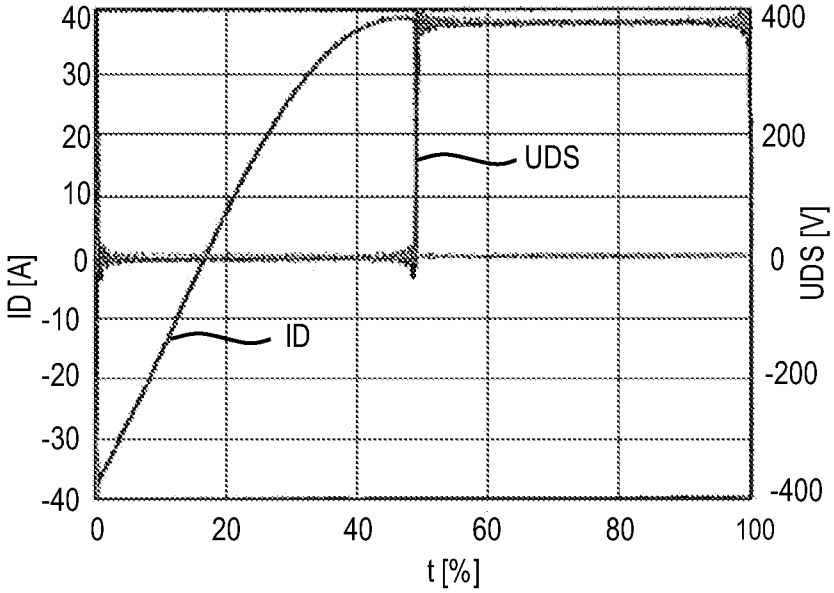

40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
ID [A]
400
200
0
-200
-400
UDS [V]
UDS
ID
0
20
40
60
80
100
t [%]

FIG 5A

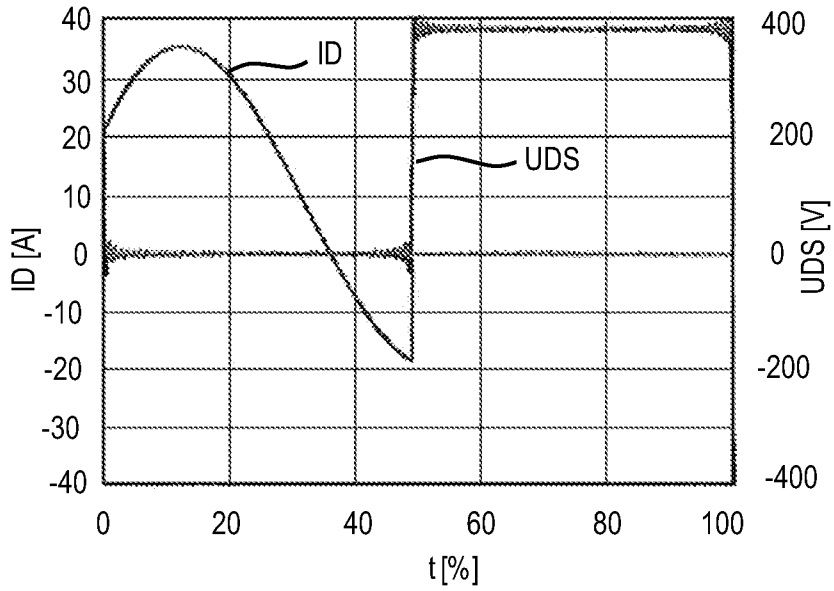

40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
ID [A]
400
200
0
-200
-400
UDS [V]
ID
UDS
0
20
40
60
80
100
t [%]

FIG 5B

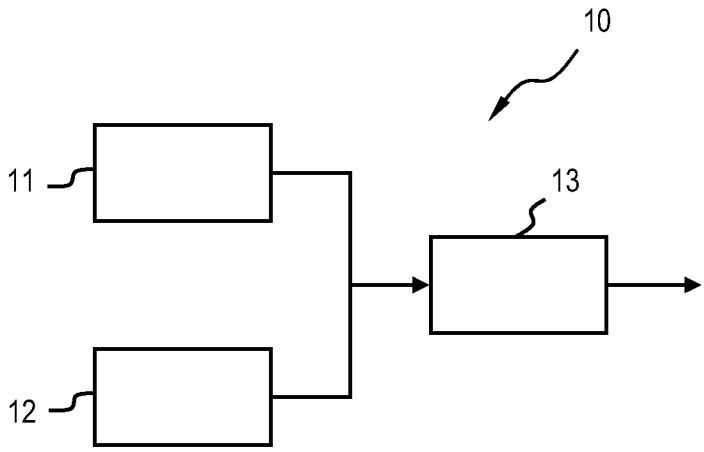

10
11
13
12

FIG 6A

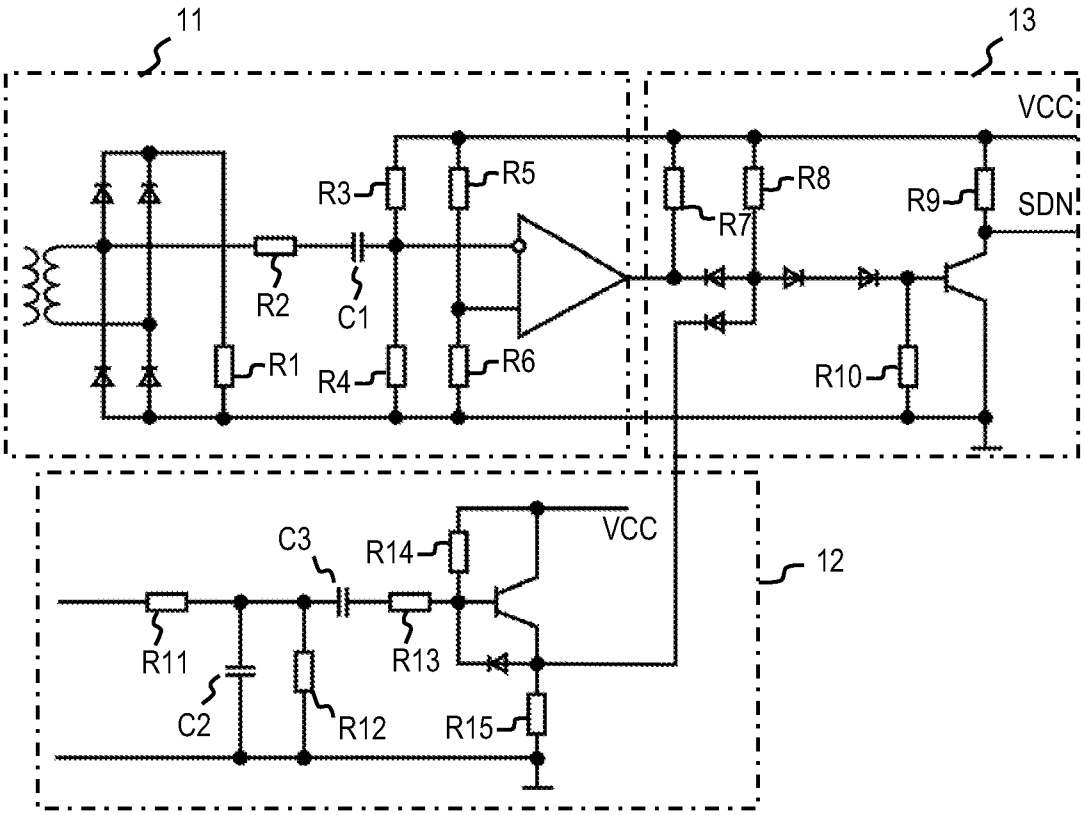

11
13
VCC
R3
R5
R8
R9
SDN
R7
R2
C1
R1
R4
R6
R10
C3
R14
VCC
12
R11
R13
C2
R12
R15

FIG 6B