



(11) EP 2 003 659 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
17.12.2008 Patentblatt 2008/51(51) Int Cl.:
H01F 17/00 (2006.01) **H01F 27/29 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: 08010431.8

(22) Anmeldetag: 09.06.2008

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

(30) Priorität: 12.06.2007 DE 102007027612

(71) Anmelder: **ATMEL Duisburg GmbH**
47057 Duisburg (DE)

(72) Erfinder: **Ei Rai, Samir**
Colorado Springs
80906 CO (US)

(74) Vertreter: **Koch Müller**
Patentanwaltsgeellschaft mbH
Maastrasse 32/1
69123 Heidelberg (DE)

(54) Monolithisch integrierte Induktivität

(57) Monolithisch integrierte Induktivität (10), Verfahren zur Ausbildung und Verwendung zweier monolithisch integrierter Spulen,
 - mit einer einen ersten Induktivitätswert (L_1) aufweisenden ersten Spule (11),
 - mit mindestens einer parallel zur ersten Spule (11) geschalteten und einen zweiten Induktivitätswert (L_2) aufweisenden zweiten Spule (12) zur Bildung einer Gesamtinduktivität (L), und
 - mit Zuleitungen (13a, 13b) zur ersten Spule (11) und

zur zweiten Spule (12),
 - bei der die erste Spule (11) mindestens zwei in einem Abstand (d) geführte erste Schleifen (11a, 11b) mit einer Bahnbreite (b) aufweist,
 - die zweiten Spule (12) mindestens zwei in dem Abstand (d) geführte zweite Schleifen (12a, 12b) mit der Bahnbreite (b) aufweist.
 - bei der die ersten Schleifen (11a, 11b) eine magnetische Kopplung (ω_M) ausbilden, und
 - bei der die zweiten Schleifen (12a, 12b) eine magnetische Kopplung (ω_M) ausbilden.

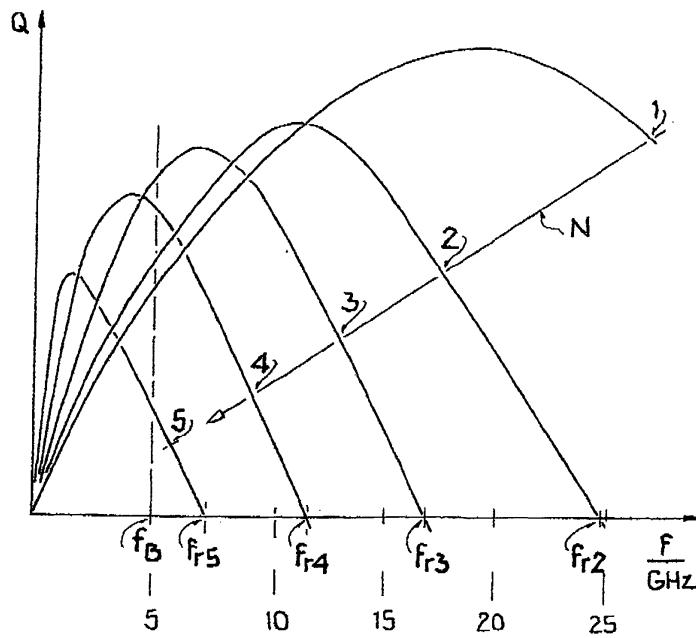


FIG.4

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine monolithisch integrierte Induktivität.

[0002] Ein Ersatzschaltbild einer Spule für Hochfrequenzanwendungen ist in der Fig. 1 dargestellt. Die Spule weist eine Induktivität L auf. Leitungswiderstände und andere Verluste eines Hochfrequenzsignals sind durch den Widerstand $R_L(f)$ repräsentiert, wobei der Widerstandswert von der Frequenz f des Hochfrequenzsignals abhängig ist. Der Widerstand $R_L(f)$ ist von dem Hautwiderstand (skin-Effekt) der Wicklung abhängig und ist proportional zu Wurzel aus der Frequenz f . Parallel zu der Reihenschaltung aus Induktivität L und Widerstand $R_L(f)$ wirkt die parasitäre Kapazität C_L . Induktivität L , Widerstand $R_L(f)$ und die parasitäre Kapazität C_L wirken als gedämpfter Parallelschwingkreis mit der Parallelresonanzfrequenz

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_L}} \quad (1)$$

[0003] Aus "Halbleiter-Schaltungstechnik" U. Tietze, Ch. Schenk 12. Auflage, 2002, Seite 1329 sind Diagramme des Betrags der Impedanz und der Spulengüte von SMD-Spulen der Baugröße 1206 bekannt, deren Impedanz $|Z|$ und Güte Q_L in den Figuren 2 und 3 schematisch wiedergegeben sind.

[0004] Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde die Güte eines Schwingkreises für hohe Frequenzen möglichst zu erhöhen.

[0005] Die genannte Aufgabe wird durch die Merkmale der Verwendung zumindest zweier monolithisch integrierter Spulen gemäß Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen sind Gegenstand von abhängigen Ansprüchen und Beschreibungsteilen.

[0006] Demzufolge ist eine Verwendung zumindest zweier monolithisch integrierter Spulen mit einer Gesamtinduktivität zur Erhöhung einer Güte anstelle einer monolithisch integrierten Einzelspule gleicher Induktivität vorgesehen. Die zumindest zwei monolithisch integrierten Spulen sind parallel geschaltet. Jede der zwei monolithisch integrierten Spulen weist zumindest zwei vorzugsweise vollständige Schleifen mit einer magnetischen Kopplung zwischen den zwei Schleifen auf.

[0007] Die genannte Aufgabe wird weiterhin durch die Merkmale des Verfahrens gemäß Anspruch 5 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen sind Gegenstand von abhängigen Ansprüchen und Beschreibungsteilen.

[0008] Demzufolge ist ein Verfahren zur Ausbildung einer monolithisch integrierten Induktivität vorgesehen. Die Induktivität wird durch Parallelschaltung einer ersten Spule und zumindest einer zweiten Spule gebildet. Zumindest zwei erste Schleifen der ersten Spule werden für eine magnetische Kopplung ausgebildet. Zumindest zwei zweite Schleifen der zweiten Spule werden für eine magnetische Kopplung ausgebildet.

[0009] Die genannte Aufgabe wird weiterhin durch die Merkmale der monolithisch integrierten Induktivität gemäß Anspruch 10 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen sind Gegenstand von abhängigen Ansprüchen und Beschreibungsteilen.

[0010] Demzufolge ist eine monolithisch integrierte Induktivität vorgesehen. Die monolithisch integrierte Induktivität weist eine erste Spule mit einem ersten Induktivitätswert auf. Die monolithisch integrierte Induktivität weist mindestens eine zweite Spule mit einem zweiten Induktivitätswert auf. Die mindestens eine zweite Spule ist zur ersten Spule parallel geschaltet. Die parallel geschalteten Spulen bilden eine Gesamtinduktivität.

[0011] Vorzugsweise sind die Spulen der monolithisch integrierten Induktivität in Planartechnik ausgebildet. Vorzugsweise sind die Spulen dabei in einer oder mehreren Metallisierungsebenen des integrierten Schaltkreises ausgebildet. Die erste Spule und die zweite Spule sind vorzugsweise derart angeordnet, dass jede von Spulenwicklungen umfasste Spulenfläche der Spulen parallel zur Oberfläche des integrierten Schaltkreises angeordnet ist.

[0012] Vorteilhafterweise sind Zuleitungen zur ersten Spule und zur zweiten Spule vorgesehen. Vorteilhafterweise weist die erste Spule mindestens zwei in einem Abstand geführte erste Schleifen mit einer Bahnbreite auf. Vorteilhafterweise weist die zweite Spule mindestens zwei in dem Abstand geführte zweite Schleifen mit der Bahnbreite auf. Die ersten Schleifen und die zweiten Schleifen bilden jeweils eine magnetische Kopplung aus.

[0013] Insbesondere zur Erzielung hoher Schwingkreisfrequenzen eines integrierten Oszillators werden für einen Parallelresonanzschwingkreis oder für einen Reihenresonanzschwingkreis bei gegebener einstellbarer Kapazität und gegebener parasitärer Kapazitäten eine von der gewünschten Schwingkreisfrequenz abhängige monolithisch integrierte Induktivität benötigt. Aufgrund der hohen Schwingkreisfrequenz wird ein sehr geringer Induktivitätswert der monolithisch integrierten Induktivität benötigt.

[0014] Die Parallelschaltung der ersten Spule mit der ersten Induktivität und der zweiten Spule mit der zweiten Induktivität zur Ausbildung der Gesamtinduktivität ermöglicht es die erste Spule und die zweite Spule mit einer magnetischen

Kopplung zur Erhöhung der Güte der ersten Spule und der zweiten Spule vorzusehen. Die Erhöhung der Güte der ersten Spule und der zweiten Spule bewirkt durch deren Parallelschaltung ebenfalls eine Erhöhung einer Gesamtgüte der Parallelschaltung.

[0015] Eine monolithisch integrierte Ausbildung der ersten Spule und der zweiten Spule durch die Verwendung der

5 Planartechnik bewirkt, dass die Spulenbahnen einer Spule vorzugsweise zueinander in lateraler Richtung (bezogen auf die Chipoberfläche) beabstandet ausgebildet werden. Ebenfalls können die Spulenbahnen in vertikaler Richtung (bezogen auf die Chipoberfläche) beabstandet ausgebildet werden. Werden die Spulenbahnen jedoch ausschließlich in vertikaler Richtung voneinander beabstandet sind parasitäre Kapazitäten signifikant erhöht und unterliegen zudem größeren Prozessschwankungen.

10 **[0016]** Mit steigendem Abstand der Spulenbahnen zueinander in lateraler Richtung sinkt eine parasitäre Kapazität, die sich zwischen den Spulenbahnen einer Spule - also zwischen den Spulenbahnen der ersten Spule oder zwischen den Spulenbahnen der zweiten Spule - ausbildet. Mit steigendem Abstands sinkt ebenfalls die Spulenfläche, die von allen durch die Spulenbahnen gebildeten Windungen der jeweiligen Spule umfasst wird.

15 **[0017]** Um unter diesen Randbedingungen einer Erhöhung der Güte zu erzielen ist vorteilhafterweise vorgesehen, dass die erste Spule und die zweite Spule jeweils zumindest zwei eine Spulenfläche umfassende Schleifen (Wicklungen) aufweisen, die die magnetische Kopplung bewirken. Unter Spulenfläche umfassende Schleifen ist zu verstehen, dass die Spulenfläche von jeder Schleife der Spule in einem Winkel größer 300° umfasst ist. Die die Spulenfläche umfassende Schleifen können auch als vollständige Schleifen bezeichnet werden.

20 **[0018]** Um eine Erhöhung der Güte zu erzielen ist vorteilhafterweise vorgesehen, dass die Gesamtinduktivität eine Spuleninduktivität und eine Zuleitungsinduktivität von Zuleitungen zur ersten Spule und/oder zur zweiten Spule aufweist, wobei die Spuleninduktivität zumindest zwanzigmal größer ist als die Zuleitungsinduktivität.

25 **[0019]** Um eine Erhöhung der Güte zu erzielen ist vorteilhafterweise vorgesehen, dass ein Spulenabstand zwischen der ersten Spule und der zweiten Spule größer ist als die Summe aus einer zweifachen Bahnbreite der Bahnen der Spulen und einem Bahnabstand. Eine derartige Ausbildung der Spulengeometrie bewirkt vorzugsweise eine geringere magnetische Kopplung der ersten Spule und der zweiten Spule untereinander.

30 **[0020]** Vorzugsweise ist die Gesamtinduktivität der parallelgeschalteten monolithisch integrierten Spulen für eine Betriebsfrequenz ausgelegt. Vorteilhafterweise ist die Betriebsfrequenz innerhalb eines Einstellfrequenzbereichs einstellbar. Zur Einstellung der Betriebsfrequenz kann beispielsweise eine verbundene Kapazität oder die Gesamtinduktivität einstellbar ausgebildet sein. Bevorzugt ist jede Spulenresonanzfrequenz der zwei monolithisch integrierten Spulen zumindest doppelt so groß ist wie die Betriebsfrequenz. Vorzugsweise ist jede Spulenresonanzfrequenz doppelt so groß ist wie jede einstellbare Betriebsfrequenz innerhalb des Einstellfrequenzbereichs.

35 **[0021]** Vorzugsweise werden die zumindest zwei monolithisch integrierten Spulen zusammen mit einer monolithisch integrierten kapazitiven Einheit zur Bildung eines Schwingkreises verwendet. Die kapazitive Einheit kann zur Gesamtinduktivität parallel oder in Reihe geschaltet sein.

[0022] Vorzugsweise ist eine Kapazität der monolithisch integrierten kapazitiven Einheit zur Einstellung einer Schwingkreisfrequenz einstellbar ausgebildet. Dabei entspricht die einstellbare Schwingkreisfrequenz der Betriebsfrequenz.

40 **[0023]** Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung ist ein integrierter Schwingkreis mit der monolithisch integrierten Induktivität vorsehen, wobei der integrierte Schwingkreis eine monolithisch integrierte kapazitive Einheit aufweist, die parallel zur ersten Spule und zur zweiten Spule geschaltet und zwischen der ersten Spule und der zweiten Spule angeordnet ist. Vorzugsweise sind die erste Spule und die zweite Spule zumindest durch eine Abmessung der monolithisch integrierten kapazitiven Einheit voneinander beabstandet.

[0024] Bevorzugt weist die kapazitive Einheit mindestens einen Metall-Isolator-Metall-Kondensator, einen Varaktor, einen geschalteten MIM-Kondensator und/oder eine geschaltete Kondensatorbank auf.

45 **[0025]** Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung ist vorgesehen, dass eine erste Spulenresonanzfrequenz der ersten Spule ausgebildet wird, indem eine erste parasitäre Spulenkapazität durch Einstellung einer Bahnbreite und eines Abstands der Schleifen der ersten Spule einer ersten Spuleninduktivität der ersten Spule angepasst wird. Bevorzugt wird eine zweite Spulenresonanzfrequenz der zweiten Spule ausgebildet, indem eine zweite parasitäre Spulenkapazität durch Einstellung einer Bahnbreite und eines Abstands der Schleifen der zweiten Spule der zweiten Spuleninduktivität der zweiten Spule angepasst wird.

50 **[0026]** In einer vorteilhaften Ausgestaltung dieser Weiterbildung ist vorgesehen dass eine erste Anzahl der ersten Schleifen der ersten Spule in Abhängigkeit von der ersten Spulenresonanzfrequenz und einer insbesondere einstellbaren Betriebsfrequenz bestimmt wird. Bevorzugt wird eine zweite Anzahl der zweiten Schleifen der zweiten Spule in Abhängigkeit von der zweiten Spulenresonanzfrequenz und der insbesondere einstellbaren Betriebsfrequenz bestimmt wird.

55 **[0027]** In einer besonders bevorzugten Weiterbildung ist vorgesehen, dass die durch die magnetische Kopplung zwischen den Schleifen einer Spule verursachten Gewinne die ohmschen Verluste durch Stromverdrängungseffekte infolge des Naheffektes der jeweils benachbarten Schleife übersteigen, indem für diese Bedingung ein Abstand und eine Bahnbreite der Schleifenbahnen bestimmt werden. Bevorzugt nimmt eine Differenz aus den Gewinnen und den Verlusten einen maximalen Wert an. Für diesen Maximalwert werden der Abstand zwischen benachbarten Schleifen

und die Bahnbreite jeder Schleife bestimmt.

[0028] Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung übersteigt die magnetische Kopplung zwischen den ersten Leiterschleifen der ersten Spule eine magnetische Spulenkopplung zwischen der ersten Spule und der zweiten Spule. Ebenfalls übersteigt in dieser Weiterbildung die magnetische Kopplung zwischen den zweiten Leiterschleifen der zweiten Spule eine magnetische Spulenkopplung zwischen der ersten Spule und der zweiten Spule.

[0029] Gemäß einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung sind die Bahnbreite und der Abstand gleich. Unter der Gleichheit von Bahnbreite und Abstand ist dabei eine im Rahmen des Fertigungsprozesses mit gegebenen Fertigungstoleranzen erzielbare Gleichheit zu verstehen. Vorteilhafterweise sind die Bahnbreite und der Abstand mit demselben Maß der Belichtungsmaske hergestellt.

[0030] Gemäß einer anderen Ausgestaltung übersteigt der Wert des Abstandes denjenigen der Bahnbreite um beispielsweise wirkende parasitäre Kapazitäten zwischen benachbarten Schleifen zu reduzieren. Vorteilhafterweise ist der Wert des Abstandes kleiner als der zweifache Wert der Bahnbreite um beispielsweise eine ausreichend große Spulenfläche zu erzielen.

[0031] In einer bevorzugten Ausgestaltung sind die erste Spule und die zweite Spule identisch oder symmetrisch zueinander ausgebildet sind. Zur symmetrischen Ausbildung können die erste Spule und die zweite Spule beispielsweise punktsymmetrisch oder spiegelsymmetrisch zueinander angeordnet sein.

[0032] Ausgestaltend ist vorteilhaft vorgesehen, dass die ersten und zweiten Induktivitätswerte einen minimalen und einen maximalen Induktivitätswert aufweisen. Der minimale Induktivitätswert unterschreitet den maximalen Induktivitätswert um höchstens 20% vorzugsweise um höchstens 10%.

[0033] In einer vorteilhaften Ausgestaltung ist vorgesehen, dass ein vorgebbarer Gesamtinduktivitätswert mit der Parallelschaltung der Induktivitätswerte im Wesentlichen mit dem Produkt aus der Anzahl der ersten und zweiten Spulen und einem vorgebbaren Gesamtinduktivitätswert der monolithisch integrierbaren Induktivität übereinstimmt.

[0034] Gemäß eines anderen Aspektes der Erfindung ist ein durchstimmbarer Oszillator mit mindestens einer zuvor beschriebenen monolithisch integrierten Induktivität vorgesehen. Zum Stimmen des Oszillators ist dieser vorteilhaftweise spannungsgesteuert oder stromgesteuert ausgebildet.

[0035] Gemäß eines wiederum anderen Aspektes der Erfindung ist ein integrierter Schwingkreis mit mindestens einer zuvor beschriebenen monolithisch integrierten Induktivität vorgesehen.

[0036] Im Folgenden wird die Erfindung durch ein Ausführungsbeispiel anhand einer zeichnerischen Darstellung näher erläutert.

[0037] Dabei zeigen

Fig. 1 ein Ersatzschaltbild einer Spule,

Fig. 2 ein Diagramm mit einem Betrag der Impedanz von Spulen des Standes der Technik,

Fig. 3 ein Diagramm mit Spulengüten von Spulen des Standes der Technik,

Fig.4 ein schematisches Diagramm mit Spulengüten monolithisch integrierter Spulen,

Fig. 5 ein schematisches Diagramm der Induktivität einer monolithisch integrierten Spule in Abhängigkeit von der Windungszahl,

Fig. 6 eine schematische Draufsicht auf ein Layout zweier monolithisch integrierter Spulen,

Fig.7 ein schematisches Ersatzschaltbild eines durchstimmbaren Oszillators, und

Fig.8 ein Blockschaltbild eines WiMax-Transceivers mit einer erfindungsgemäßen Schaltungsanordnung.

[0038] Fig. 4 zeigt ein schematisches Diagramm für eine monolithisch integrierte Induktivität, wobei auf der Ordinate die Güte Q einer monolithisch integrierten Induktivität und auf der Abszisse die Frequenz f aufgetragen ist. Es ist eine Kurvenschar für verschiedene Anzahlen N von Schleifen 1, 2, 3, 4 und 5 aufgetragen. Die Schleifen können auch als Windungen bezeichnet werden. Die Schleifen weisen untereinander eine magnetische Kopplung auf. Für die Windungszahl 2, 3, 4 und 5 ist zudem die zugehörige Resonanzfrequenz f_{r2} , f_{r3} , f_{r4} und f_{r5} auf der Abszisse aufgetragen. Weiterhin ist eine Betriebsfrequenz f_B eingetragen und durch eine gestrichelte Linie hervorgehoben.

[0039] Aus der schematischen Darstellung der Ausführungsbeispiele der Fig. 4 wird deutlich, dass mit steigender Anzahl N der Schleifen einer Spule deren Spulenresonanzfrequenz f_{r2} , f_{r3} , f_{r4} , f_{r5} abnimmt. Für die Betriebsfrequenz f_B ist dabei gefordert, dass die Spulenresonanzfrequenz zumindest doppelt so hoch wie die Betriebsfrequenz f_B ist. Für sehr hohe Betriebsfrequenzen ist die Spule mit einer einzigen Schleife daher besonders vorteilhaft. Wird im Hochfre-

quenzspektrum eine Betriebsfrequenz f_B benötigt, die deutlich kleiner als die Spulenresonanzfrequenz für eine einzige Schleife ist, können zwei oder mehr Schleifen mit einer magnetischen Kopplung zur Erhöhung der Güte Q verwendet werden.

[0040] Dabei ist ebenfalls erforderlich, dass die Spulenresonanzfrequenz zumindest doppelt so hoch wie die Betriebsfrequenz f_B ist. Dies trifft lediglich für die Ausführungsbeispiele der Fig. 4 mit den Windungszahlen 1, 2, 3 und 4 zu. Hingegen ist die Spulenresonanzfrequenz f_{r5} nicht ausreichend hoch. Für die Betriebsfrequenz f_B steigt die Güte Q von der Windungszahl 1 bis zur Windungszahl 3 an. Ebenfalls für die Windungszahl 4 ist die Güte Q gegenüber der Windungszahl 1 erhöht.

[0041] Die Güte Q einer Schleife weist einen bestimmten R-Belag und einen bestimmten L-Belag auf.

10

$$Q = \frac{\omega L}{R} \quad (2)$$

15

[0042] Für zwei Schleifen, die nicht magnetisch gekoppelt und in Reihe geschaltet sind gilt:

$$Q = \frac{2\omega L}{2R} \quad (3)$$

[0043] Dabei ist Q die Güte, ω die Kreisfrequenz, L die Induktivität der zwei Schleifen (ohne magnetische Kopplung) und R der ohmsche Widerstand. Für zwei Schleifen mit magnetischer Kopplung ωM gilt hingegen:

$$Q = \frac{2\omega L + \omega M}{2R + R_{prox}} \quad (4)$$

[0044] Dabei ist Q die Güte, w die Kreisfrequenz, L die Induktivität der zwei Schleifen (ohne magnetische Kopplung), R der ohmsche Widerstand, ωM die magnetische Kopplung und R_{prox} die Verluste aufgrund der Stromverdrängung (Hautwiderstand).

[0045] Die Verluste R_{prox} aufgrund der Stromverdrängung sind klein gegenüber dem ohmschen Widerstand R, wenn der Abstand der Bahnen der Spule von der Bahnbreite der Spulenbahn um weniger als 20% abweicht. Hingegen ist der Gewinn durch die magnetische Kopplung ωM signifikant und führt daher zu einer deutlichen Verbesserung der Güte Q der Spule.

[0046] In Fig. 5 ist die Zunahme der Induktivität L mit der Schleifenanzahl N magnetisch gekoppelter Schleifen als Diagramm schematisch dargestellt. Demzufolge steigt die Induktivität L magnetisch gekoppelter Schleifen mit Zunahme der Anzahl N der Schleifen überproportional, insbesondere quadratisch an.

[0047] Ein Ausführungsbeispiel einer monolithisch integrierten Induktivität 10 ist in Fig. 6 schematisch dargestellt. Fig. 6 zeigt ein schematisches Layout einer ersten Spule 11, einer zweiten Spule 12 und Zuleitungen 13a, 13b zu den Spulen 11, 12. Die erste Spule 11 und die zweite Spule 12 sind parallel geschaltet und über die Zuleitungen 13a, 13b miteinander verbunden. Die erste Spule 11 weist zwei Leiterschleifen 11a und 11b auf, die eine gemeinsame Spulenfläche umfassen und so eine magnetische Kopplung ωM bewirken. Die zweite Spule 12 weist zwei Leiterschleifen 12a und 12b auf, die eine gemeinsame Spulenfläche umfassen und so eine magnetische Kopplung wM bewirken. Die magnetische Kopplung ωM ist abhängig von der von beiden Schleifen 11a, 11b bzw. 12a, 12b umfassten Spulenfläche und damit ebenfalls abhängig von einer Bahnbreite b und einem Abstand d der Schleifen 11a, 11b bzw. 12a, 12b einer Spule 11, 12.

[0048] Im Ausführungsbeispiel der Fig. 6 sind die Induktivitätswerte der ersten Spule und der zweiten überwiegend durch einen Induktivitätsanteil der Schleifen 11a, 11b bzw. 12a, 12b bestimmt. Hingegen ist der Induktivitätsanteil der Zuleitungen 13a, 13b um mindestens den Faktor 20 kleiner als der Induktivitätsanteil der Schleifen 11a, 11b bzw. 12a, 12b.

[0049] Der Spulenabstand a ist so bemessen, dass die magnetische Kopplung zwischen den Spulen 11 und 12 kleiner - vorzugsweise wesentlich kleiner - ist als die magnetische Kopplung zwischen den jeweiligen Schleifen 11a, 11b bzw. 12a, 12b. Hierzu ist der Spulenabstand a größer als die Summe s aus zwei Bahnbreiten b und einem Bahnabstand d ausgebildet.

[0050] Fig. 7 zeigt ein schematisches Ersatzschaltbild eines spannungsgesteuerten Oszillators, der eine erste Spule

11 und eine zweite Spule 12 aufweist. Die erste Spule 11 und die zweite Spule 12 sind parallel geschaltet. Zur ersten Spule 11 und zur zweiten Spule 12 ist weiterhin eine kapazitive Einheit C_1 und ein Verstärkerelement 20 mit einer parasitären Kapazität C_2 parallel geschaltet. Ebenfalls zur kapazitiven Einheit C_1 sind die parasitäre Kapazität C_{L1} der ersten Spule 11 und die parasitäre Kapazität C_{L2} der zweiten Spule 12 parallel geschaltet. Eine Parallelresonanzfrequenz 5 hängt somit von der Parallelschaltung dieser Kapazitäten C_1 , C_2 , C_{L1} und C_{L2} ab. Die Gesamtkapazität C berechnet sich zu

$$C = C_1 + C_2 + C_{L1} + C_{L2} \quad (5)$$

10 [0051] Der Kapazitätswert der kapazitiven Einheit C_1 ist einstellbar. Vorteilhafterweise weist die kapazitive Einheit C_1 daher mindestens einen Metall-Isolator-Metall-Kondensator, einen Varaktor, einen geschalteten MIM-Kondensator und/ oder eine geschaltete Kondensatorbank auf.

15 [0052] Figur 8 zeigt ein vereinfachtes Blockschaltbild einer Sende-/Empfangsvorrichtung für ein Datenübertragungs- system gemäß IEEE 802.16 ("WiMax", worldwide interoperability for microwave access).

20 [0053] Die Sende-/Empfangsvorrichtung 50 weist eine Antenne 51 sowie eine mit der Antenne verbundene Sende-/ Empfangseinheit (Transceiver) 52 auf. Die Sende-/Empfangseinheit 52 beinhaltet eine mit der Antenne 51 verbundene HF-Frontend-Schaltung 53 sowie eine nachgeschaltete IF/BB-Signalverarbeitungseinheit 54. Weiterhin beinhaltet die Sende-/Empfangseinheit 52 einen nicht in Fig. 4 gezeigten und mit der Antenne 51 verbundenen Sendepfad.

25 [0054] Die HF-Frontend-Schaltung 53 verstärkt ein von der Antenne 51 empfangenes hochfrequentes Funksignals xRF, das spektral im Mikrowellenbereich zwischen 3,4 und 3,6 GHz liegt, und überführt (transformiert) es in ein Quadratursignal z in einem Zwischenfrequenzbereich (intermediate frequency, IF) oder im Basisbandbereich ("zero IF"). Beim Quadratursignal z handelt es sich um ein komplexwertiges Signal mit einer Inphase-Komponente z_i und einer Quadraturphasen-Komponente z_q .

30 [0055] Die IF/BB-Signalverarbeitungseinheit 54 filtert das Quadratursignal z und verschiebt es evtl. spektral ins Basisband, demoduliert das Basisbandsignal und detektiert die darin enthaltenen und ursprünglich von einer anderen Sende-/Empfangsvorrichtung gesendeten Daten dat.

35 [0056] Die HF-Frontend-Schaltung 53 weist einen mit der Antenne 51 verbundenen Verstärker (low noise amplifier, LNA) 58 zum Verstärken des hochfrequenten Funksignals xRF und einen nachgeschalteten Quadraturmischer 55 zum Überführen des verstärkten Signals in das Quadratursignal z auf. Weiterhin weist die HF-Frontend-Schaltung 53 eine Schaltungsanordnung 56 und einen nachgeschalteten I/Q-Generator 57 auf, der ausgangsseitig mit dem Quadraturmischer 55 verbunden ist. Die Schaltungsanordnung 56 weist einen gesteuerten Oszillator auf.

40 [0057] Die Schaltungsanordnung 56 weist vorteilhafterweise einen spannungsgesteuerten Oszillator (VCO) auf, dessen Frequenz mit Hilfe von Steuerspannungen relativ grob eingestellt und mit Hilfe weiterer (ggf. PLLgeregelter) Steuerspannungen fein abgestimmt wird. Vorzugsweise ist die Schaltungsanordnung 56 nach dem vorstehend mit Bezug auf die Figuren 6 und 7 beschriebenen Ausführungsbeispiel realisiert.

45 [0058] Der I/Q-Generator 57 leitet aus dem Lokaloszillatorsignal y_0 der Schaltungsanordnung 56 ein differentielles Inphase-Signal y_i und ein um 90 Grad phasenverschobenes differentielles Quadraturphase-Signal y_q ab. Ggf. beinhaltet der I/Q-Generator 57 einen Frequenzteiler, Verstärkungselemente und/oder eine Einheit, die sicherstellt, dass der Phasenversatz der Signale y_i und y_q möglichst genau 90 Grad beträgt.

50 [0059] Die HF-Frontend-Schaltung 53 und damit die mindestens eine Schaltungsanordnung 56 sowie evtl. Teile der IF/BB-Signalverarbeitungseinheit 54 sind Bestandteil einer integrierten Schaltung (integrated circuit, IC), die z.B. als monolithisch integrierte Schaltung in einer Standard-Technologie, beispielsweise in einer BiCMOS-Technologie ausgebildet ist.

[0060] Die anhand von Ausführungsbeispielen vorstehend beschriebene monolithisch integrierte Induktivität kann in unterschiedlichsten Anwendungen wie z.B. in Oszillator-, Verstärker- und Filter-Schaltungen (einstellbare Übertragungsfunktion, Bandbreite etc.) vorteilhaft eingesetzt werden.

55 Bezugszeichenliste

[0061]

$ Z_L $	Betrag der Impedanz
Q, Q_L	Spulengüte
f	Frequenz
L, L_1, L_2	Spuleninduktivität
C_L, C_{L1}, C_{L2}	parasitäre Spulenkapazität

	$R_L(f)$, R_{L1} , R_{L2}	parasitärer Spulenwiderstand
	f_{r2} , f_{r3} , f_{r4} , f_{r5}	Spulenresonanzfrequenz
	f_B	Betriebsfrequenz, Schwingkreisfrequenz
	N	Wicklungsanzahl, Schleifenanzahl
5	b	Bahnbreite
	d	Bahnabstand
	a	Spulenabstand
	s	Summe
	C_1	kapazitive Einheit
10	C_2	parasitäre Kapazität des Oszillators
	LNA	Verstärker
	y_0	Lokaloszillatorsignal
	y_i , y_q , z_i , z_q	Quadratursignal
	xRF	hochfrequentes Funksignal
15	10	monolithisch integrierte Induktivität
	11, 12	Spule
	11a, 11b, 12a, 12b	Spulenbahn, Spulenwicklung, Schleife
	13a, 13b	Zuleitung
20	20	Verstärkungsanordnung
	50	Sende-/Empfangsvorrichtung
	51	Antenne
	52	Transceiver
	53	HF-Frontend-Schaltung
	54	Signalverarbeitungseinheit
25	55	Quadraturmischer
	56	Schaltungsanordnung mit spannungsgesteuertem Oszillator
	57	I/Q-Generator
	58	Verstärker

30

Patentansprüche

1. Verwendung zumindest zweier monolithisch integrierter Spulen (11, 12) mit einer Gesamtinduktivität (L) zur Erhöhung einer Güte anstelle einer monolithisch integrierten Einzelspule gleicher Induktivität, bei der

35

- die zumindest zwei monolithisch integrierten Spulen (11, 12) parallel geschaltet sind, und
- jede der zwei monolithisch integrierten Spulen (11, 12) zumindest zwei Schleifen (11a, 11b, 12a, 12b) mit einer magnetischen Kopplung (ω_M) zwischen den zwei Schleifen (11a, 11b, 12a, 12b) aufweist.

40

2. Verwendung zumindest zweier monolithisch integrierter Spulen (11, 12) gemäß Anspruch 1 für eine insbesondere einstellbare Betriebsfrequenz (f_B), bei der jede Spulenresonanzfrequenz (f_{r2} , f_{r3} , f_{r4}) der zwei monolithisch integrierten Spulen (11, 12) zumindest doppelt so groß ist wie die insbesondere einstellbare Betriebsfrequenz (f_B).

45

3. Verwendung zumindest zweier monolithisch integrierter Spulen (11, 12) gemäß einem der Ansprüche 1 oder 2 mit einer monolithisch integrierten kapazitiven Einheit (C_1) zur Bildung eines Schwingkreises () .

50

4. Verwendung zumindest zweier monolithisch integrierter Spulen (11, 12) gemäß Anspruch 3, bei der

- eine Kapazität der monolithisch integrierten kapazitiven Einheit (C_1) einstellbar ist, und
- eine einstellbare Schwingkreisfrequenz der Betriebsfrequenz (f_B) entspricht.

5. Verfahren zur Ausbildung einer monolithisch integrierten Induktivität (L), bei dem

55

- die Induktivität (L) durch Parallelschaltung einer ersten Spule (11) und zumindest einer zweiten Spule (12) gebildet wird,
- zumindest zwei erste Schleifen (11a, 11b) der ersten Spule (11) für eine magnetische Kopplung (ω_M) ausgebildet werden, und
- zumindest zwei zweite Schleifen (12a, 12b) der zweiten Spule (12) für eine magnetische Kopplung (ω_M)

ausgebildet werden.

6. Monolithisch integrierte Induktivität (10)

- 5 - mit einer einen ersten Induktivitätswert (L1) aufweisenden ersten Spule (11),
- mit mindestens einer parallel zur ersten Spule (11) geschalteten und einen zweiten Induktivitätswert (L2)
aufweisenden zweiten Spule (12) zur Bildung einer Gesamtinduktivität (L), und
- mit Zuleitungen (13a, 13b) zur ersten Spule (11) und zur zweiten Spule (12),
- bei der die erste Spule (11) mindestens zwei in einem Abstand (d) geführte erste Schleifen (11a, 11b) mit
10 einer Bahnbreite (b) aufweist,
- die zweiten Spule (12) mindestens zwei in dem Abstand (d) geführte zweite Schleifen (12a, 12b) mit der
Bahnbreite (b) aufweist.
- bei der die ersten Schleifen (11a, 11b) eine magnetische Kopplung (ωM) ausbilden, und
- bei der die zweiten Schleifen (12a, 12b) eine magnetische Kopplung (ωM) ausbilden.

15 **7. Monolithisch integrierte Induktivität (10) nach Anspruch 6, bei der die durch die magnetische Kopplung (ωM) zwischen
den ersten und zwischen den zweiten Schleifen verursachten Gewinne die ohmschen Verluste (R_{prox}) durch Strom-
verdrängungseffekte infolge des Naheffektes der jeweils benachbarten Schleife insbesondere durch eine Ausbildung
des Abstands (d) und der Bahnbreite (b) übersteigen.**

20 **8. Monolithisch integrierte Induktivität (10) nach Anspruch 6, bei der eine Differenz aus den Gewinnen und den Verlusten
einen maximalen Wert annimmt.**

25 **9. Monolithisch integrierte Induktivität (10) nach Anspruch 6, bei der**

- die magnetische Kopplung (ωM) zwischen den ersten Leiterschleifen (11a, 11b) eine magnetische Spulen-
kopplung zwischen der ersten Spule (11) und der zweiten Spule (12) übersteigt, und
- die magnetische Kopplung (ωM) zwischen den zweiten Leiterschleifen (12a, 12b) eine magnetische Spulen-
kopplung zwischen der ersten Spule (11) und der zweiten Spule (12) übersteigt.

30 **10. Monolithisch integrierte Induktivität (10) nach Anspruch 6, bei der die Bahnbreite (b) und der Abstand (d) gleich sind.**

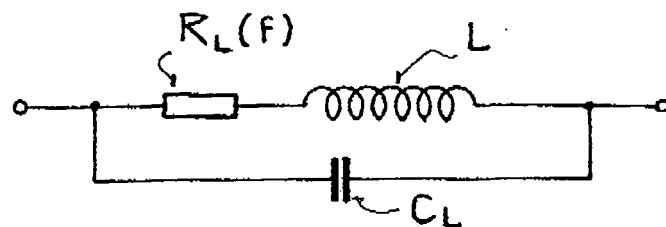
35 **11. Monolithisch integrierte Induktivität (10) nach Anspruch 6, bei der der Wert des Abstandes (d) denjenigen der
Bahnbreite (b) übersteigt.**

40 **12. Monolithisch integrierte Induktivität (10) nach Anspruch 6, bei der der Wert des Abstandes (d) kleiner ist als der
zweifache Wert der Bahnbreite (b).**

45 **13. Monolithisch integrierte Induktivität (10) nach Anspruch 6, bei der die erste Spule (11) und die zweite Spule (12)
identisch oder symmetrisch zueinander ausgebildet sind.**

**14. Monolithisch integrierte Induktivität (10) nach Anspruch 6, bei der die ersten und zweiten Induktivitätswerte (L1, L2)
einen minimalen und einen maximalen Induktivitätswert aufweisen und der minimale Induktivitätswert den maximalen
Induktivitätswert um höchstens 20% vorzugsweise um höchstens 10% unterschreitet.**

50 **15. Integrierter Schwingkreis mit einer monolithisch integrierten Induktivität (10) nach einem der vorhergehenden An-
sprüche und einer monolithisch integrierten kapazitiven Einheit (C1), die parallel zur ersten Spule (11) und zur
zweiten Spule (12) geschaltet und zwischen der ersten Spule (11) und der zweiten Spule (12) angeordnet ist.**



(Stand der Technik) FIG.1

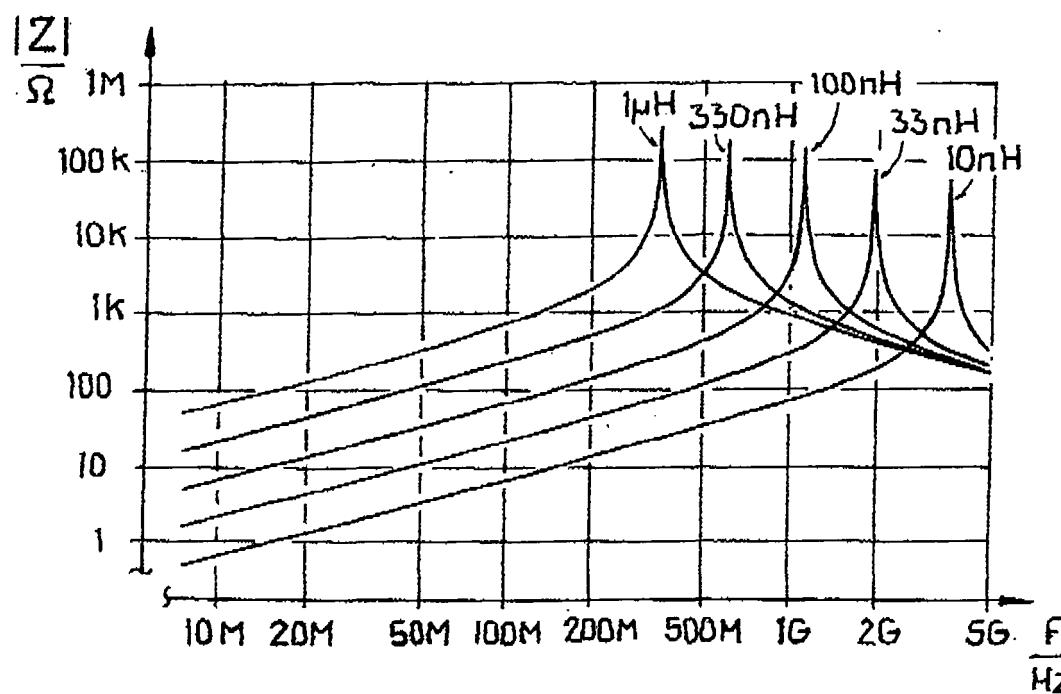


FIG.2

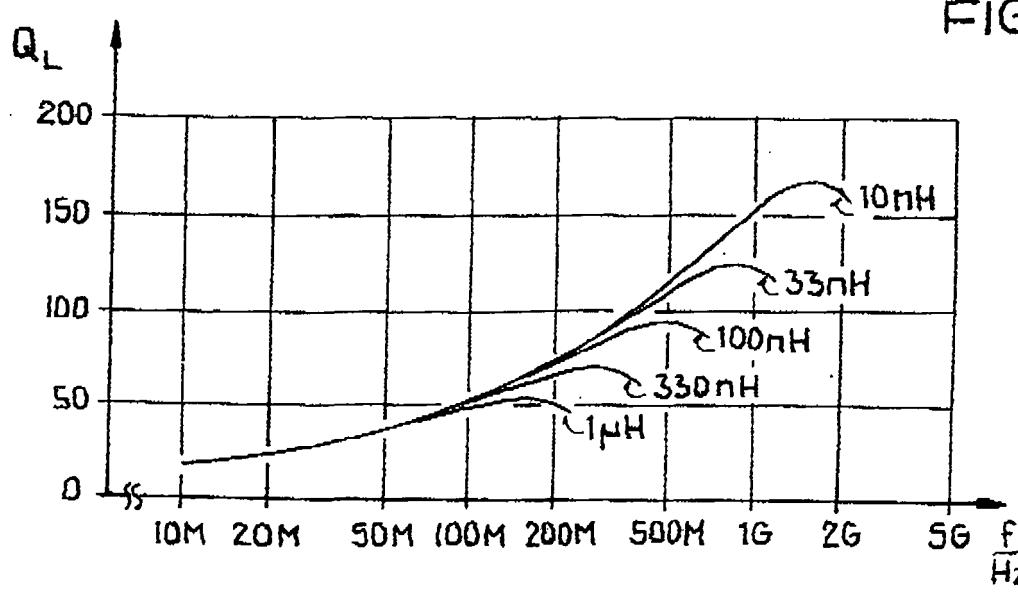


FIG.3

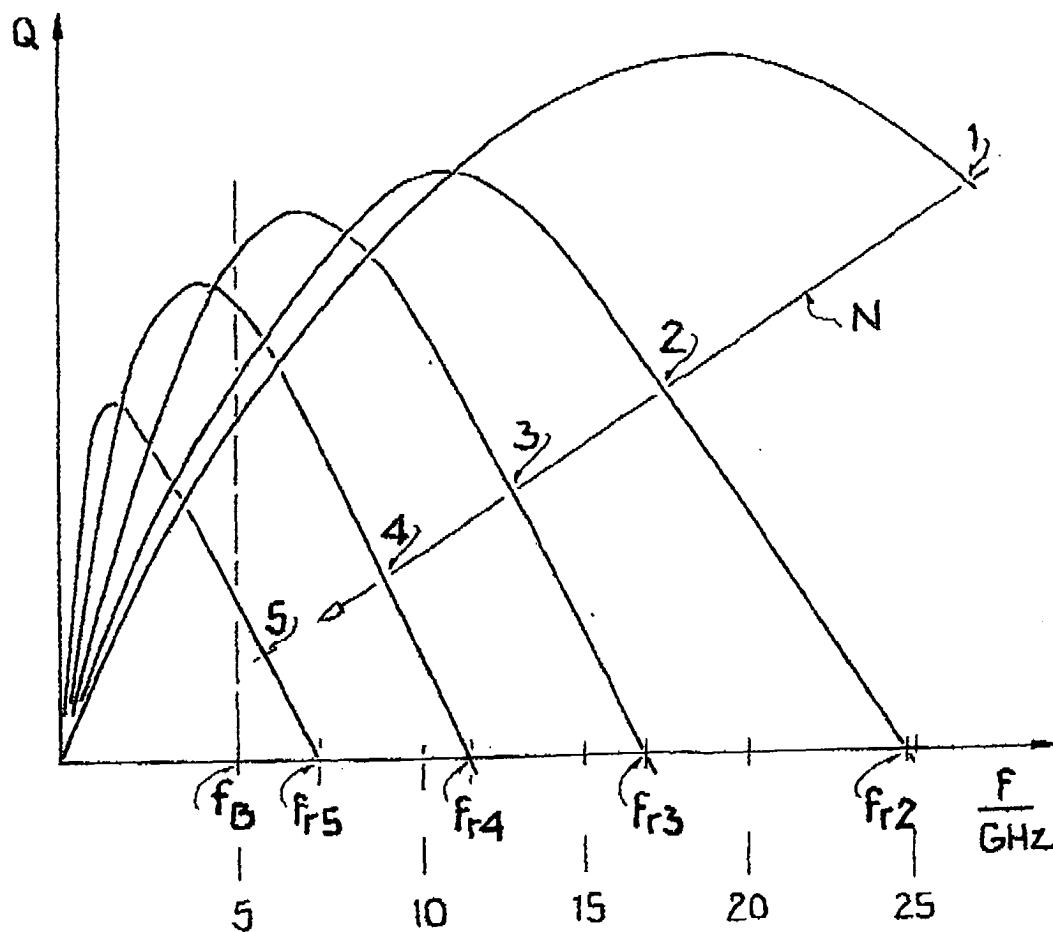


FIG.4

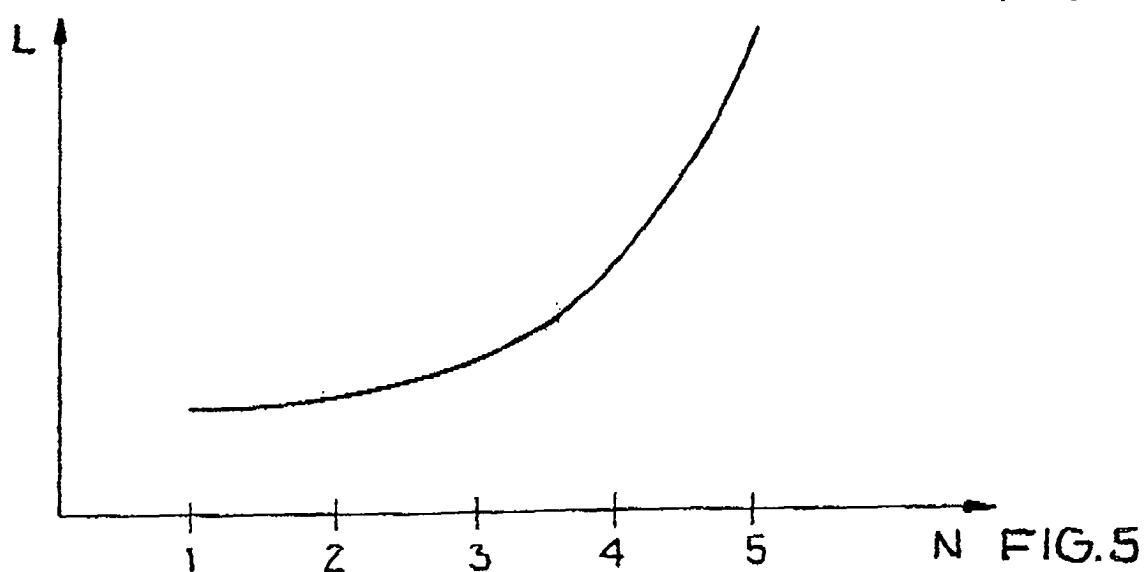


FIG.5

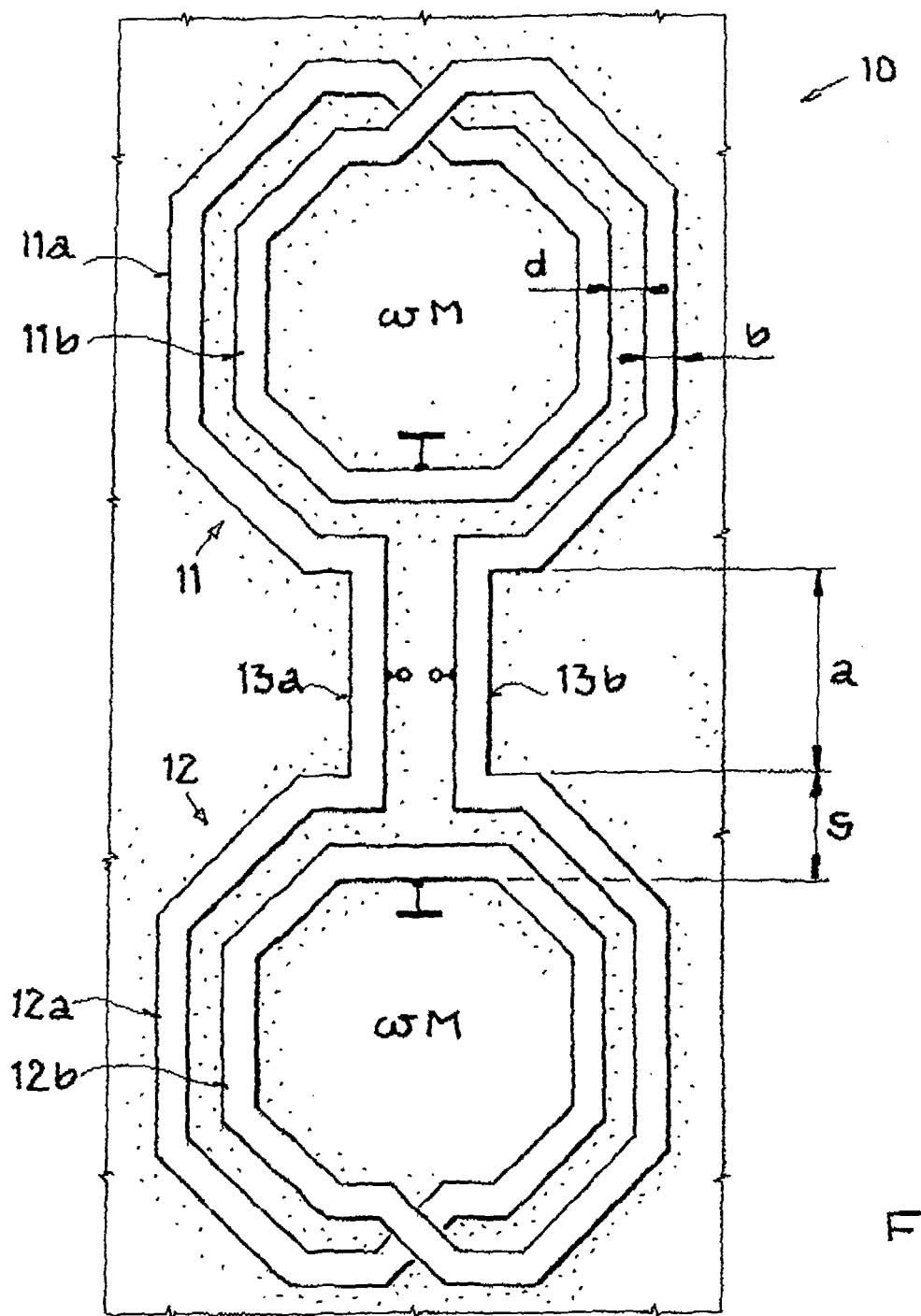


FIG.6

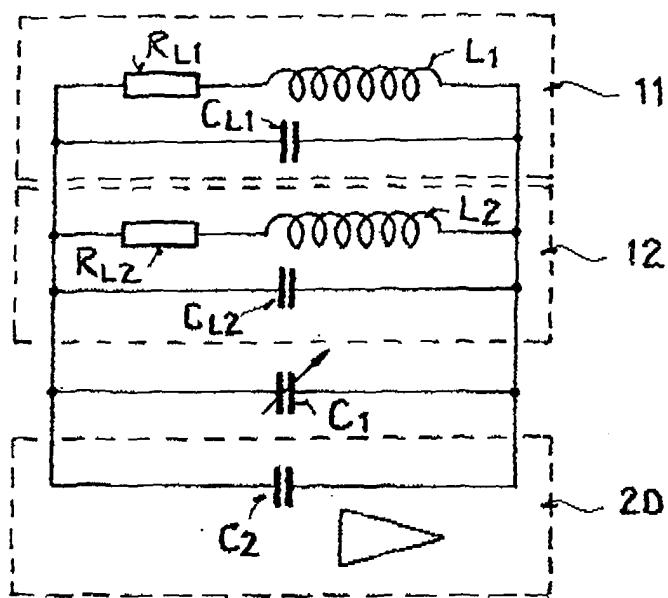


FIG. 7

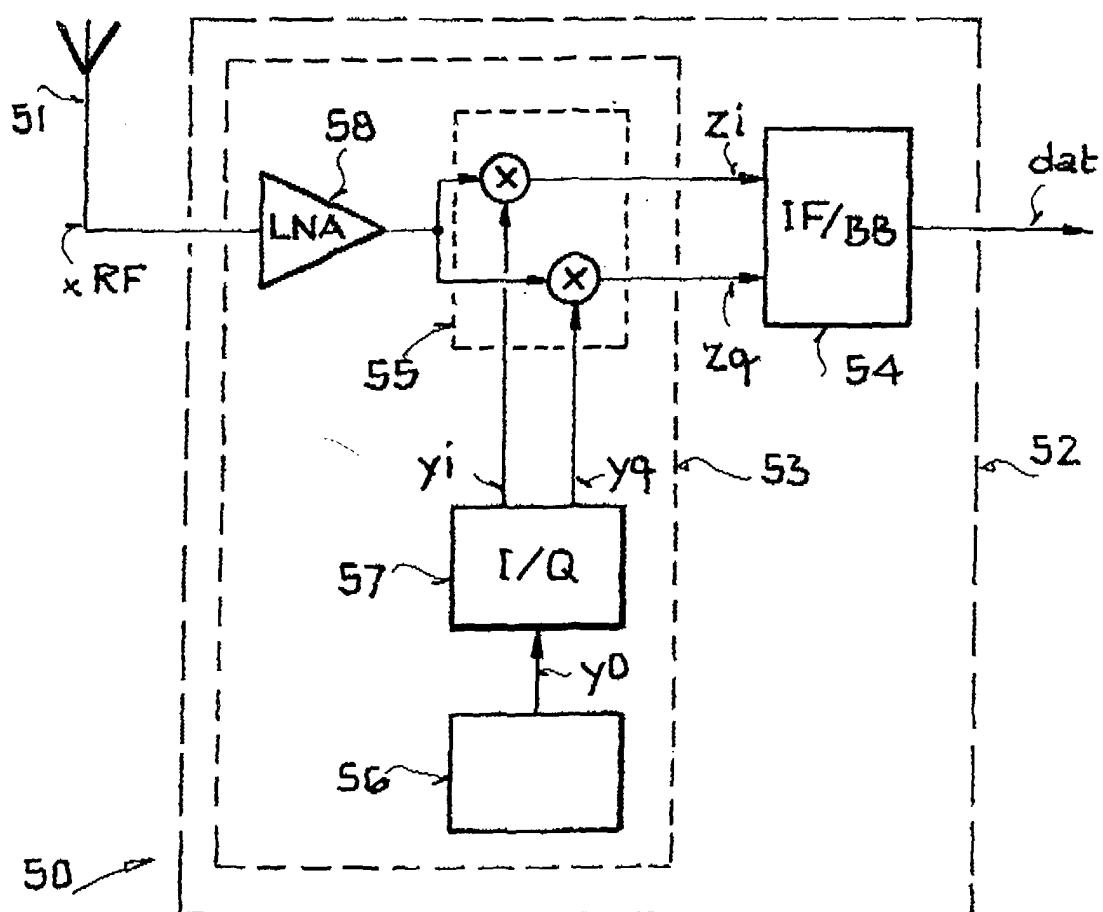


FIG. 8



EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrefft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X, P	WO 2008/034597 A (ATMEL DUISBURG GMBH [DE]; EL RAI SAMIR [US]; TEMPEL RALF [DE]) 27. März 2008 (2008-03-27) * Zusammenfassung * * Seite 1, Zeile 32 - Seite 3, Zeile 28 * * Seite 4, Zeile 14 - Seite 5, Zeile 10 * * Seite 6, Zeile 14 - Seite 9, Zeile 36 * * Seite 11, Zeilen 13-19 * * Seite 11, Zeile 21 - Seite 12, Zeile 23 * * Abbildungen 1-4 * & DE 10 2006 044570 A1 (ATMEL DUISBURG GMBH [DE]) 3. April 2008 (2008-04-03)	1,3-6, 13,15	INV. H01F17/00 H01F27/29
X, P	-----	1,3-6, 13,15	
X	US 5 420 558 A (ITO NAOKI [JP] ET AL) 30. Mai 1995 (1995-05-30) * Spalte 1 - Spalte 2, Zeile 2 * * Spalte 3, Zeile 64 - Spalte 4, Zeile 2 * * Spalte 4, Zeilen 35-39 * * Spalte 9, Zeile 38 - Spalte 11, Zeile 50 * * Abbildungen 2a,2b,3 *	1,5,6	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
X	----- US 2003/001709 A1 (VISSER HENDRIK AREND [US]) 2. Januar 2003 (2003-01-02) * Zusammenfassung * * Absätze [0021] - [0024] * * Absatz [0027] * * Abbildungen 1-3 *	1,5,6	H01F H01L
2	Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt		
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
München		26. September 2008	Winkelmann, André
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			
T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 08 01 0431

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patendifikamente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

26-09-2008

Im Recherchenbericht angeführtes Patendifikument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2008034597	A	27-03-2008	DE 102006044570 A1 US 2008084255 A1	03-04-2008 10-04-2008
DE 102006044570	A1	03-04-2008	WO 2008034597 A1 US 2008084255 A1	27-03-2008 10-04-2008
US 5420558	A	30-05-1995	DE 4317545 A1 GB 2269057 A JP 3141562 B2 JP 6120048 A	02-12-1993 26-01-1994 05-03-2001 28-04-1994
US 2003001709	A1	02-01-2003	CN 1522450 A EP 1405319 A1 WO 03003390 A1 JP 2004531089 T	18-08-2004 07-04-2004 09-01-2003 07-10-2004

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **U. TIETZE ; CH. SCHENK.** Halbleiter-Schaltungstechnik. 2002, 1329 [0003]