



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 698 15 706 T2 2004.06.03**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 025 635 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **698 15 706.0**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/SE98/01804**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **98 950 548.2**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 99/023753**

(86) PCT-Anmeldetag: **06.10.1998**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **14.05.1999**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **09.08.2000**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **18.06.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **03.06.2004**

(51) Int Cl.7: **H03B 5/36**
H03L 1/02, H03L 5/00

(30) Unionspriorität:
962480 31.10.1997 US

(73) Patentinhaber:
**Telefonaktiebolaget L M Ericsson (publ),
Stockholm, SE**

(74) Vertreter:
HOFFMANN · EITLÉ, 81925 München

(84) Benannte Vertragsstaaten:
BE, DE, ES, FI, FR, GB, GR, IT, PT, SE

(72) Erfinder:
**GÄRDENFORS, Torbjörn, S-211 50 Malmö, SE;
BENGTSSON, Erik, SE-241 35 ESLöv, SE;
ENSTRÖM, H kan, S-341 39 Ljungby, SE**

(54) Bezeichnung: **QUARZOSZILLATOR MIT AUTOMATISCHER VERSTÄRKUNGSREGELUNG UND ON-CHIP-ABSTIMMUNG**

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

HINTERGRUND

Gebiet der Erfindung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Kristalloszillator und genauer, einen stabilen Einzelchip Spannungs-kontroll-Kristalloszillator mit automatischer Verstärkungsregelung.

Beschreibung der verwandten Technik

[0002] Radiofrequenz-Kommunikationstechnologien haben in den vergangenen Jahren dramatische Fortschritte erzielt. Z. B. sind die Anwendungen der drahtlosen Kommunikationstechnologie vielfach angewachsen und die Subscriber, die eine solche drahtlose Kommunikation verwenden, sind in ihrer Anzahl dramatisch angewachsen. Die zunehmende Verwendung digitaler Modulationstechniken, wie Zeitmultiplexverfahren (TDMA) und Codemultiplexverfahren (CDMA), erfordern zusammen mit dem substantiellen Anwachsen der Verkehrsdichte bei der Implementierung dieser Modulationstechniken, sowohl engere Trägerfrequenzabstände als auch abnehmende Modulationsbandbreite. Die Frequenzstabilität des Referenzoszillators wurde in dieser Umgebung immer wichtiger.

[0003] Während von einem Kristall gesteuerte Oszillatoren seit Jahrzehnten in elektronischen Systemen als Frequenzreferenzen verwendet wurden, variieren diese Oszillatoren weit in ihren Eigenschaften, wie in der Ausgabewellenform, Frequenzstabilität und Amplitudenstabilität unter verschiedenen Last-, Temperatur- und Stromversorgungsbedingungen. Viele dieser Oszillatoren wurden unter Verwendung bipolarer Transistoren als aktive Elemente implementiert. Die beherrschende Technologie für die Herstellung der meisten integrierten Schaltkreise ist jedoch heutzutage CMOS und die Entwurfstechniken für hoch stabile Kristalloszillatoren sind in dieser Technologie weniger bekannt.

[0004] Wie oben erwähnt, erfordern drahtlose Hochleistungs-Telekommunikationsanwendungen sehr genaue Referenzfrequenzquellen. Die Genauigkeit und Frequenzstabilität eines Oszillators werden im allgemeinen von verschiedenen Faktoren wie den Produktions-, Temperatur- und Alterungsänderungen beeinflusst, was eine Kompensation der Variationen der Oszillatorfrequenz erfordert. Neueste Konfigurationen von Oszillatorschaltkreisen, die Kompensationsschaltungen beinhalten, enthalten diese Kompensationsschaltkreise außerhalb des integrierten Schaltkreises, der den Oszillator selbst enthält. Dies ist vom Fertigungsstandpunkt aus teurer und aus der Sicht der Miniaturisierung weniger kompakt, einem wichtigen Faktor im modernen Design drahtloser Vorrichtungen.

[0005] Zwei wichtige Elemente beim Entwurf hoch

stabiler Kristalloszillator-Schaltkreise sind die Kontrolle des Stromverbrauchs durch den Oszillator selbst und die Frequenzkompensation des Oszillators, sowohl für die Produktionsvarianten als auch die Temperaturschwankungen während des Betriebes. Bekannte Techniken, wie die im U. S. Patent Nr. 5,548,252 von Watanabi et al. aufgezeigten Techniken, haben versucht sich dieser Probleme anzunehmen. Dieses Patent veröffentlicht einen digitalen Temperatur kompensierten Kristalloszillator, der bestimmte Funktionen enthält, die für frequenzstabile Kristalloszillatoren wichtig sind; jedoch sind die Technik, die für die Kontrolle des Stromverbrauchs verwendet wird, ein sehr wichtiges Element im Entwurf eines Kristalloszillators für die Verwendung in drahtlosen Kommunikationsvorrichtungen, wie in zellularen Subscriberengeräten, und die Techniken der Frequenzkompensation deutlich verschieden und weniger vorteilhaft als die im Oszillator der vorliegenden Erfindung enthaltenen Techniken.

KURZBESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0006] In einer Hinsicht enthält die vorliegende Erfindung einen von einem Kristall kontrollierten Oszillatorschaltkreis, der einen Oszillatorverstärker mit einem Ein- und Ausgang besitzt. Der Eingang ist mit einem Kristallresonator zur Erstellung einer Oszillation in einem vorbestimmten Frequenzbereich verbunden. Ein Amplitudendetektor wird kapazitiv mit dem Ausgang des Oszillatorverstärkers verbunden, um das Ausgabesignal des Oszillatorkreisgangs gleichzurichten und um das gleichgerichtete Signal einer Tiefpassfilterung zu unterziehen, um damit ein Gleichstromsignal proportional zum Niveau der Amplitude der Ausgabe zu erzeugen. Ein Regelkreis verbindet das Gleichstromsignal vom Amplitudendetektor zurück an die Stromquelle des Oszillatorverstärkers um das Niveau der Amplitude der Oszillatorkreisgangs auf eine vorbestimmten Wert zu regeln und den Stromverbrauch des Oszillatorschaltkreises zu begrenzen.

[0007] In einer anderen Hinsicht enthält die vorliegende Erfindung einen von einem Kristall kontrollierten Oszillatorschaltkreis, der einen Oszillatorverstärker mit einem Ein- und Ausgang besitzt. Der Eingang ist mit einem Kristallresonator zur Erstellung einer Oszillation in einem vorbestimmten Frequenzbereich verbunden. Ein Resonatorbehälter-Kondensatorschaltkreis ist auch mit dem Eingang des Oszillatorverstärkers verbunden und hat einen Auswahlkapazitätswert um die Oszillationsfrequenz des Verstärkers auf einen vorbestimmten Wert abzustimmen. Der Behälterkondensator-Schaltkreis enthält zumindest einen variablen Spannungskondensator und ein Anfangswert der Spannung wird an den variablen Spannungskondensator angelegt, um den Resonatorbehälter-Kondensatorschaltkreis und damit den Oszillatorverstärker auf eine vorbestimmte Oszillationsfrequenz abzustimmen. Der Anfangswert der Spannung wird durch Erzeugung einer digitalen Zahl hergestellt,

indem die digitale Zahl in einen dazu proportionalen analogen Wert konvertiert wird und dann der analoge Stromwert in einen dazu proportionalen Spannungswert konvertiert wird.

KURZBESCHREIBUNG DER ABBILDUNGEN

[0008] Für das Verständnis der vorliegenden Erfindung und für zukünftige Aufgaben und Vorteile dieser Erfindung kann jetzt auf die folgende Beschreibung zusammen mit den beiliegenden Abbildungen Bezug genommen werden, wobei:

[0009] **Fig. 1** ein schematisches Blockdiagramm ist, das die Komponenten des Kristalloszillators der vorliegenden Erfindung zeigt;

[0010] **Fig. 2** eine Darstellung ist, die das allgemeine Verhältnis zwischen Kapazitäts- und Spannungsabhängigkeit eines NMOS-Transistors zeigt;

[0011] **Fig. 3** eine Darstellung ist, die den gesamten Kapazitätsbereich als eine Funktion einer parasitären Kapazität zeigt;

[0012] **Fig. 4** ein Blockdiagramm eines D/A-Konverters mit einem 4-Bit Dekodiersegment und einer 4-Bit Stromgewichtung ist, wie sie im Schaltkreis der vorliegenden Erfindung eingebaut sind.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNG

[0013] Der Kristalloszillator der vorliegenden Erfindung enthält einen Kristalloszillatorverstärker mit Kontrollschaltkreisen, worin alle Komponenten mit Ausnahme des Quarzkristalls in einem einzigen integrierten Schaltkreissubstrat integriert sind. Der CMOS Entwurf des Kristallkontrolloszillators der vorliegenden Erfindung enthält einen Spannungskontroll-Kristalloszillator (VCXO – voltage control crystal oscillator) mit einem automatischen Verstärkungsregler (AGC – automatic gain control) und sowohl eine Einchip-Abstimmung als auch eine Einchip-Temperaturkompensation (PTAT). Die zwei grundsätzlich vorteilhaften Funktionen des Oszillatorschaltkreises der vorliegenden Erfindung schließen ihre automatische Verstärkungsregelung-Schaltkreiskonfiguration mit ein, die den Stromverbrauch des Oszillators signifikant reduziert, und die Schaltkreiskonfiguration der Einchip-Frequenzkompensation sowohl für die Produktions- als auch Temperaturvariationen.

[0014] Beim Entwurf von digitalen drahtlosen Hochgeschwindigkeits-Telekommunikationsschaltkreisen besteht ein großer Bedarf an extrem genauen und hoch stabilen Frequenzreferenzquellen. Zusätzlich ist es sehr wünschenswert, in der Lage zu sein so viele Komponenten als möglich auf einem einzigen Substrat zu integrieren und den Schaltkreis unter den anderen gegebenen Randbedingungen so klein und billig wie möglich zu gestalten. Da viele moderne drahtlose Telekommunikationsvorrichtungen wie zellulare Funksubscriberstationen, mit einer Batterie be-

trieben werden, ist auch der Stromverbrauch aller Schaltkreise innerhalb einer Vorrichtung, mit Einschluß des Referenzkristalloszillators, sehr signifikant.

[0015] Zuerst beziehen wir uns auf die **Fig. 1**, in der ein Blockdiagramm eines Entwurfs eines Kristallkontrolloszillators der vorliegenden Erfindung gezeigt wird. Der Entwurf beinhaltet, vorzugsweise auf einem Einzelchip **11**, einen Oszillatorverstärker **12**, der mit einem Feld von Ladekondensatoren **13** verbunden ist, und einen externen Quarzkristall **14** zur Erstellung der Zentralfrequenz der Oszillation. Der Ausgang des Oszillatorverstärkers **12**, der einen Standard-Pierce-Oszillator enthalten kann, ist mit einem Amplitudendetektor **15** verbunden, dessen Ausgang in einem automatischen Verstärkungsregelkreis (AGC) **16** zurück an den Oszillatorverstärker **12** gekoppelt ist.

[0016] Die Ladekondensatoren **13** enthalten erste und zweite Behälterschaltkreiskondensatoren C_1 und C_2 . Der festgelegte Kondensator C_2 ist mit dem variablen Spannungskondensator C_{varicap} in Serie geschaltet. Der variable Spannungskondensator C_{varicap} ist mit dem Ausgang des Summierungsschaltkreises **17** verbunden, dessen einer Eingang mit einem Strom/Spannungskonverter (I-V) **18** verbunden ist. Der andere Eingang zum Summierungsschaltkreis **17** ist mit einem zur absoluten Temperatur proportionalen Kompensations-Schaltkreis (PTAT) **19** verbunden. Der Eingang des Strom/Spannungskonverters **18** wird von einem D/A-Konverter (D/A) **21** angesteuert, der ein digitales Eingangssignal von einem Zahlengenerator **22** erhält. Die Ausgangsspannungen des I-V-Konverters **18** und des PTAT-Schaltkreises **19** werden im Schaltkreis **17** summiert und verbunden, um den variablen Spannungskondensator C_{varicap} zu steuern und um dabei seinen Kapazitätswert zu bilden. Änderungen im Kapazitätswert von C_{varicap} ändern die gesamte Ladekapazität **13** des Oszillatorverstärkers **12** und daher seine Oszillationsfrequenz.

[0017] Der von einem Kristall gesteuerte Oszillator der **Fig. 1** enthält eine sehr genaue Referenzfrequenz, die im Grunde genommen unter allen Betriebsbedingungen sowohl in der Frequenz als auch in der Amplitude extrem stabil ist. Die Frequenz, mit der der Kristalloszillator oszilliert, wird partiell durch den Ladekondensator **13** festgelegt, der mit dem Oszillatorverstärker **12** verbunden ist. Durch die Änderung der gesamten Ladekapazität **13**, die mit dem Oszillatorverstärker **12** verbunden ist, z. B. durch die Änderung des Kapazitätswertes des variablen Kondensators C_{varicap} , kann die Oszillationsfrequenz des Oszillationsverstärkers **12** auf eine spezielle Frequenz abgestimmt werden. Der Kapazitätswert der Komponente C_{varicap} wird durch ihren Spannungswert bestimmt und die an C_{varicap} angelegte Spannung wird durch das Summieren der beiden unterschiedlichen Spannungen im Summierungsschaltkreis **17** erzeugt. Diese Spannungen enthalten zuerst die Spannung aus dem Schaltkreis (PTAT) **19**, die proportional zur

absoluten Temperatur ist, und die Spannung aus dem Transwiderstandverstärker (dem I-V-Konverter **18**), der den Strom aus dem D/A-Konverter **21** in einen Spannungswert konvertiert. Während des Herstellungsprozesses des Kristallkontrolloszillators wird ein digitaler Wert in das DAC21 mit Hilfe einer digitalen Eingabe **22** geschrieben, der den Oszillator bei seiner ursprünglichen Fertigung auf eine spezielle Frequenz kalibriert. Auf diese Weise kann eine Kompensation der Produktionsvariationen unmittelbar während des Fertigungsprozesses durchgeführt werden. Während des Betriebes liefert der PTAT-Schaltkreis **19** eine Spannung, die proportional zur umgebenden Temperatur des Chip **11** ist, auf dem der Oszillator aufgebaut ist, und kompensiert dabei die Temperaturschwankungen während der Betriebsbedingungen.

[0018] Der automatische Verstärkungsregelschaltkreis (AGC), der den Amplitudendetektor **15** und den AGC-Kreis **16** enthält, führt zwei wichtige Funktionen aus. Die erste Funktion ist es, eine hohe Kreisverstärkung im Oszillatorverstärker **12** während des erstmaligen Hochfahrens zur Verfügung zu stellen, um eine Oszillation unter allen Betriebsbedingungen zu sichern. Die zweite Funktion ist es, die Oszillation des Oszillatorverstärkers **12** bei einem definierten Amplitudenwert während eines andauernden Betriebes aufrecht zu halten, um Strom innerhalb des Schaltkreises zu sparen. Der Wert der Amplitude der Ausgabe des Oszillatorverstärkers **12** wird durch den Amplitudendetektor **15** erkannt und ein Signal, proportional zu dieser Amplitude, wird in den AGC-Kreis **16** zurückgeführt, um den Verstärkungsfaktor zu steuern. Innerhalb des Oszillatorverstärkers **12**, regelt die Spannung des zurückgeführten Signals den Strom im Verstärker und damit die Vorwärtsverstärkung und die Kreisverstärkung des Verstärkers.

LADEKAPAZITÄTS-SCHALTKREIS

[0019] Der Resonatorbehälterschaltkreis **13** des Oszillatorverstärkers besteht aus den Kapazitäten C_1 , C_2 und C_{varicap} . Diese Kapazitäten sind entworfen um eine gesamte Ladekapazität im Bereich von etwa 20 pF zu ergeben, im Einklang mit einem speziellen exemplarischen Entwurf des Kristalloszillators **14**. Die Frequenz mit der der Oszillator oszillieren wird, ist teilweise durch dessen Ladekapazität festgelegt. C_1 und C_2 können feste Kapazitäten sein, die direkt auf dem Substrat **11** gebildet werden, während C_{varicap} eine Spannungskontroll-Kapazität ist, die auch direkt auf dem Substrat gebildet wird. Der Kapazitätsbeitrag auf Grund parasitärer Kapazitäten, sowohl auf dem, als auch außerhalb des Substrates **11**, müssen in die gesamte Ladekapazität eingerechnet werden.

[0020] Der variable Kondensator C_{varicap} wird dazu verwendet, die Variation in den folgenden Parametern zu kompensieren:

- (1) Produktionstoleranzen in den Werten der festen Kapazitäten C_1 und C_2 , gebildet auf dem Sub-

strat **11**;

(2) parasitäre Kapazitäten sowohl auf dem als auch außerhalb des Substrates **11**;

(3) Temperaturfluktuation des Oszillatorschaltkreises; und

(4) Toleranz des Kristalloszillators **14**.

[0021] Ein exemplarischer Wert des C_{varicap} -Kompensationsbereiches ist ± 35 ppm. Dies ergibt eine gesamte Ladekapazitätsänderung in der Größenordnung von 3.2 pF (unter der Annahme einer gesamten Ladekapazität von 20 pF), da eine exemplarische Trimm sensitivität des Kristalloszillators in der Größenordnung von 10.8 ppm/pF sein könnte.

[0022] Die C_{varicap} wird vorzugsweise als ein NMOS-Transistor gefertigt, wobei Quelle und Drain mit einem Terminal verbunden sind und das andere Terminal als das Gate verwendet wird. Der NMOS-Transistor wird in dem Inversionsbereich benutzt, wo die Kapazität mit der Gatespannung abnimmt so wie die Inversionsschicht wächst. **Fig. 2** beschreibt eine Darstellung der Kapazitäts-/Spannungsabhängigkeit eines NMOS-Transistors, wobei der nützliche Bereich des Kondensators dargestellt wird. Nahe der Oxidschicht der NMOS-Vorrichtung erscheint ein dünne Verarmungsbereich auf Grund der unterschiedlichen Arbeitsfunktionen des Gate-metalls und des Halbleiters. Diese Verarmungsschicht wächst mit der angelegten Spannung und ist für den abnehmenden Wert der Kapazität im linken Teil der Darstellung verantwortlich. In der Mitte des Verarmungsbereiches (d. h. der untere Teil der dargestellten Kurve) verhält sich der Halbleiter grundsätzlich nahe der Oxidschicht und an diesem Punkt erreicht die Kapazität ihren tiefsten Wert. Wenn die Spannung weiter ansteigt, nähert sich der Halbleiter dem inversen Modus, eine leitende Schicht erscheint und schließt mehr und mehr den Effekt der angekommenen Verarmungsschicht aus, mit dem Resultat einer ansteigenden Kapazität.

[0023] Die festen Kapazitäten C_1 und C_2 sind genau in derselben Weise konstruiert wie die C_{varicap} , jedoch ist das Substrat unter dem Gateoxid heftig dotiert, so dass eine Inversionsschicht und ein von einer Spannung unabhängiger Kondensator erreicht werden.

[0024] Exemplarische Entwurfsparameter in einem Oszillator des Typs, der den Gegenstand der vorliegenden Erfindung bildet, und der eine gesamte Ladekapazität C_{total} in der Größenordnung von 20 pF \pm 3.2 pF bilden soll und der den gewünschten Abstimmungsbereich erzeugen soll, beinhalten: $C_1 = 123$ pF; $C_2 = 70$ pF; und $C_{\text{varicap}} = 14.5\text{--}39$ pF. Diese sind repräsentative Werte und sind mit Bezug auf die Einflüsse der parasitären Kapazitäten optimiert.

[0025] **Fig. 3** ist eine Darstellung, die die gewünschte und aktuelle C_{total} als eine Funktion der parasitären Kapazitäten C_{par} beschreibt. Die Funktion erhält man, wenn C_{par} in dem exemplarischen Bereich von 1.5–4 pF ist. Die parasitären Kapazitäten auf dem Chip werden etwa auf 1 pF geschätzt. Die parasitären Kapazi-

täten außerhalb des Chip können im Bereich von 0.5–3.0 pF sein, was bedeutet, dass der Entwurf relativ unempfindlich mit Bezug auf die parasitären Kapazitäten der gedruckten Leiterplatte ist, auf der der Chip montiert ist.

D/A-KONVERTERSCHALTREIS

[0026] Während der Fertigung des von einem Kristall gesteuerten Oszillators der vorliegenden Erfindung wird die Frequenz auf einen speziellen Wert kalibriert. Dies wird durch das Schreiben eines digitalen Wortes in einen D/A-Konverter (DAC) **21** durchgeführt. Der Strom aus dem DAC21 wird dann in eine Ausgangsspannung konvertiert, die an den C_{varicap} angelegt wird. Die Kapazität des C_{varicap} und daher die gesamte Ladekapazität **13** des Oszillatorverstärkers **12** wird geändert und die Frequenz der Oszillation wird auf den genauen gewünschten Wert eingestellt.

[0027] Der Entwurf eines D/A-Konverters für diese Anwendung umfaßt zahlreiche Betrachtungen, einschließlich Geschwindigkeitsbegrenzungen, Monotonie, belegte Chipfläche und Stromverbrauch. Monotonie ist für diese Anwendung wichtig, da der DAC Teil eines Regelkreises während der Kalibrierung ist und ein lokales Maximum oder Minimum in der Ausgangsfunktion können eine Kalibrierung unmöglich machen. Der Stromverbrauch ist auch wichtig, da der Oszillator mit einer Batterie versorgt wird. Der Strom basierte DAC21 besteht aus durch Strom gewichteten 4-Bit-Schaltern, die in Blöcken organisiert sind und aus einem 4-Bit-Segmentdekoder **32**. Der Eintritt eines digitalen Wortes in den Eingang **33** erzeugt einen entsprechenden Strom am Ausgang **34**. Wie in **Fig. 4** dargestellt, ist jeder der Blöcke **31** mit den 4 niedrigstwertigen Bits (LSB) verbunden. Die vier höchstwertigen Bits (MSB) werden per Segment dekodiert und schalten die Blöcke mit höheren Eingabewerten aktiv. Ein neuer Strom wird zum vorhergehenden Strom mit höheren Eingangswerten addiert. Auf diese Weise wird Monotonie mit dem in **Fig. 4** erklärten Schaltkreis garantiert.

Verhältnis zur absoluten Temperatur Schaltkreis

[0028] Der Schaltkreis **19** wird proportional zur absoluten Temperatur (PTAT) benutzt, um die Variationen im Oszillatorschaltkreis zu kompensieren, die auf Grund der Temperaturschwankungen des Substrates **11** auftreten. Der PTAT-Schaltkreis **19** erzeugt eine Spannung, die proportional zur Temperatur des Chip ist. Diese Spannung wird in der Summierungseinheit **17** zur Spannung addiert, die vom Ausgabestrom des DAC21 erhalten wird, und ihre Summe wird an das Terminal angelegt. Daher ändert die Variation im Wert C_{varicap} die gesamte Kapazität der lokalen Kondensatoren **13**, um die Frequenz der Oszillation zu ändern. Die gesamte Ladekapazität wird deshalb vom PTAT-Schaltkreis **19** geändert, um die Frequenz des Oszillatorverstärkers **12** wegen der Variationen in

der Temperatur zu kompensieren. Die PTAT-Ausgangsspannung basiert auf der Temperaturabhängigkeit eines MOS-Transistors und besteht aus der Aufnahme einer stabilen Referenzspannung und der Verbindung dieser mit einem Spannungsteiler, der einen stark dotierten Widerstand mit einem negativen Temperaturkoeffizienten enthält.

Strom/Spannungskonverter

[0029] Der Strom/Spannungskonverter (I–V) **18** konvertiert den Strom aus DAC21 in eine Spannung und addiert sie zur Spannung aus dem PTAT **19**. Der I–V-Konverter **18** ist als ein Transwiderstands-Verstärker aufgebaut und besteht aus einem zwei Stufen Operationsverstärker mit einem Widerstand, der zwischen dem Ausgang und dem negativen Eingang verbunden ist. Der Strom aus dem DAC21 wird an den negativen Eingang gelegt und die Spannung aus dem PTAT **19** wird an den anderen Eingang des Operationsverstärker gelegt. Das Ausgangsresultat ist die Summe dieser beiden Eingangsspannungen, repräsentiert als ein Summierer **17**, der an die C_{varicap} angelegt wird.

Oszillatorverstärker

[0030] Der Oszillatorverstärker **12** ist als Differentialverstärker mit einem einzigen Ausgang aufgebaut, der eine hohe, leicht einstellbare Verstärkung zur Verfügung stellt. Der Verstärker ist mit einer Eingangsspannung vorgesehen, die die Stromquelle in dem Verstärker kontrolliert. Eine Spannung wird durch den automatischen Verstärkungsregler (AGC) an diesen Eingang gelegt und der Kreisgewinn wird auf einen geeigneten, durch den AGC **16** kontrollierten Wert geregelt.

[0031] Während des Hochfahrens, wenn es keine Oszillation gibt, liefert der AGC **16** ein Rückkopplungssignal an den Verstärker, das einen maximalen Strom im Verstärker ermöglicht. Dies resultiert in einem sehr hohen Kreisgewinn, und stellt dabei sicher, dass die Oszillationsamplitude aus der Störung im Verstärker selbst herauswächst. Sobald die Oszillationsamplitude wächst, reduziert der AGC **16** den Strom im Oszillatorverstärker und damit den Kreisgewinn. Bei einer Oszillation im stabilen Zustand stellt der AGC **16** eine Oszillation bei einem definierten, niedrigen Amplitudenwert ein. Der Strom wird bei Normalbetrieb gerade oberhalb seines kritischen Wertes begrenzt und der Stromverbrauch wird dabei auf einem minimalen Wert gehalten. Die Amplitudenregelung eliminiert auch nicht lineare Effekte im Verstärker, die andernfalls die Frequenzstabilität des Oszillators verschlechtern könnten.

AGC-Kreis

[0032] Das Ausgangssignal aus dem Oszillatorverstärker **12** wird an eine Kapazität gekoppelt, um ir-

gendwelche Gleichstromkomponenten zu eliminieren und gleichgerichtet und in einem Tiefpaß gefiltert, um in einem Amplitudendetektor **15** ein Signal proportional zur Amplitude der Oszillation zu erhalten. Das Signal aus dem Amplitudendetektor **15** wird an die Stromquelle des Verstärkers zurück gekoppelt und regelt daher die Oszillationsamplitude des Schaltkreises auf einen vorbestimmten Wert, um den Stromverbrauch des Verstärkers exakt auf ein vorbestimmtes minimalen Wert zu steuern.

[0033] Wie man aus der obigen Beschreibung erkennen kann, liefert der Kristalloszillator der vorliegenden Erfindung zwei sehr wünschenswerte Funktionen für einen hoch stabilen Kristallkontrolloszillator zur Verwendung in elektronischen Schaltkreisen, die einen hohen Grad von Präzision und Dichte erfordern. Genauer gesagt liefert der Oszillator der vorliegenden Erfindung einen AGC-Schaltkreis, der sowohl den zuverlässigen Start beim Hochfahren der Oszillation als auch eine sorgfältige Kontrolle des Stromverbrauchs durch den Oszillator während des Betriebes. Zusätzlich liefert der Oszillator der vorliegenden Erfindung hoch zuverlässige und genaue Einrichtungen zur Frequenzkompensation des Oszillators für Fertigungsvariationen als auch für Temperaturschwankungen während des Betriebes des Oszillators.

[0034] Obwohl bevorzugte Ausführungen des Verfahrens und der Vorrichtung der vorliegenden Erfindung in den beiliegenden Abbildungen dargestellt wurden und der vorhergehenden Beschreibung geschildert wurden, ist es klar, dass die Erfindung nicht auf die veröffentlichten Ausführungen beschränkt ist, sondern in der Lage ist zahlreiche neue Anordnungen, Modifikationen und Substitutionen durchzuführen, ohne von der Zielsetzung der Erfindung abzuweichen, die in den folgenden Ansprüchen definiert ist.

Patentansprüche

1. Ein von einem Kristall kontrollierter Oszillator-schaltkreis, enthaltend:
 einen Oszillatorverstärker (**12**) mit einem Ein- und einem Ausgang, wobei der Eingang mit einem Kristallresonator (**14**) zur Bereitstellung einer Oszillation in einem vorbestimmten Frequenzbereich verbunden ist;
 eine Einrichtung zur Gleichrichtung des Ausgangssignals aus dem Oszillatorverstärker;
 eine Einrichtung zur kapazitiven Kopplung der Ausgabe des Oszillatorverstärkers mit den Gleichrichtungseinrichtungen;
dadurch gekennzeichnet, dass der Schaltkreis folgendes enthält:
 eine Einrichtung zur Tiefpassfilterung des Ausgangssignals der Gleichrichtungseinrichtung, um ein Gleichstromsignal proportional zur Amplitude der Ausgabe des Oszillatorverstärkers zu erzeugen; und
 ein Rückkopplungskreis zur Verbindung des Gleich-

stromsignals aus der Tiefpass-Filtereinrichtung zurück an eine Stromquelle des Oszillatorverstärkers, um das Amplitudenniveau der Oszillatorausgabe auf einen vorbestimmten Wert zu regeln und um den Stromverbrauch des Oszillatorschaltkreises zu begrenzen.

2. Ein von einem Kristall kontrollierter Oszillator-schaltkreis, wie in Anspruch 1 definiert, worin der Oszillatorverstärker einen Differentialverstärker mit einer Spannungseingabe zur Kontrolle der Stromquelle innerhalb des Verstärkers enthält, um die Kreisverstärkung des Verstärkers auszubauen.

3. Ein von einem Kristall kontrollierter Oszillator-schaltkreis, wie in Anspruch 1 definiert, worin der Rückkopplungskreis beim Hochfahren ein Signal an die Stromquelle des Oszillatorverstärkers liefert, das einen maximalen Strom innerhalb des Verstärkers erlaubt, um eine sehr hohe Kreisverstärkung zu erzeugen und um eine Oszillation im Verstärker zu induzieren.

4. Ein von einem Kristall kontrollierter Oszillator-schaltkreis, wie in jedem der vorhergehenden Ansprüche definiert, der weiterhin eine Abstimmungseinrichtung zur Abstimmung des Oszillatorverstärkers enthält.

5. Ein von einem Kristall kontrollierten Oszillator-schaltkreis, wie er in Anspruch 4 definiert ist, wobei die Abstimmungseinrichtung einen Resonatorbehälter-Kondensatorschaltkreis enthalten, der mit dem Eingang des Oszillatorverstärkers verbunden ist und der eine Auswahlwert der Kapazität besitzt, um die Oszillationsfrequenz des Verstärkers auf einen vorbestimmten Wert abzustimmen, wobei der Behälter-kondensator-Schaltkreis zumindest einen variablen Spannungskondensator enthält.

6. Ein von einem Kristall kontrollierter Oszillator-schaltkreis, wie in Anspruch 5 definiert, wobei der Resonatorbehälter-Kondensatorschaltkreis weiterhin eine Einrichtung zur Erstellung eines Anfangswertes einer Spannung entlang des variablen Spannungskondensators enthält, um den Resonatorbehälter-Kondensatorschaltkreis, und damit den Oszillatorverstärker, auf eine vorbestimmte Frequenzoszillation abzustimmen.

7. Ein von einem Kristall kontrollierter Oszillator-schaltkreis, wie in Anspruch 6 definiert, worin die Einrichtung zur Erstellung eines Anfangswertes einer Spannung folgendes enthalten:
 eine Einrichtung zur Erzeugung einer digitalen Zahl;
 eine Einrichtung zum Konvertieren dieser digitalen Zahl in einen analogen Stromwert proportional zum Wert der digitalen Zahl;
 eine Einrichtung zum Konvertieren des analogen Stromwertes in einen zu diesem Stromwert proporti-

onalen Spannungswert; und eine Einrichtung zur Kopplung des Spannungswertes an den variablen Spannungskondensator, um dessen Kapazitätswert einzurichten.

8. Ein von einem Kristall kontrollierten Oszillator-schaltkreis, wie in einem der Ansprüche 5 bis 7 definiert, der weiterhin eine Temperaturkompensations-Spannungseinrichtung zur Abstimmung des Kapazitätswertes des variablen Spannungskondensators enthält, als Antwort auf Temperaturschwankungen in den Schaltkreisen, und um die Oszillationsfrequenz auf dem vorbestimmten Wert beizubehalten.

9. Ein von einem Kristall kontrollierter Oszillator-schaltkreis, wie in Anspruch 6 definiert, der weiterhin folgendes enthält:
eine Einrichtung zur Erstellung eines Spannungswertes zur Temperaturkompensation; und einen Summierungsschaltkreis zum Summieren des Spannungswertes zur Temperaturkompensation mit dem Anfangswert der Spannung, um eine Spannung zur Erstellung des Kapazitätswertes des variablen Spannungskondensators zu bilden.

10. Ein von einem Kristall kontrollierter Oszillator-schaltkreis, wie in einem vorhergehenden Anspruch definiert, worin all Komponenten auf einem einzigen Substrat erstellt sind.

11. Ein Verfahren zur Erzeugung eines Oszillatorausgangssignals, während der Stromverbrauchs des Oszillators geregelt wird, das folgendes enthält:
Bereitstellen eines Oszillatorverstärkers mit einem Eingang und einem Ausgang, wobei der Eingang mit einem Kristallresonator zur Erstellung der Oszillation in einem vorbestimmten Frequenzbereich verbunden ist;
Gleichrichten des Ausgangssignals aus dem Oszillatorverstärker;
kapazitives Koppeln der Ausgabe des Oszillatorverstärkers an die Gleichrichtungseinrichtungen;
Tiefpassfiltern des Ausgabesignals aus den Gleichrichtungseinrichtungen, um ein Gleichstromsignal proportional zur Amplitude des Ausgabe des Oszillatorverstärkers zu erzeugen; und
Verbinden des Gleichstromsignals in einem Rückkopplungskreis zurück an eine Stromquelle des Oszillatorverstärkers, um das Amplitudenniveau der Oszillatorausgabe auf einen vorbestimmten Wert zu regeln und den Stromverbrauch des Oszillatorschaltkreises zu beschränken.

12. Ein Verfahren, wie in Anspruch 11 definiert, worin der Oszillatorverstärker einen Differentialverstärker besitzt und worin die Stromquelle innerhalb des Verstärkers durch eine Spannungseingabe kontrolliert wird, um die Kreisverstärkung des Verstärkers einzurichten.

13. Ein Verfahren, wie in Anspruch 12 definiert, das weiterhin den Schritt der Lieferung eines Signals an die Stromquelle des Oszillatorverstärkers beim Hochfahren enthält, um einen maximalen Strom innerhalb des Verstärkers zu erlauben, um eine sehr hohe Kreisverstärkung zu erzeugen und eine Oszillation innerhalb des Verstärkers zu induzieren.

14. Ein Verfahren, wie in jedem einzelnen der Ansprüche 11 bis 13 definiert, das weiterhin den Schritt der Abstimmung des Oszillatorverstärkers enthält.

15. Ein Verfahren, wie in Anspruch 14 definiert, worin der Oszillatorverstärker unter Verwendung eines Resonatorbehälter-Kondensatorschaltkreises, der mit dem Eingang des Oszillatorverstärkers verbunden ist, abgestimmt wird und er einen Kapazitätswert besitzt, um die Frequenz der Oszillation des Verstärkers auf einen vorbestimmten Wert abzustimmen, und worin der Behälter-Kondensatorschaltkreis zumindest einen variablen Spannungskondensator enthält.

16. Ein Verfahren, wie in Anspruch 15 gefordert, worin ein Anfangswert einer Spannung entlang des variablen Kondensators aufgebaut wird, um den Resonatorbehälter-Kondensatorschaltkreis, und deshalb den Oszillatorverstärker auf eine vorbestimmte Frequenz der Oszillation abzustimmen.

17. Ein Verfahren, wie in Anspruch 16 gefordert, worin der Anfangswert der Spannung durch das Folgende erstellt wird:
Erzeugen einer digitalen Zahl;
Umsetzen dieser digitalen Zahl in einen analogen Stromwert, proportional zum Wert der digitalen Zahl;
Umsetzen des analogen Stromwertes in einen Spannungswert, proportional zum Stromwert; und
Verbinden des Spannungswertes mit dem variablen Spannungskondensator, um dessen Kapazitätswert auszubauen.

18. Ein Verfahren, wie in jedem einzelnen der Ansprüche 15 bis 17 definiert, weiterhin folgende Schritte enthaltend:
Hinzufügen eines Spannungswertes zur Temperaturkompensation zu dem Anfangswert der Spannung, um auch den Kapazitätswert des variablen Spannungskondensators abzustimmen, als Antwort auf Temperaturschwankungen in den Schaltkreisen und um die Frequenz der Oszillation auf dem vorbestimmten Wert beizubehalten.

19. Ein Verfahren, wie in Anspruch 16 definiert, weiterhin folgende Schritte enthaltend:
Aufbauen eines Spannungswertes zur Temperaturkompensation; und
Summieren dieses Spannungswertes zur Temperaturkompensation mit dem Anfangswert der Spannung, um eine Spannung zu formen, um den Kapazi-

tätswert des variablen Spannungskondensators zu erstellen.

20. Ein Verfahren, wie in jedem einzelnen der Ansprüche 11 bis 19 definiert, worin alle Komponenten auf einem Substrat gebildet werden.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

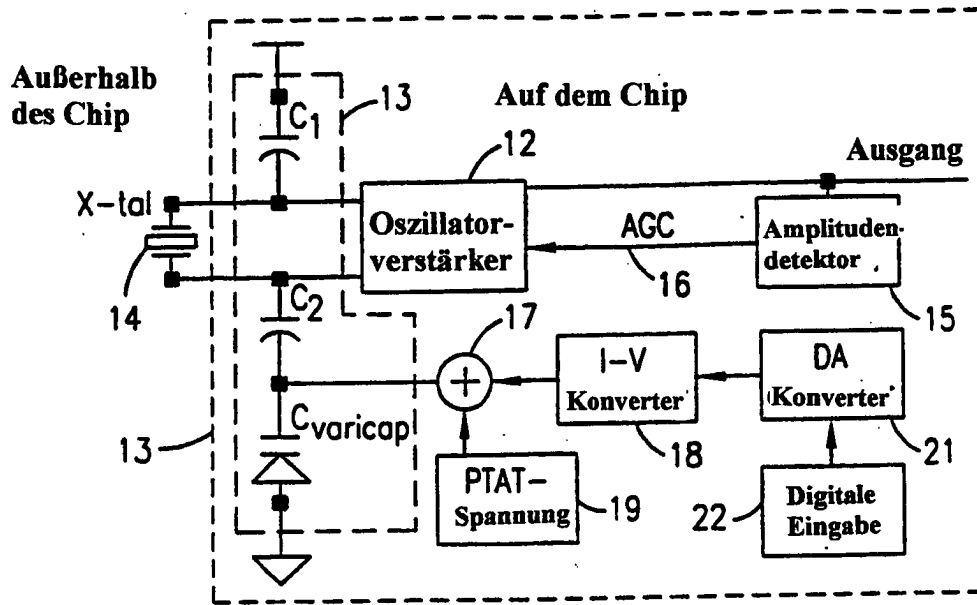


FIG. 1

Kapazität vs. Spannung für einen NMOS W/L-170/170

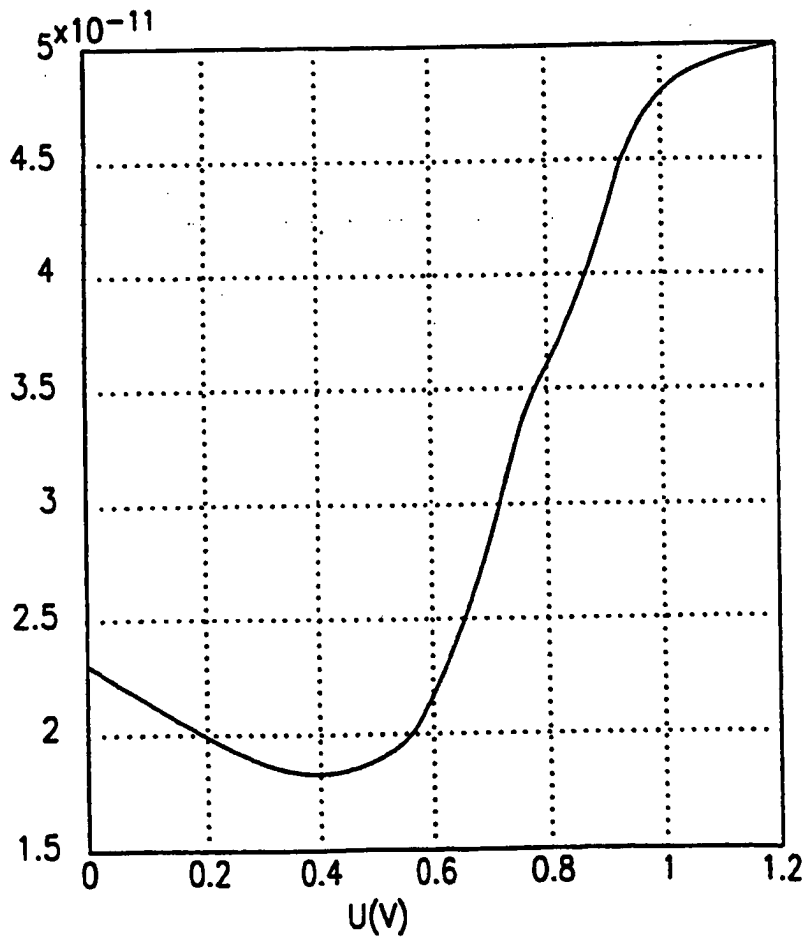


FIG. 2

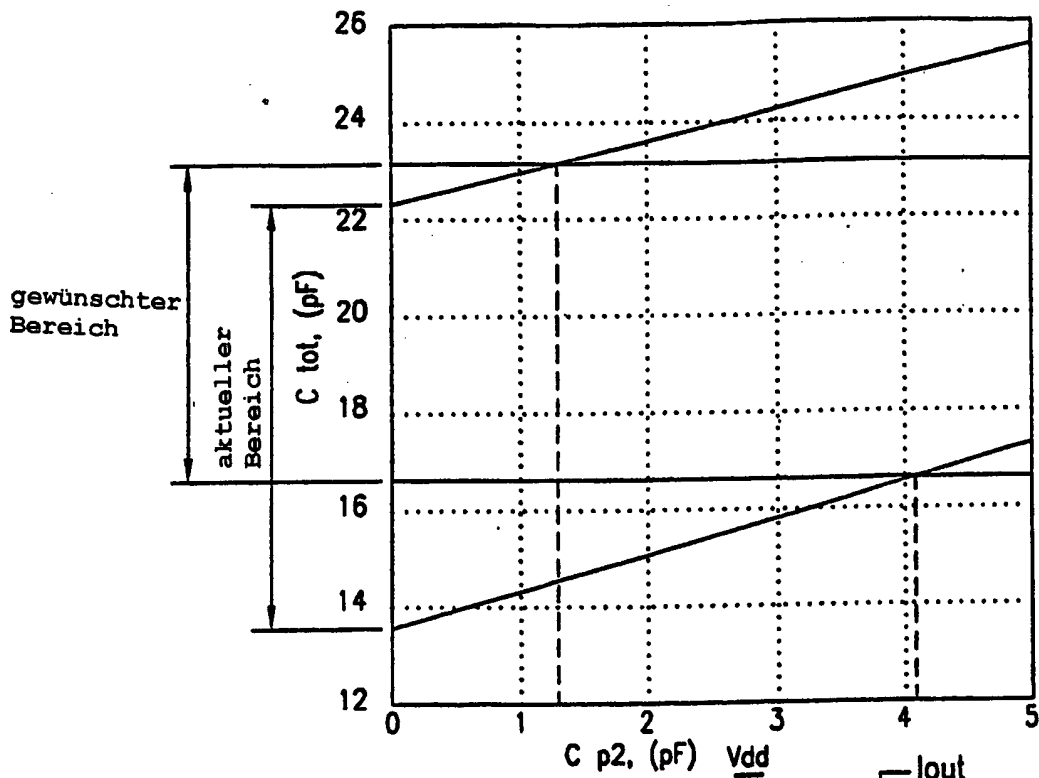


FIG. 3

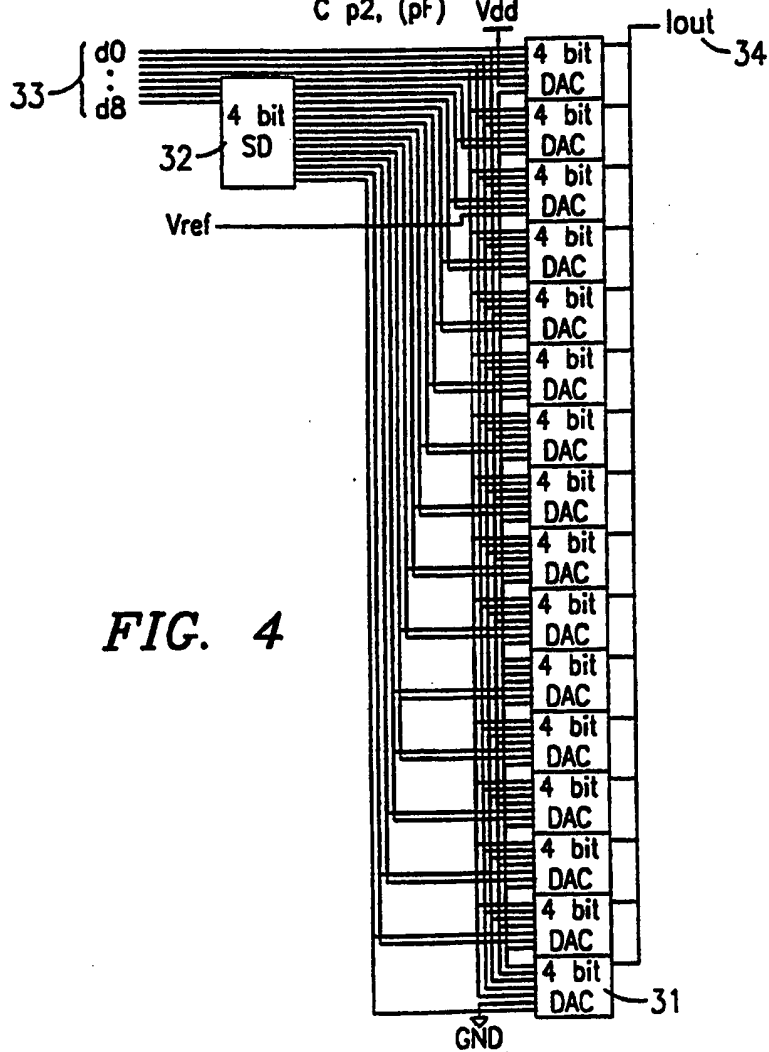


FIG. 4