



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 603 19 665 T2** 2009.04.02

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 437 829 B1**

(51) Int Cl.⁸: **H03J 5/24** (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **603 19 665.9**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **03 405 006.2**

(96) Europäischer Anmeldetag: **09.01.2003**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **14.07.2004**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **12.03.2008**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **02.04.2009**

(73) Patentinhaber:

Phonak Communications AG, Courcevaux, CH

(84) Benannte Vertragsstaaten:

CH, DE, DK, LI

(74) Vertreter:

**Grünecker, Kinkeldey, Stockmair &
Schwanhäusser, 80802 München**

(72) Erfinder:

**Callias, Francois, 2046 Fontaines, CH; Philp, Reto,
1004 Lausanne, CH; Platz, Rainer, 2000 Nechatel,
CH**

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Integrierte Schaltung zur Abstimmung eines LC-Resonators und elektrisches Gerät welches einen LC-Resonator enthält**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

Aufgabenbereich der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine integrierte Schaltung zur Abstimmung eines LC-Resonators und ein einen LC-Resonator aufweisendes Elektrogerät. Die vorliegende Erfindung betrifft insbesondere ein Verfahren und eine integrierte Schaltung zur Abstimmung eines LC-Resonators und ein einen LC-Resonator aufweisendes Elektrogerät, die alle eine variable Kapazität C_T zur Abstimmung des LC-Resonators verwenden.

Hintergrund der Erfindung

[0002] Eine Abstimmung eines LC-Resonators ist oft bei LC-Resonatoren erforderlich, die Bestandteil eines Lastkreises in einem Vorverstärker, beispielsweise einem Oszillator, sind. Insbesondere LC-Resonatoren mit Antennenspulen, die als Antennen für Funkempfänger dienen, wenn die Empfänger einen größeren Frequenzbereich als die Antennen abdecken.

[0003] Miniaturisierte Antennen beziehungsweise Antennenspulen geometrischer Abmessungen, die im Vergleich zur Wellenlänge der empfangenen Signale klein sind, haben im Allgemeinen einen besonders guten Q-Faktor. Einerseits ist die Empfindlichkeit eines kompletten Empfängersystems einschließlich Funkempfänger und an den Empfänger angeschlossener Antenne proportional zur Qualität des Q-Faktors der Antenne. Andererseits verhält sich die 3 dB-Bandbreite zum Q-Faktor der Antenne umgekehrt proportional. Eine Antenne mit einem Gütefaktor von $Q = 100$, hat eine 3 dB-Bandbreite von nur ~ 2 MHz bei einer Frequenz von 200 MHz. Deshalb ist die 3 dB-Bandbreite einer miniaturisierten Antenne im Allgemeinen viel kleiner als der Abstimmungsbereich des Empfängers.

[0004] Um den gesamten Frequenzbereich des Empfängers mit einer einzigen Antenne abzudecken, muss deshalb die Antenne abgestimmt werden, wenn das Frequenzsignal geändert wird. Typischerweise werden Antennen mittels einer variablen Kapazität abgestimmt, die parallel zur Antenne geschaltet sind.

[0005] In der Formel (1) wird die Resonanzfrequenz f_{res} eines LC-Resonators definiert, der eine Antennenspule L_A und eine parallele Abstimmkapazität C_A aufweist:

$$f_{\text{res}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_A C_A}} \quad (1)$$

[0006] Wie in Formel (2) angegeben, kann die Resonanzfrequenz f_{res} des LC-Resonators durch parallele Zuschaltung einer zusätzlichen Abstimmkapazität C_T geändert werden:

$$f_{\text{res}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_A (C_A + C_T)}} \quad (2)$$

[0007] Im Patent US 4,862,516 wird ein System zur automatischen Abstimmung der Antenne eines tragbaren Miniatur-Kommunikationsgerätes beschrieben. Gemäß US 4,862,516 wird die Antenne durch Änderung der Kapazität einer zur Antenne parallel geschalteten Kapazitätsdiode abgestimmt. Das System gemäß US 4,862,516 basiert auf dem Senden eines Abstimmmodussignals in Verbindung mit der aktiven Steuerung der Abstimmungsmittel zum Erhalten eines maximalen Signals. Die Stärke des empfangenen Signals wird gemessen, ein Steuersignal zur Abstimmung generiert und an einen D/A-Wandler weitergegeben, um die Abstimmung der Antenne durch Überwachung der Änderungen der Stärke des empfangenen Signals auszuführen. Das Senden eines Abstimmmodussignals gemäß US 4,862,516 erfordert einen speziellen Sender. Im Allgemeinen schränkt das Senden eines Abstimmungssignals die Kreuzkompatibilität zwischen verschiedenen Sender-Empfänger-Systemen ein, da der genaue Abgleich des Empfangsabstimmungskreises dem Sender bekannt sein muss. Im Prinzip müsste jedes Sender-Empfänger-Paar gemeinsam abgeglichen werden. Außerdem ist es aufgrund der Notwendigkeit, ein spezielles Abstimmmodussignal zu empfangen, unmöglich, dass das System einen Frequenzbereich automatisch und selbstständig überprüft und die Antenne abstimmt. Schließlich erfordert eine aktive Steuerung der Abstimmung mit Rückkopplungspfad ein relativ komplexes System.

[0008] Ein ähnliches Verfahren zur aktiven Steuerung der Abstimmung mit Rückkopplung wird im Patent US 5,438,688 beschrieben. Gemäß US 5,438,688 wird die Signalstärke des empfangenen Signals gemessen und von der gemessenen Signalstärke eine Antennenabstimmungsspannung zur Steuerung der Abstimmungsmittel abgeleitet. Gemäß US 5,438,688 wird ein Einflusswert für die Grobabstimmung von den vorausgehenden Abstimm-

zyklen erhalten.

[0009] In dem Patent US 5,589,844 wird ein anderes System zur aktiven Steuerung der Abstimmung beschrieben, in dem die Kapazität kapazitiver Bauteile elektromechanisch geregelt wird. Gemäß US 5,589,844 werden die Werte der Ausgangsimpedanz für jede Frequenz in einem Arbeitsbereich ermittelt und in einem nichtflüchtigen Speicher gespeichert.

[0010] In dem Patent US 5,491,715 wird ein anderes Verfahren zur auf einem Rückkopplungssignal basierenden, aktiven Abstimmung einer Antenne beschrieben, bei dem die Antenne auf eine gewünschte Frequenz abgestimmt wird, indem der Wert der mit der Antenne parallel geschalteten Kondensatoren geändert wird.

[0011] Alle Antennenabstimmungssysteme, die auf aktiver Steuerung mit einem Rückkopplungspfad basieren, haben den Nachteil, dass sie relativ komplexe aktive Steuermittel erfordern. Wenn das Antennenabstimmungssystem auf einem Chip integriert wird, vergrößert die komplexe Anlogschaltung für die aktiven Steuermittel sowohl die Siliziumfläche als auch den Stromverbrauch des Chips. Des Weiteren erfordern auf aktiver Steuerung basierende Abstimmungssysteme bei jedem Frequenzwechsel Zeit zur Optimierung der Abstimmung, was besonders nachteilig, dass heißt zeitaufwendig ist, wenn eine Kanalsuche durchgeführt wird. Wenn kein Träger-signal auf einem Kanal ansteht, könnte außerdem die Kanalsuche in einer Endlosschleife enden, da der Receiver versucht, ein nicht existierendes Signal zu optimieren. Analog erweist sich die Abstimmung der Antenne mittels aktiver Steuermechanismen als schwierig, wenn vor der Abstimmung kein Signal verfügbar ist, weil die Antenne nicht abgestimmt ist, da das zu optimierende Signal nicht verfügbar ist und zunächst "gefunden" werden muss."

Offenbarung der Erfindung

[0012] Eine Aufgabe dieser Erfindung ist es, ein Verfahren, eine integrierte Schaltung und ein Elektrogerät bereitzustellen, die sich zur Abstimmung eines LC-Resonators eignen und nicht die Nachteile des Stands der Technik aufweisen. Es ist insbesondere eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren, eine integrierte Schaltung und ein Elektrogerät bereitzustellen, die zur automatischen Abstimmung einer miniaturisierten Antenne über ein breites Frequenzband ohne Benutzung eines aktiven Steuermechanismus mit Rückkopplung in der Lage sind.

[0013] Nach der vorliegenden Erfindung werden diese Aufgaben insbesondere durch die Merkmale der unabhängigen Patentansprüche gelöst. Zusätzlich ergeben sich weitere Ausführungsformen aus den abhängigen Ansprüchen und der Beschreibung.

[0014] Eine variable Kapazität zur Abstimmung des LC-Resonators wird zum LC-Resonator parallel geschaltet. In der bevorzugten Anwendung umfasst die Induktivität des LC-Resonators eine Antennenspule und insbesondere eine miniaturisierte Antennenspule.

[0015] Gemäß der vorliegenden Erfindung werden die oben genannten Aufgaben insbesondere dadurch gelöst, dass im Augenblick der Herstellung eine maximale Resonanzfrequenz des LC-Resonators gemessen wird, wenn die dem LC-Resonator parallel zugeschaltete variable Kapazität auf ihren minimalen Wert eingestellt wird und ein codierter Wert der maximalen Resonanzfrequenz in einem ersten Speicher eines Abstimmmoduls gespeichert wird und eine minimale Resonanzfrequenz des LC-Resonators gemessen wird, wenn die variable Kapazität auf ihren maximalen Wert eingestellt wird und ein codierter Wert der minimalen Resonanzfrequenz in einem zweiten Speicher des Abstimmmoduls gespeichert wird. Der erste und zweite Speicher des Abstimmmoduls sind vorzugsweise nichtflüchtiger Speicher. Zum Zeitpunkt des Betriebs wird ein Abstimmcode zur Einstellung der variablen Kapazität auf einen Wert berechnet, mit dem eine Soll-Resonanzfrequenz des LC-Resonators als eine Interpolierung zwischen dem im ersten Speicher abgelegten, codierten Wert und dem im zweiten Speicher abgelegten, codierten Wert der Soll-Resonanzfrequenz erhalten wird, und der Wert der variablen Kapazität entsprechend dem Wert des berechneten Abstimmcodes geregelt. Der LC-Resonator und die betreffende miniaturisierte Antenne können vorteilhaft ohne die Verwendung eines aktiven Steuermechanismus mit Rückkopplung abgestimmt werden. Eine Messung der Signalstärke oder ein spezielles Abstimmmodussignal sind nicht erforderlich. Der LC-Resonator und die betreffende miniaturisierte Antenne können im der Zeit ausgeführt werden, die für eine einzige Berechnung erforderlich ist. Schließlich kann das Modul zur Abstimmung des LC-Resonators und entsprechend zur Abstimmung der miniaturisierten Antenne dank ihrer reduzierten Komplexität vollständig auf einem Chip, beispielsweise mittels des CMOS-Verfahrens, integriert werden.

[0016] In einer bevorzugten Ausführungsform weist die parallel zum LC-Resonator geschaltete variable Kapazität mehrere separate Kondensatoren auf und die Regelung des Wertes der variablen Kapazität wird entsprechend dem Wert des berechneten Abstimmcodes mittels wahlweisem Schließen von Schaltern vorgenommen, die jedem der separaten Kondensatoren zugeordnet sind. Vorzugsweise sind die Schalter als Transistoren implementiert, und die Rechenmittel, die Transistoren und die separaten Kondensatoren werden auf dem Chip, beispielsweise im CMOS-Chip, integriert. Die jüngsten CMOS-Technologien ermöglichen es, MOS-Transistorschalter mit ausreichend niedrigem Ein-Widerstand bei niedriger Spannungsversorgung zu bauen. Außerdem haben diese MOS-Transistoren geringe Störkapazitäten, weshalb sie sich für Anwendungen im VHF- und UHF-Frequenzbereich eignen.

[0017] In der bevorzugten Ausführungsform ist der Abstimmcode ein Binärcode, werden die Werte der separaten Kondensatoren binär gewichtet und die den Abstimmcode bildenden Bits den Schaltern zugewiesen, die den separaten Kondensatoren zugeordnet sind, so dass die binäre Wertigkeit jedes Bits der binären Wertigkeit des dem Schalter zugeordneten separaten Kondensators entspricht. Die Benutzung eines binären Abstimmcodes und binär gewichteter Werte der separaten Kondensatoren ermöglicht eine extrem einfache Zusammenschaltung der Rechenmittel und der variablen Kapazität und somit eine Reduzierung der Größe und des Stromverbrauchs des Abstimmmoduls beziehungsweise seiner betreffenden integrierten Schaltung.

[0018] Vorzugsweise wird der Abstimmcode als eine lineare Interpolierung berechnet, welche die Berechnung eines Verhältnisses der Differenz zwischen dem codierten, im ersten Speicher abgelegten Wert und dem codierten Wert der Soll-Resonanzfrequenz und der Differenz zwischen dem codierten, im ersten Speicher abgelegten Wert und dem codierten, im zweiten Speicher abgelegten Wert umfasst. Die Berechnung des Abstimmcodes als lineare Interpolierung ermöglicht es, Rechenmittel von sehr geringer Komplexität zu benutzen, und somit die Größe und den Stromverbrauch des Abstimmmoduls beziehungsweise seiner betreffenden integrierten Schaltung zu reduzieren.

[0019] Vorzugsweise weist der LC-Resonator einen Trimmkondensator für einen einfachen, einmaligen und unkomplizierten Abgleich des LC-Resonators im Augenblick der Herstellung auf. Der LC-Resonator kann durch Trennen aller separaten Kondensatoren von der variablen Kapazität und durch Einstellen des Trimmkondensators auf den geeigneten Abgleichswert abgeglichen werden. Durch den einmaligen Abgleich mit lokalen Abgleichsmitteln entfällt die Notwendigkeit spezieller Abstimmungssignale.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

[0020] Die vorliegende Erfindung wird detaillierter anhand von Beispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnungen erläutert, in denen

[0021] [Fig. 1](#) ein Blockdiagramm zeigt, das ein Elektrogerät mit einem LC-Resonator darstellt, der an ein Modul zur Abstimmung des LC-Resonators angeschlossen ist, wobei dieses Modul eine variable Kapazität aufweist, die durch Rechenmittel gesteuert wird.

[0022] [Fig. 2](#) ein Blockdiagramm zeigt, das einen LC-Resonator darstellt, der an eine Schaltung zur Abstimmung des LC-Resonators angeschlossen ist, wobei diese Schaltung mehrere separate, wahlweise parallel zum LC-Resonator zuschaltbare Kondensatoren aufweist.

Ausführungsform(en) der Erfindung

[0023] In den [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#), bezeichnet die Bezugsnummer **1** ein Elektrogerät, das einen LC-Resonator **2**, ein Abstimmmodul **5** und einen optionalen Funkempfänger **4** aufweist der an den LC-Resonator **2** angeschlossen ist. Wie in [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) dargestellt besitzt der LC-Resonator **2** eine Induktivität L_A und eine Kapazität C_A . In einer bevorzugten Anwendung ist die Induktivität L_A die Antennenspule, insbesondere eine miniaturisierte Antennenspule, die an den Funkempfänger **4** angeschlossen ist. Die geometrischen Abmessungen einer miniaturisierten Antennenspule sind im Vergleich zu der Wellenlänge der empfangenen Funksignale gering. Die miniaturisierte Antennenspule der Induktivität L_A ist für die Verwendung in bevorzugten Anwendungen in den Frequenzbereichen VHF (Very High Frequency, sehr hohe Frequenz, 30–300 MHz) oder UHF (Ultra High Frequency, ultrahohe Frequenz, 300 MHz–3 GHz) ausgelegt. Beispiele von miniaturisierter Antennen, die in bevorzugten Anwendungen im VHF-Frequenzbereich benutzt werden, sind Luftspulen mit einem Durchmesser von etwa 4 mm und typischerweise mit 2 oder 5 Wicklungen oder auf Ferritkerne einer annähernden Größe von $(7 \times 3 \times 2)$ mm³ gewickelte Spulen. Wie in [Fig. 2](#) dargestellt, weist die Kapazität C_A vorzugsweise einen Trimmkondensator auf, um den LC-Resonator **2** im Augenblick der Herstellung des Elektrogerätes **1** gemäß

der Formel (1) auf die gewünschte maximale Resonanzfrequenz abgleichen zu können.

[0024] Wie in [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) dargestellt, weist das Abstimmmodul **5** eine variable Kapazität C_T zur Abstimmung des LC-Resonators **2** auf, die zum LC-Resonator **2** parallel geschaltet ist. Außerdem weist das Abstimmmodul **5** die Speicher $F_{\max}$ und $F_{\min}$ zum Ablegen eines codierten Wertes einer maximalen Resonanzfrequenz beziehungsweise eines codierten Wertes einer minimalen Resonanzfrequenz sowie Rechenmittel **3** auf. Bei den Speichern $F_{\max}$ und $F_{\min}$ handelt es sich vorzugsweise um nichtflüchtige Speicher, beispielsweise um EPROM oder EEPROM. Die Rechenmittel **3** werden vorzugsweise als nichtprogrammierbare Logikschaltungen implementiert. Alternativ können die Rechenmittel mittels programmierbarer Logikschaltungen oder mittels einer Kombination aus einem Prozessor und einem Programmcode implementiert werden. Schließlich weist das Abstimmmodul **5** eine Schnittstelle E zum Empfang eines codierten Wertes einer Soll-Resonanzfrequenz f_i auf. Der codierte Wert einer Soll-Resonanzfrequenz f_i kann mittels eines Bedienelementes, wie einer Wähltastatur oder über mittels eines drahtlosen Empfängers eingegeben werden, der den codierten Wert der Soll-Resonanzfrequenz f_i über elektromagnetische Wellen von einer externen Fernsteuerung erhält. Alternativ kann die Schnittstelle E auch ein Bestandteil einer festverdrahteten oder programmierbaren Kernspeicher-Steuereinheit des Gerätes **1** sein. Diese Kernspeicher-Steuereinheit kann mit einem der oben genannten Eingabemittel, das heißt mit Bedienelementen oder drahtlosen Empfängern versehen sein, oder die Soll-Resonanzfrequenz f_i kann in der Kernspeicher-Steuereinheit erzeugt werden. Die Werte der Frequenzen können als binäre Frequenzcodes oder als dezimale Werte oder nach einem anderen Codierschema codiert werden.

[0025] Wie weiter unten noch detailliert ausgeführt wird, berechnen die Rechenmittel **3** einen Abstimmcode B zur Abstimmung des Wertes der Abstimmkapazität C. Wie in [Fig. 1](#) dargestellt, wird die Ausgabe des Abstimmcodes B von dem Rechenmittel **3** an die Abstimmkapazität weitergegeben.

[0026] In einer möglichen Ausführungsform weist die Abstimmkapazität C_T eine an einen D/A-Wandler (Digital/Analog) angeschlossene Kapazitätsdiode auf, welche die Ausgabe des Abstimmcodes B vom Rechenmittel **3** empfängt.

[0027] In der bevorzugten Ausführungsform, die in [Fig. 2](#) dargestellt wird, weist die Abstimmkapazität C_T mehrere separate Kondensatoren $C_{n-1}, \dots, C_2, C_1, C_0$ auf. Jeder der separaten Kondensatoren $C_{n-1}, \dots, C_2, C_1, C_0$ ist mit einem zugeordneten Schalter $T_{n-1}, \dots, T_2, T_1, T_0$ in Reihe geschaltet. Bei den Schaltern $T_{n-1}, \dots, T_2, T_1, T_0$ handelt es sich vorzugsweise um Transistoren. Jeder der separaten Kondensatoren $C_{n-1}, \dots, C_2, C_1, C_0$ kann durch Schließen eines zugeordneten Schalters $T_{n-1}, \dots, T_2, T_1, T_0$ wahlweise dem LC-Resonator parallel zugeschaltet werden. Die Steuer-Gates der Schalter $T_{n-1}, \dots, T_2, T_1, T_0$ sind mit den Ausgängen $B_{n-1}, \dots, B_2, B_1, B_0$ der Rechenmittel **3** verbunden, wobei jeder Ausgang $B_{n-1}, \dots, B_2, B_1, B_0$ ein Bit des Abstimmcodes B darstellt.

[0028] Ein High-Wert (GESETZT: Bit="1") an einem Ausgang $B_{n-1}, \dots, B_2, B_1, B_0$ schließt und ein Low-Wert (NICHT GESETZT: Bit="0") an einem Ausgang $B_{n-1}, \dots, B_2, B_1, B_0$ öffnet den jeweiligen Schalter $T_{n-1}, \dots, T_2, T_1, T_0$. Vorzugsweise ist der Abstimmcode B ein Binärcode und werden die Werte der separaten Kondensatoren $C_{n-1}, \dots, C_2, C_1, C_0$ binär gewichtet. Die binäre Wertigkeit jedes separaten Kondensators $C_{n-1}, \dots, C_2, C_1, C_0$ entspricht der binären Wertigkeit des Bits des am Ausgang $B_{n-1}, \dots, B_2, B_1, B_0$ dargestellten Abstimmcodes, das den an den betreffenden separaten Kondensator $C_{n-1}, \dots, C_2, C_1, C_0$ angeschlossenen Schalter $T_{n-1}, \dots, T_2, T_1, T_0$ ansteuert. Somit entspricht der Gesamtwert der Kapazität der dem LC-Resonator **2** parallel zugeschalteten, separaten Kondensatoren $C_{n-1}, \dots, C_2, C_1, C_0$ dem Wert des vom Rechenmittel **3** ausgegebenen, binären Abstimmcodes B.

[0029] Das Abstimmmodul **5** ist vorzugsweise als integrierte Schaltung auf einem Chip implementiert. Die separaten Kondensatoren $C_{n-1}, \dots, C_2, C_1, C_0$, die Schalter $T_{n-1}, \dots, T_2, T_1, T_0$, das Rechenmittel **3** und die Speicher $F_{\max}$ und $F_{\min}$ werden vorzugsweise in CMOS-Technik (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) hergestellt. Das Abstimmmodul **5** und der Funkempfänger **4** können als ein gemeinsamer Chip oder als separate Chips implementiert werden.

[0030] Im Augenblick der Herstellung des Elektrogerätes **1**, wird die variable Kapazität C_T auf ihren minimalen Wert eingestellt, das heißt in der bevorzugten Ausführungsform, dass alle separaten Kondensatoren $C_{n-1}, \dots, C_2, C_1, C_0$ durch Öffnen aller Schalter $T_{n-1}, \dots, T_2, T_1, T_0$ getrennt werden (das heißt Abstimmcode $B=0\dots000'$). Dann wird der LC-Resonator **2** auf die gewünschte maximale Resonanzfrequenz durch Regeln des Wertes der Kapazität C_A abgeglichen. Die abgeglichene maximale Resonanzfrequenz des LC-Resonators **2** wird mittels eines externen Messgerätes gemessen und als codierter Wert in dem Speicher $F_{\max}$ des Abstimmmoduls **5** abgelegt. Von dem externen Messgerät kann der codierte Wert der maximalen Resonanzfrequenz beispielsweise über die Schnittstelle E im Speicher $F_{\max}$ abgelegt werden.

[0031] Danach wird die variable Kapazität C_T auf ihren maximalen Wert eingestellt, das heißt in der bevorzugten Ausführungsform, alle separaten Kondensatoren $C_{n-1}, \dots, C_2, C_1, C_0$ durch Schließen aller Schalter $T_{n-1}, \dots, T_2, T_1, T_0$ (das heißt Abstimmcode $B = '1...111'$) mit dem LC-Resonator parallel geschaltet werden. Bei dieser Einstellung wird die minimale Resonanzfrequenz des LC-Resonators **2** gemessen und als codierter Wert in dem Speicher $F_{\min}$ des Abstimmmoduls **5** abgelegt. Von dem externen Messgerät kann der codierte Wert der minimalen Resonanzfrequenz beispielsweise über die Schnittstelle E im Speicher $F_{\min}$ abgelegt werden.

[0032] Während des Betriebs des Elektrogerätes **1** wird eine Soll-Resonanzfrequenz f_t über die Schnittstelle E in das Rechenmittel **3** eingegeben. Das Rechenmittel **3** ruft den im Speicher $F_{\max}$ abgelegten, codierten Wert der maximalen Resonanzfrequenz und den im Speicher $F_{\min}$ abgelegten, codierten Wert der minimalen Resonanzfrequenz ab, und berechnet einen Abstimmcode B als eine Interpolierung zwischen dem codierten Wert der maximalen Resonanzfrequenz und dem codierten Wert der minimalen Resonanzfrequenz für den empfangenen codierten Wert der Soll-Resonanzfrequenz f_t .

[0033] In ihrer einfachsten Form kann es sich bei der Berechnung um eine lineare Interpolierung gemäß der Formel (3) handeln, wobei $f_{\max}$ und $f_{\min}$ die in den Speichern $F_{\max}$ und $F_{\min}$ abgelegten Werte darstellen:

$$B \approx \frac{f_{\max} - f_t}{f_{\max} - f_{\min}} \quad (3)$$

[0034] In der Ausführungsform, in der die Kapazität C_T mehrere separate Kondensatoren $C_{n-1}, \dots, C_2, C_1, C_0$ aufweist, entspricht der Wert der variablen Kapazität C_T der Summe aller separaten Kondensatoren $C_{n-1}, \dots, C_2, C_1, C_0$, die mit dem LC-Resonator **2** parallel geschaltet sind, wie dies in der Formel (4) definiert wird, wobei $B[i]$ den Bits des Abstimmcode B an den Ausgängen B_{n-1}, B_2, B_1, B_0 entspricht:

$$C_T \approx \sum_{i=0}^{n-1} C_i \cdot B[i] \quad (4)$$

[0035] Im Fall einer binären Codierung der Frequenzwerte $f_{\max}$, $f_{\min}$ und f_t , wird der Abstimmcode B mit dem höchstwertigen Bit $B[n-1]$ und dem niedrigstwertigen Bit $B[0]$ gemäß Formel (5) ermittelt, wobei $BIN[x]$ der binäre Ausdruck von x ist:

$$B\{n-1:0\} = BIN \left[\frac{f_{\max} - f_t}{f_{\max} - f_{\min}} \cdot (2^n - 1) \right] \quad (5)$$

[0036] Der vom Rechenmittel **3** berechnete Abstimmcode $B[n-1:0]$ wird den Ausgängen $B_{n-1}, \dots, B_2, B_1, B_0$ zugewiesen, die von den Ausgängen $B_{n-1}, \dots, B_2, B_1, B_0$ angesteuerten Schalter $T_{n-1}, \dots, T_2, T_1, T_0$, mit einem gesetzten Bit, werden geschlossen und die zugeordneten, separaten Kondensatoren C_2, C_1, C_0 dem LC-Resonator **2** parallel zugeschaltet.

[0037] Der Wert der Abstimmkapazität C_T wird folglich gemäß dem berechneten Abstimmcode B eingestellt und die Resonanzfrequenz des LC-Resonators **2** gemäß der Formel (2) auf die Soll-Resonanzfrequenz f_t abgestimmt. Der LC-Resonator **2** kann durch paralleles Zuschalten der separaten Kondensatoren $C_{n-1}, \dots, C_2, C_1, C_0$ zum LC-Resonator **2** entsprechend der Bits $B[n-1:0]$ des Abstimmcodes B auf jede Resonanzzwischenfrequenz im Bereich von $f_{\min}$ bis $f_{\max}$ abgestimmt werden.

[0038] Die sich ergebende Gesamtkapazität C_{Total} , welche die Kapazität C_A und die variable Kapazität C_T umfasst, ist in Formel (6) definiert:

$$C_{\text{total}} = C_A + C_n \cdot \sum_{i=0}^{n-1} 2^i \cdot B[i] \quad (6)$$

[0039] Die sich ergebende Resonanzfrequenz f_{res} des LC-Resonators wird in Formel (7) angegeben:

$$f_{\text{res}} = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_A C_{\text{total}}}} \quad (7)$$

[0040] Aufgrund der Linearisierung der Funktion gemäß Formel (1) in einem begrenzten Frequenzbereich ergibt sich nur eine geringe Abweichung. Bei der Benutzung von zehn Bits für die Codierung der Frequenz und der Benutzung von fünf separaten Kondensatoren ($n = 5$) zur Abstimmung eines LC Resonators **2** mit einer Antennenspule wird sich beispielsweise eine Antennendämpfung von weniger als einem Dezibel (< 1 dB) er-

geben, ein Wert, der mehr oder weniger zu vernachlässigen ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Abstimmung eines LC-Resonators (2), das eine zum LC-Resonator (2) parallele Zuschaltung einer variablen Kapazität (C_T) umfasst, wobei das Verfahren außerdem folgende Schritte umfasst: Messen einer maximalen Resonanzfrequenz des LC-Resonators (2), wobei die variable Kapazität (C_T) auf ihren minimalen Wert eingestellt wird, und Speichern eines codierten Wertes der maximalen Resonanzfrequenz in einem ersten Speicher ($F_{\max}$), Messen einer minimalen Resonanzfrequenz des LC-Resonators (2), wobei die variable Kapazität (C_T) auf ihren maximalen Wert eingestellt wird, und Speichern eines codierten Wertes der minimalen Resonanzfrequenz in einem zweiten Speicher ($F_{\min}$), Berechnen eines Abstimmcodes (B) zur Einstellung der variablen Kapazität (C_T) auf einen Wert, mit dem eine Soll-Resonanzfrequenz (f_i) des LC-Resonators erhalten wird, wobei der Abstimmcode (B) als eine Interpolierung für einen codierten Wert der Soll-Resonanzfrequenz (f_i) zwischen dem im ersten Speicher ($F_{\max}$) abgelegten, codierten Wert und dem im zweiten Speicher ($F_{\min}$) abgelegten, codierten Wert berechnet wird und Regelung des Wertes der variablen Kapazität (C_T) entsprechend dem Wert des berechneten Abstimmcodes (B).
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Regelung des Wertes der variablen Kapazität (C_T) entsprechend dem Wert des berechneten Abstimmcodes (B) durch zum LC-Resonator (2) parallele Zuschaltung von ausgewählten separaten Kondensatoren ($C_{n-1}, \dots, C_2, C_1, C_0$) der variablen Kapazität (C_T) mittels Schließen von Schaltern ($T_{n-1}, \dots, T_2, T_1, T_0$) vorgenommen wird, die jedem der entsprechend dem Wert des berechneten Abstimmcodes (B) ausgewählten separaten Kondensatoren ($C_{n-1}, \dots, C_2, C_1, C_0$) zugeordnet sind.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass ein Binärcode als Abstimmcode (B) benutzt wird, dass die Werte der separaten Kondensatoren ($C_{n-1}, \dots, C_2, C_1, C_0$) binär gewichtet werden, und dass die den Abstimmcode (B) bildenden Bits den Schaltern ($T_{n-1}, \dots, T_2, T_1, T_0$) zugewiesen werden, die den separaten Kondensatoren ($C_{n-1}, \dots, C_2, C_1, C_0$) zugeordnet sind, so dass die binäre Wertigkeit jedes Bits der binären Wertigkeit des dem Schalter ($T_{n-1}, \dots, T_2, T_1, T_0$) zugeordneten separaten Kondensators ($C_{n-1}, \dots, C_2, C_1, C_0$) entspricht.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstimmcode (B) als eine lineare Interpolierung berechnet wird, welche die Berechnung eines Verhältnisses der Differenz zwischen dem codierten, im ersten Speicher ($F_{\max}$) abgelegten Wert und dem codierten Wert der Soll-Resonanzfrequenz (f_i) und der Differenz zwischen dem codierten, im ersten Speicher abgelegten Wert ($F_{\max}$) und dem codierten, im zweiten ($F_{\min}$) Speicher abgelegten Wert umfasst.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass es außerdem vor dem Messen der maximalen Resonanzfrequenz des LC-Resonators (2) die Trennung aller separaten Kondensatoren ($C_{n-1}, \dots, C_2, C_1, C_0$) von der variablen Kapazität (C_T) und die Einstellung eines Trimmkondensators des LC-Resonators (2) auf einen Kalibrierwert, mit dem eine gewünschte maximale Resonanzfrequenz des LC-Resonators (2) erhalten wird, umfasst, und dass vor dem Messen der minimalen Resonanzfrequenz des LC-Resonators (2) die zum LC-Resonator (2) parallele Zuschaltung aller separaten Kondensatoren ($C_{n-1}, \dots, C_2, C_1, C_0$) der variablen Kapazität (C_T) umfasst.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass es die Messung der maximalen Resonanzfrequenz und der minimalen Resonanzfrequenz während der Herstellung eines den LC-Resonator (2) aufweisenden Elektrogerätes (1) und die Speicherung der gemessenen maximalen Resonanzfrequenz sowie der gemessenen minimalen Resonanzfrequenz in nichtflüchtigen Speichern umfasst.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass eine Antennenspule, und insbesondere eine miniaturisierte Antennenspule als Induktivität (L_A) des LC-Resonators (2) verwendet wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass für die Schalter ($T_{n-1}, \dots, T_2, T_1, T_0$) Transistoren verwendet werden, und dass die Transistoren und die separaten Kondensatoren ($C_{n-1}, \dots, C_2, C_1, C_0$) der variablen Kapazität (C_T) auf einem Chip integriert sind.
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die separaten Kondensatoren ($C_{n-1}, \dots, C_2,$

C_1, C_0) der variablen Kapazität (C_T) auf einem CMOS-Chip integriert sind, und dass für die Schalter ($T_{n-1}, \dots, T_2, T_1, T_0$) MOS-Transistoren verwendet werden.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass ein LC-Resonator (2) mit einer Resonanzfrequenz im VHF- oder UHF-Frequenzbereich verwendet wird.

11. Elektrogerät (1), das einen LC-Resonator (2) und eine parallel zum LC-Resonator (2) geschaltete, variable Kapazität (C_T) aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass das Elektrogerät (1) einen ersten Speicher ($F_{\max}$) aufweist, in dem ein codierter Wert einer maximalen Resonanzfrequenz des LC-Resonators (2) gespeichert ist, der für die auf ihren minimalen Wert eingestellte, variable Kapazität (C_T) gemessen wurde, dass das Elektrogerät (1) einen zweiten Speicher ($F_{\min}$) aufweist, in dem ein codierter Wert einer minimalen Resonanzfrequenz des LC-Resonators (2) gespeichert ist, der für die auf ihren maximalen Wert eingestellte, variable Kapazität (C_T) gemessen wurde, dass das Elektrogerät (1) ein Rechenmittel (3) zur Berechnung eines Abstimmcodes (B) zur Einstellung der variablen Kapazität (C_T) auf einen Wert aufweist, mit dem eine Soll-Resonanzfrequenz (f_i) des LC-Resonators (2) erhalten wird, wobei das Rechenmittel (3) mit dem ersten Speicher ($F_{\max}$) und mit dem zweiten Speicher ($F_{\min}$) verbunden ist, und der Abstimmcode (B) als eine Interpolierung für einen codierten Wert der Soll-Resonanzfrequenz (f_i) zwischen dem im ersten Speicher ($F_{\max}$) abgelegten, codierten Wert und dem im zweiten Speicher ($F_{\min}$) abgelegten, codierten Wert berechnet wird, und dass das Elektrogerät (1) Mittel zur Regelung des Wertes der variablen Kapazität (C_T) entsprechend des Wertes des berechneten Abstimmcodes (B) aufweist.

12. Elektrogerät (1) nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die variable Kapazität (C_T) mehrere separate Kondensatoren ($C_{n-1}, \dots, C_2, C_1, C_0$) und zu jedem der separaten Kondensatoren ($C_{n-1}, \dots, C_2, C_1, C_0$) zugeordnete Schalter ($T_{n-1}, \dots, T_2, T_1, T_0$) zur wahlweisen, zum LC-Resonator (2) parallelen Zuschaltung der separaten Kondensatoren ($C_{n-1}, \dots, C_2, C_1, C_0$) aufweist, und dass das Elektrogerät (1) Mittel zur zum LC-Resonator (2) parallelen Zuschaltung von unter den separaten Kondensatoren ($C_{n-1}, \dots, C_2, C_1, C_0$) ausgewählten Kondensatoren durch Schließen der Schalter ($T_{n-1}, \dots, T_2, T_1, T_0$) aufweist, die jedem der entsprechend dem Wert des berechneten Abstimmcodes (B) ausgewählten separaten Kondensatoren ($C_{n-1}, \dots, C_2, C_1, C_0$) zugeordnet sind.

13. Elektrogerät (1) nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstimmcode (B) ein Binärcode ist, dass die Werte der separaten Kondensatoren ($C_{n-1}, \dots, C_2, C_1, C_0$) binär gewichtet werden, und dass das Rechenmittel (3) und die Schalter ($T_{n-1}, \dots, T_2, T_1, T_0$) miteinander verbunden sind, wobei jede Verbindung zwischen dem Rechenmittel (3) und einem der Schalter ($T_{n-1}, \dots, T_2, T_1, T_0$) ein Bit des Abstimmcodes (B) überträgt und die binäre Wertigkeit des Bits der binären Wertigkeit des dem Schalter zugeordneten, separaten Kondensators ($C_{n-1}, \dots, C_2, C_1, C_0$) entspricht.

14. Elektrogerät (1) nach einem der Ansprüche 11 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass das Rechenmittel (3) des Elektrogerätes (1) zur linearen Interpolierung des Abstimmcodes (B) konzipiert ist, wobei es ein Verhältnis der Differenz zwischen dem codierten, im ersten Speicher ($F_{\max}$) abgelegten Wert und dem codierten Wert der Soll-Resonanzfrequenz (f_i) und der Differenz zwischen dem codierten, im ersten Speicher abgelegten Wert ($F_{\max}$) und dem codierten, im zweiten ($F_{\min}$) Speicher abgelegten Wert berechnet.

15. Elektrogerät (1) nach einem der Ansprüche 12 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass der LC-Resonator (2) einen Trimmkondensator aufweist, um den LC-Resonator (2) auf eine gewünschte maximale Resonanzfrequenz des LC-Resonators zu kalibrieren, wenn alle separaten Kondensatoren ($C_{n-1}, \dots, C_2, C_1, C_0$) der variablen Kapazität (C_T) getrennt sind.

16. Elektrogerät (1) nach einem der Ansprüche 11 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Speicher ($F_{\max}$) und der zweite Speicher ($F_{\min}$) nichtflüchtige Speicher sind.

17. Elektrogerät (1) nach einem der Ansprüche 11 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass der LC-Resonator (2) eine Antennenspule und insbesondere eine miniaturisierte Antennenspule aufweist, und dass das Elektrogerät (1) einen an diese Antennenspule angeschlossenen Funkempfänger (4) aufweist.

18. Elektrogerät (1) nach einem der Ansprüche 12 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Schalter ($T_{n-1}, \dots, T_2, T_1, T_0$) Transistoren sind, und dass das Rechenmittel (3), die Transistoren und die separaten Kondensatoren ($C_{n-1}, \dots, C_2, C_1, C_0$) der variablen Kapazität (C_T) auf einem Chip integriert sind.

19. Elektrogerät (1) nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass die separaten Kondensatoren (C_{n-1} , ..., C_2 , C_1 , C_0) der variablen Kapazität (C_T) auf einem CMOS-Chip integriert sind, und dass für die Schalter (T_{n-1} , ..., T_2 , T_1 , T_0) MOS-Transistoren verwendet werden.

20. Elektrogerät (1) nach einem der Ansprüche 11 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass der LC-Resonator (2) mit einer Resonanzfrequenz im VHF- oder UHF-Frequenzbereich verwendet wird.

21. Integrierte Schaltung, die eine variable Kapazität (C_T) zur Abstimmung eines externen LC-Resonators (2) aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass die integrierte Schaltung einen ersten Speicher ($F_{\max}$) aufweist, um in ihm einen codierten Wert einer maximalen Resonanzfrequenz des externen LC-Resonators (2) zu speichern, der im parallel zum LC-Resonator (2) zugeschalteten Zustand der integrierten Schaltung für die auf ihren minimalen Wert eingestellte, variable Kapazität (C_T) gemessen wurde, dass die integrierte Schaltung einen zweiten Speicher ($F_{\min}$) aufweist, um in ihm einen codierten Wert einer minimalen Resonanzfrequenz des externen LC-Resonators (2) zu speichern, der im parallel zum LC-Resonator (2) zugeschalteten Zustand der integrierten Schaltung für die auf ihren maximalen Wert eingestellte, variable Kapazität (C_T) gemessen wurde, dass die integrierte Schaltung Rechenmittel (3) zur Berechnung eines Abstimmcodes (B) zur Einstellung der variablen Kapazität (C_T) auf einen Wert aufweist, mit dem eine Soll-Resonanzfrequenz (f_i) des externen LC-Resonators (2) im parallel zum LC-Resonator (2) zugeschalteten Zustand der integrierten Schaltung erhalten wird, wobei das Rechenmittel (3) mit dem ersten Speicher ($F_{\max}$) und mit dem zweiten Speicher ($F_{\min}$) verbunden ist und der Abstimmcode (B) als eine Interpolierung für einen codierten Wert der Soll-Resonanzfrequenz (f_i) zwischen dem im ersten Speicher ($F_{\max}$) abgelegten, codierten Wert und dem im zweiten Speicher ($F_{\min}$) abgelegten, codierten Wert berechnet wird, und dass die integrierte Schaltung Mittel zur Regelung des Wertes der variablen Kapazität (C_T) entsprechend des Wertes des berechneten Abstimmcodes (B) aufweist.

22. Integrierte Schaltung nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass die variable Kapazität (C_T) der integrierten Schaltung mehrere separate Kondensatoren (C_{n-1} , ..., C_2 , C_1 , C_0) und zu jedem der separaten Kondensatoren (C_{n-1} , ..., C_2 , C_1 , C_0) zugeordnete Schalter (T_{n-1} , ..., T_2 , T_1 , T_0) zur wahlweisen, zum externen LC-Resonator (2) parallelen Zuschaltung der separaten Kondensatoren (C_{n-1} , ..., C_2 , C_1 , C_0) aufweist, und dass die integrierte Schaltung Mittel zur zum externen LC-Resonator (2) parallelen Zuschaltung von unter den separaten Kondensatoren (C_{n-1} , ..., C_2 , C_1 , C_0) ausgewählten Kondensatoren durch Schließen der Schalter (T_{n-1} , ..., T_2 , T_1 , T_0) aufweist, die den entsprechend dem Wert des berechneten Abstimmcodes (B) ausgewählten separaten Kondensatoren (C_{n-1} , ..., C_2 , C_1 , C_0) zugeordnet sind.

23. Integrierte Schaltung nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstimmcode (B) ein Binärcode ist, dass die Werte der separaten Kondensatoren (C_{n-1} , ..., C_2 , C_1 , C_0) binär gewichtet werden, und dass das Rechenmittel (3) und die Schalter (T_{n-1} , ..., T_2 , T_1 , T_0) miteinander verbunden sind, wobei, jede Verbindung zwischen dem Rechenmittel (3) und einem der Schalter (T_{n-1} , ..., T_2 , T_1 , T_0) ein Bit des Abstimmcodes (B) überträgt, wobei die binäre Wertigkeit des Bits der binären Wertigkeit des dem Schalter zugeordneten separaten Kondensators (C_{n-1} , ..., C_2 , C_1 , C_0) entspricht.

24. Integrierte Schaltung nach einem der Ansprüche 21 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass die Rechenmittel (3) zur Berechnung des Abstimmcodes (B) als lineare Interpolierung konzipiert sind, wobei sie ein Verhältnis der Differenz zwischen dem codierten, im ersten Speicher ($F_{\max}$) abgelegten Wert und dem codierten Wert der Soll-Resonanzfrequenz (f_i) und der Differenz zwischen dem codierten, im ersten Speicher abgelegten Wert ($F_{\max}$) und dem codierten, im zweiten ($F_{\min}$) Speicher abgelegten Wert berechnen.

25. Integrierte Schaltung nach einem der Ansprüche 21 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Speicher ($F_{\max}$) und der zweite Speicher ($F_{\min}$) nichtflüchtige Speicher sind.

26. Integrierte Schaltung nach einem der Ansprüche 21 bis 25, dadurch gekennzeichnet, dass die separaten Kondensatoren (C_{n-1} , ..., C_2 , C_1 , C_0) auf einem CMOS-Chip integriert sind, und dass für die Schalter (T_{n-1} , ..., T_2 , T_1 , T_0) MOS-Transistoren verwendet werden.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

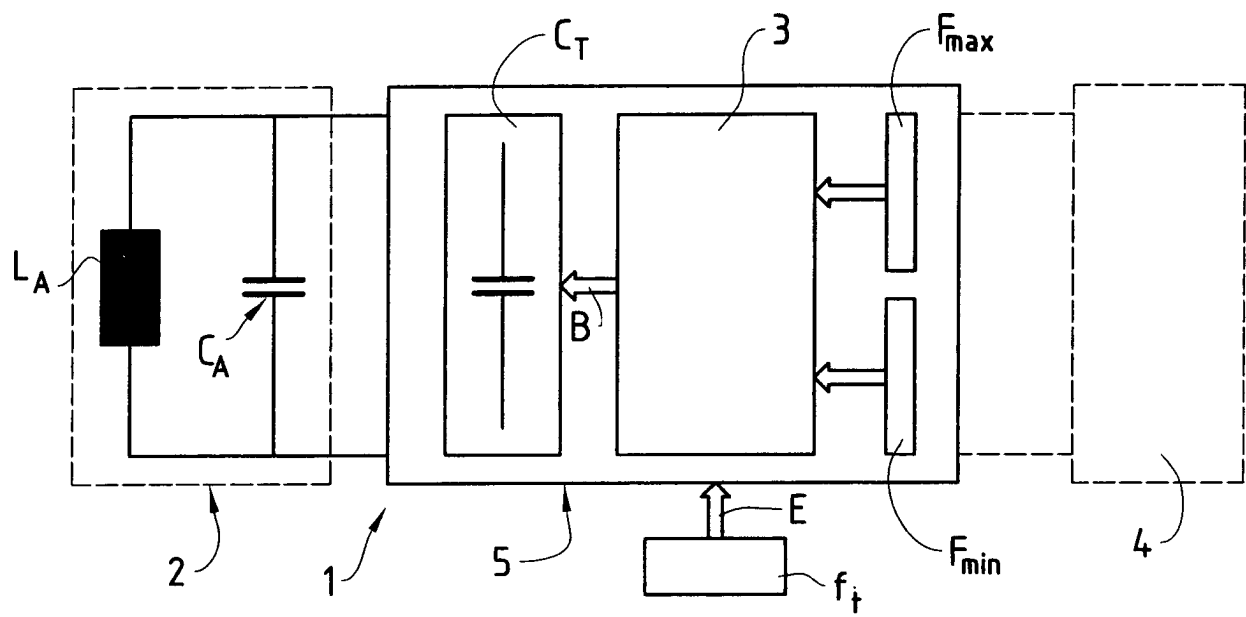


FIG. 1

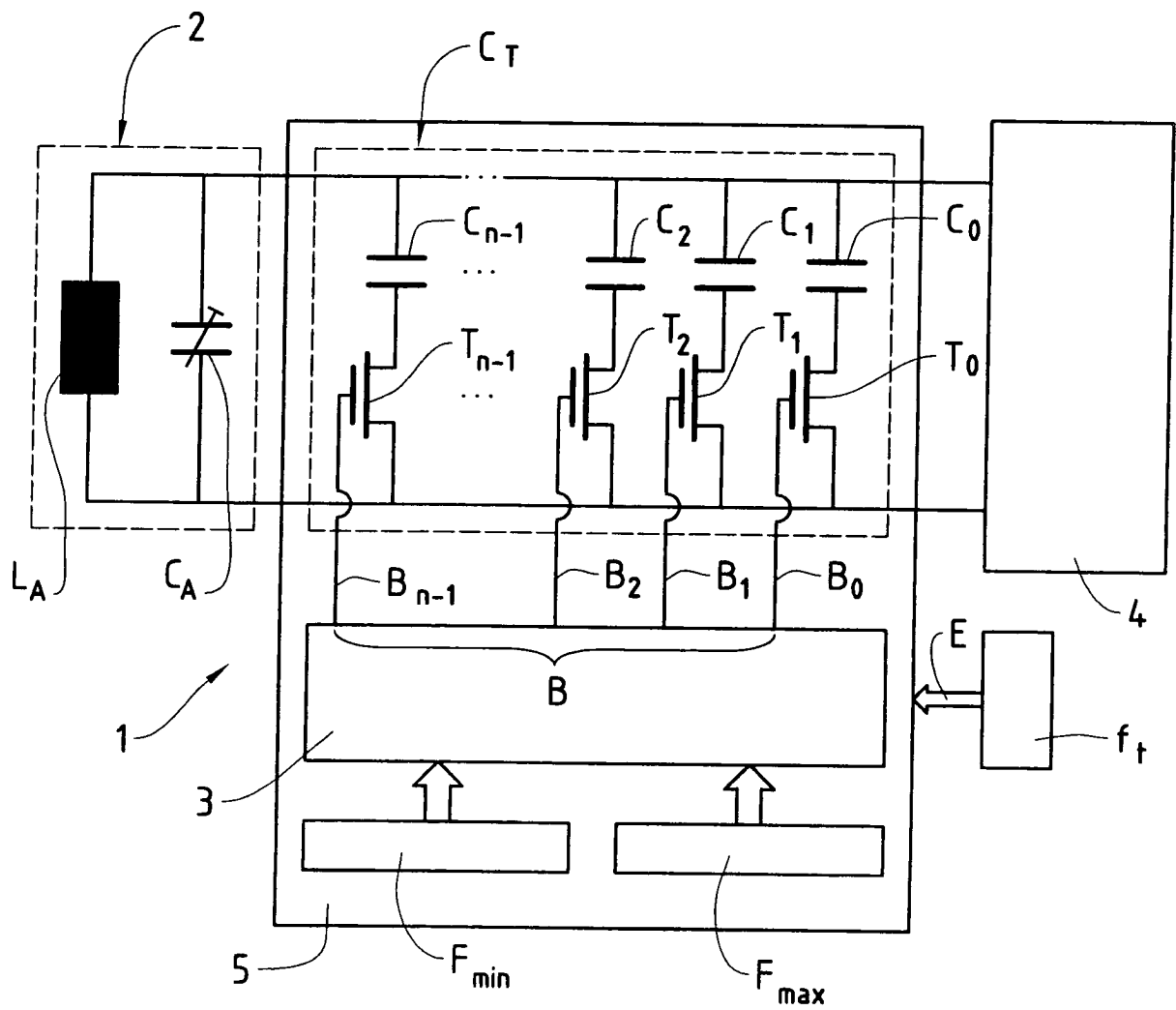


FIG. 2