



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 602 20 209 T2 2008.01.17**

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 244 215 B1**

(51) Int Cl.⁸: **H03L 7/00 (2006.01)**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **602 20 209.4**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **02 252 014.2**

(96) Europäischer Anmeldetag: **20.03.2002**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **25.09.2002**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **23.05.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **17.01.2008**

(30) Unionspriorität:

811611 20.03.2001 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,
LI, LU, MC, NL, PT, SE, TR**

(73) Patentinhaber:

Broadcom Corp., Irvine, Calif., US

(72) Erfinder:

**Gomez, Ramon A., San Juan Capistrano,
California 92675, US**

(74) Vertreter:

**Bosch, Graf von Stosch, Jehle
Patentanwaltsgesellschaft mbH, 80639 München**

(54) Bezeichnung: **Phasenregelschleifeverstärkungssteuerung mit Einheitsstromquellen**

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

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft allgemein eine Verstärkungskompensatorschaltung und insbesondere eine Phasenregelschleifen-Verstärkungsregelung, die skalierte Einheitsstromquellen verwendet, sowie ein Verfahren zur Kompensation der Verstärkung einer Phasenregelschleife.

[0002] Hochfrequenz-(HF)-Sender und -Empfänger führen eine Frequenzumsetzung durch, indem sie ein Eingangssignal mit einem Empfängeroszillator-(LO; local oscillator)-Signal mischen. Vorzugsweise sollte das LG-Signal ein Frequenzspektrum aufweisen, das so nahe an einem reinen Ton wie möglich ist, um die Systemperformanz während der Signalmischoperation zu maximieren. Die Abweichung des LO-Signals von einem reinen Ton wird als Phasenrauschen oder Phasenjitter quantifiziert und wird allgemein als spektrale Reinheit bezeichnet. Mit anderen Worten, ein LO-Signal mit einer guten spektralen Reinheit weist ein niedriges Phasenrauschen auf.

[0003] Phasenregelschleifen (PLLs) werden oft in Frequenzsynthesizern verwendet, um das LG-Signal zu erzeugen. Ein PLL-Frequenzsynthesizer erzeugt ein Ausgangssignal, typischerweise eine Sinuswelle oder eine Rechteckwelle, das ein Frequenzvielfaches von einem Eingangsreferenzsignal ist. Das PLL-Ausgangssignal befindet sich auch in Phasensynchronisation mit dem Eingangsreferenzsignal. PLLs sind Rückkopplungsschleifen und sind deshalb anfällig für Instabilität. Deshalb ist die Schleifenstabilität ein Hauptleistungsparameter für PLLs, zusätzlich zu der spektralen Reinheit des Ausgangssignals.

[0004] Ein resonanzabgestimmter spannungsgesteuerter Oszillator (VCO; voltage controlled oscillator) wird typischerweise in einer PLL verwendet, um das PLL-Ausgangssignal zu erzeugen. Ein resonanzabgestimmter VCO umfasst eine aktive Vorrichtung und einen Schwing-LC-Kreis, wobei die Impedanz des Schwing-LC-Kreises bei einer Resonanzfrequenz ein Kurzschluss oder ein Leerlauf wird. Wenn der Schwingkreis parallel zu der aktiven Vorrichtung geschaltet wird, wird in der aktiven Vorrichtung bei der Resonanzfrequenz des LC-Kreises ein positiver Rückkopplungspfad geschaffen. Der positive Rückkopplungspfad bewirkt, dass die aktive Vorrichtung bei der Resonanzfrequenz des LC-Kreises oszilliert.

[0005] Der resonanzabgestimmte LC-Kreis umfasst typischerweise mehrere Festkondensatoren, die in den LC-Kreis eingeschaltet oder aus diesem herausgeschaltet werden können, eine Varaktordiode und wenigstens einen Induktor. Die Resonanzfrequenz des LC-Kreises (und deshalb die Schwingungsfrequenz des VCO) wird über einen Grobabstimmungsmechanismus und einen Feinabstimmungsmechanismus abgestimmt. Die grobe Frequenzabstimmung

(oder Bereichsauswahl) wird durchgeführt, indem einer oder mehrere der Festkondensatoren in den LC-Kreis eingeschaltet wird/werden. Dagegen wird die feine Frequenzabstimmung dadurch durchgeführt, dass die Spannung quer durch die Varaktordiode geändert wird, was eine Kapazität erzeugt, die in Abhängigkeit von der angelegten Abstimmspannung variiert. Beide Abstimmungsmechanismen arbeiten damit, dass sie die Kapazität und deshalb die Resonanzfrequenz des LC-Kreises ändern. Der Varaktorabstimmbereich ist geringfügig größer als ein Festkondensator und sieht deshalb eine gewisse Überlappung zwischen den Festkondensatoren vor.

[0006] Die VCO-Verstärkung wird als die VCO-Frequenzverschiebung pro Einheit der Änderung (unit change) in der Varaktorabstimmspannung definiert. Ein Problem bei varaktorabgestimmten VCOs liegt darin, dass die VCO-Verstärkung gegenüber der festen Kapazität variabel ist. Mit anderen Worten, die VCO-Frequenzverschiebung gegenüber der Abstimmspannung hängt von der festen Kapazität ab, die in den LC-Kreis eingeschaltet wird. Die variable VCO-Verstärkung erzeugt Schwierigkeiten bei der Auslegung einer PLL, da das gesamte PLL-Schleifenverstärkungs-, -Bandbreiten- und -Dämpfungsverhalten in Bezug auf die Schwingungsfrequenz variiert. Dies wiederum gestaltet es schwierig, das Ausgangsphasenrauschen zu optimieren und reduziert die gesamte spektrale Reinheit. Deshalb ist es wünschenswert, die variable VCO-Verstärkung zu kompensieren, um die Gesamt-PLL-Verstärkung auf einem gewünschten optimalen Wert zu halten.

[0007] Zusätzlich zu der VCO-Verstärkung ist es auch wünschenswert, andere PLL-Charakteristiken einzustellen oder abzustimmen, wie etwa die Schleifenbandbreite, die Referenzfrequenz und den Dämpfungsfaktor, ohne PLL-Komponenten abstimmen oder ersetzen zu müssen.

[0008] Die EP-A-0 627 820 betrifft eine Ladungspumpe, die eine Referenzschaltung, mehrere parallele Pfade, eine Spiegelschaltung, eine stromliefernde Schaltung und eine stromziehende Schaltung aufweist. Die beschriebene Ladungspumpe kann in eine Phasenregelschleifenschaltung eingebaut werden, in der konstante Stabilitätsparameter erwünscht sind.

[0009] Die obigen und weitere Aufgaben werden von dem Verstärkungskompensator nach Anspruch 1 und dem Verfahren zur Kompensation der Verstärkung einer PLL gemäß Anspruch 15 gelöst.

[0010] Die Verstärkungskompensatorerfindung kompensiert eine Verstärkungsvariation in einem varaktorabgestimmten VCO, um die Gesamt-PLL-Verstärkung auf einem gewünschten Pegel über die Frequenz zu halten. Der VCO umfasst einen LC-Kreis, der mehrere Festkondensatoren aufweist, die paral-

lel zu der Varaktordiode und dem aktiven Teil des VCO angeordnet sind. Die Festkondensatoren werden in den LC-Kreis durch entsprechende Kondensator-Steuersignale eingeschaltet. Eine grobe Frequenzabstimmung (auch Bereichsauswahlabstimmung genannt) wird durchgeführt, indem einer oder mehrere der Festkondensatoren zu dem LC-Kreis in Übereinstimmung mit den Kondensator-Steuersignalen addiert oder von diesen subtrahiert wird/werden. Die feine Frequenzabstimmung wird durchgeführt, indem die Abstimmspannung in der Varaktordiode eingestellt wird, wobei die VCO-Verstärkung als die Frequenzverschiebung pro Einheit der Änderung in der Varaktorabstimmspannung definiert ist. Die VCO-Verstärkung variiert mit der festen Kapazität, die in den LC-Kreis eingeschaltet wird, und deshalb ändert sie sich mit der Bereichsauswahlabstimmung des VCO. Der Verstärkungskompensator kompensiert die variable VCO-Verstärkung, indem er einen Referenzladungspumpenstrom für die PLL auf der Basis von Informationen erzeugt, die in dem Kondensator-Steuersignal enthalten sind. Deshalb ist der Verstärkungskompensator in der Lage, gleichzeitig den Ladungspumpenstrom einzustellen, um eine gesamte lineare PLL-Verstärkung aufrecht zu erhalten, während Festkondensatoren inkrementell zu dem LC-Kreis addiert werden (oder von diesem subtrahiert werden).

[0011] Der Verstärkungskompensator umfasst eine oder mehrere Zellen, die jeweils einem bestimmten VCO entsprechen, der in die PLL zu einem gegebenen Zeitpunkt eingeschaltet werden kann. Ein VCO-Steuersignal wählt einen bestimmten VCO für die PLL auf der Basis der Frequenz aus und aktiviert auch die zugehörige Zelle. Jede Zelle umfasst eine Vielzahl von Einheitsstromquellen, wobei jede Einheitsstromquelle im Wesentlichen einen vordefinierten Referenzskalierstrom repliziert (oder kopiert). Die Einheitsstromquellen werden in eine oder mehrere Gruppen arrangiert, wobei jede Gruppe einem Festkondensator in dem LC-Kreis entspricht. Jede Gruppe von Einheitsstrom erzeugt einen Teil des gesamten Pumpenstroms, wenn der entsprechende Kondensator in den LC-Kreis eingeschaltet ist. Die Anzahl an Einheitsstromquellen in jeder Gruppe wird so festgelegt, dass sie die variable VCO-Verstärkung kompensiert, die auftritt, wenn der entsprechende Festkondensator in den LC-Kreis eingeschaltet wird. Jede Gruppe von Einheitsstromquellen wird von dem gleichen Kondensator-Steuersignal aktiviert, das den entsprechenden Festkondensator steuert. Deshalb wird dann, wenn ein Festkondensator in den LC-Kreis eingeschaltet wird, die entsprechende Gruppe von Einheitsstromquellen gleichzeitig aktiviert und in die Zelle eingeschaltet, um die variable VCO-Verstärkung zu kompensieren, die von dem Festkondensator bewirkt wird.

[0012] Ein Vorteil der Verstärkungskompensatorer-

findung liegt darin, dass die Anzahl von Einheitsstromquellen, die für einen entsprechenden Festkondensator aktiviert wird, willkürlich ist, aber der erzeugte Strom linear proportional zu dem Referenzskalierstrom ist. Mit anderen Worten, es gibt keine vordefinierte Beziehung zwischen der Anzahl von Einheitsstromquellen in jeder Gruppe, die den relativen Betrag an Strom beschränken würde, der von jeder Gruppe erzeugt wird. Deshalb kann der gesamte Pumpenstrom frei optimiert werden, um die variable VCO-Verstärkung, die mit verschiedenen Kombinationen von Festkondensatoren assoziiert ist, inkrementell einzustellen.

[0013] Ein weiterer Vorteil der Verstärkungskompensatorerfindung ist derjenige, dass der Referenzskalierstrom für die Verstärkungskompensatorzellen auf der Basis eines PLL-Steuersignals erzeugt wird. Das PLL-Steuersignal spezifiziert verschiedene PLL-Charakteristiken, wie etwa die Frequenz des Referenzsignals, die PLL-Bandbreite und den PLL-Dämpfungsfaktor, etc. Da die Einheitsstromquellen so konfiguriert sind, dass sie den Referenzskalierstrom replizieren, können alle Einheitsstromquellen simultan eingestellt werden, indem der Referenzskalierstrom geändert wird. Deshalb kann der Ladungspumpenstrom effizient eingestellt werden, um die erwähnten Charakteristiken der PLL auf unterschiedliche Betriebsbedingungen abzustimmen, ohne dass PLL-Komponenten ausgetauscht werden müssen.

[0014] Weitere Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung sowie auch der Aufbau und der Betrieb verschiedener Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden unten unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen ausführlich beschrieben.

[0015] Die vorliegende Beschreibung wird unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben. In diesen Zeichnungen zeigen ähnliche Bezugszeichen identische oder funktionell ähnliche Elemente an. Außerdem identifiziert/identifizieren die Ziffer(n) ganz links eines Bezugszeichens die Zeichnung, in der das Bezugszeichen zum ersten Mal erscheint.

[0016] [Fig. 1A](#) veranschaulicht eine Abstimmvorrichtung **100**, die eine beispielhafte Abstimmvorrichtungsumgebung für die vorliegende Erfindung ist;

[0017] [Fig. 1B](#) veranschaulicht eine Zweifrequenzkonversion, die von der Abstimmvorrichtung **100** durchgeführt wird;

[0018] [Fig. 2](#) veranschaulicht eine PLL **200**, die mit der Abstimmvorrichtung **100** verwendet werden kann;

[0019] [Fig. 3](#) veranschaulicht einen VCO **300**, der mit der PLL **200** verwendet werden kann;

[0020] [Fig. 4](#) veranschaulicht eine variable VCO-Verstärkung;

[0021] [Fig. 5](#) veranschaulicht eine PLL **500**, die einen Verstärkungskompensator **502** umfasst, gemäß Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung;

[0022] [Fig. 6](#) veranschaulicht einen ROMDAC **600**, der ein Ausführungsbeispiel eines Verstärkungskompensators ist, gemäß Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung;

[0023] [Fig. 7](#) veranschaulicht einen ROMDAC **700**, der eine erweiterte Nachschlagetabelle **701** aufweist, gemäß Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung;

[0024] [Fig. 8](#) veranschaulicht einen Verstärkungskompensator **800**, der einen Stromskalierer **804** aufweist, der eine Stromspiegelkonfiguration mit einer oder mehreren Verstärkungskompensatorzellen **806** bildet, gemäß Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung;

[0025] [Fig. 9](#) veranschaulicht eine Verstärkungskompensatorzelle **806**, die mehrere Einheitsstromquellen aufweist, gemäß Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung;

[0026] [Fig. 10](#) veranschaulicht den Stromskalierer **804** gemäß Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung;

[0027] [Fig. 11](#) veranschaulicht ein Ablaufdiagramm **1100**, das den Betrieb einer PLL beschreibt, die eine Kompensation für eine nichtlineare VCO-Verstärkung aufweist, gemäß Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung; und

[0028] [Fig. 12](#) veranschaulicht ein Ablaufdiagramm **1200**, das den Betrieb einer Verstärkungskompensatorzelle beschreibt, gemäß Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung.

1. Beispielhafte Abstimmvorrichtungsanwendung

[0029] Bevor die Erfindung ausführlich beschrieben wird, ist es nützlich, eine beispielhafte Abstimmvorrichtungsanwendung für die Erfindung zu beschreiben. Die Erfindung ist nicht auf die Abstimmvorrichtungsanwendung beschränkt, die hier beschrieben wird, und ist auf andere Abstimmvorrichtungsanwendungen und Nicht-Abstimmvorrichtungsanwendungen anwendbar, wie es den Fachleuten auf den relevanten Fachgebieten auf der Basis der hier gegebenen Erörterungen klar sein wird.

[0030] [Fig. 1A](#) veranschaulicht schematisch eine Abstimmvorrichtungsanordnung **100**, die eine automatische HF-Verstärkungsregelungsschaltung (AGC; automatic gain control circuit) **102** und eine Abstimmvorrichtung **134** aufweist. Die Abstimmvorrichtungsanordnung **100** empfängt ein HF-Eingangssignal **101** mit mehreren Kanälen und wandelt einen ausgewählten Kanal abwärts auf eine ZF-Frequenz, um ein ZF-Signal **133** zu erzeugen. Das HF-Eingangssignal **101** kann zum Beispiel mehrere TV-Kanäle umfassen, die typischerweise 6 MHz Frequenzabstände aufweisen und einen Bereich von 57–860 MHz abdecken, und wobei der ausgewählte Kanal auf eine ZF-Frequenz von 44 MHz, 36 MHz oder irgendeine andere gewünschte ZF-Frequenz für die weitere Verarbeitung abwärts gewandelt wird. Der Aufbau und der Betrieb der AGC-Schaltung **102** und der Abstimmvorrichtung **134** werden unten noch ausführlicher beschrieben werden.

[0031] Die AGC-Schaltung **102** stellt eine automatische Verstärkungsregelung bereit, die einen variablen Widerstand **104** und einen Verstärker **106** mit niedrigem Eigenrauschen (LNA; low noise amplifier) verwendet. Der variable Widerstand **104** dämpft das HF-Eingangssignal **101** in Übereinstimmung mit einem Steuersignal **103**. In Ausführungsbeispielen basiert das Steuersignal **103** auf der Signalamplitude des ZF-Signals **133**, so dass die HF-Front-End-Verstärkung so eingestellt werden kann, dass sie eine gewünschte Amplitude für das ZF-Signal **133** erzielt. Der LNA **106** stellt eine Verstärkung mit niedrigem Eigenrauschen bereit und wandelt ein unsymmetrisches Eingangssignal in ein differentielles HF-Signal **107** um.

[0032] Die Abstimmvorrichtung **134** weist eine Doppelkonversionsarchitektur auf (eine Aufwärtswandlung, eine Abwärtswandlung), die einen Eingangsmischer **108** und einen Mischer **118** mit Spiegelfrequenzunterdrückung umfasst. Der Eingangsmischer **108** wird von einer ersten Phasenregelschleife (PLL) **110** gesteuert, die eine Grobabstimmungsfähigkeit von 1270–2080 MHz aufweist. Der Spiegelfrequenzunterdrückungsmischer **118** weist zwei Komponentenmischer **120a** und **120b** auf, die um 90° phasenverschoben von einer zweiten PLL **124** durch ein Quadraturmehrfasenfilter **122** gesteuert werden. Die PLL **124** weist eine relativ feste Frequenz von 1176 MHz (für eine 44 MHz ZF) auf und weist eine Feinfrequenzabstimmungsfähigkeit auf. Ein Mehrphasenfilter **126** ist mit dem Ausgang des Spiegelfrequenzunterdrückungsmischers **118** gekoppelt, um die Quadraturausgänge (quadrature outputs) der Mischer **120** zu kombinieren. Zwei separate chipexterne Oberflächenwellen-(SAW; surface acoustic wave)-Filter **114** und **130** werden verwendet, um eine ZF-Filterung in der Abstimmvorrichtung **134** durchzuführen. Das erste SAW-Filter **114** ist zwischen den ersten Mischer **108** und den Spiegelfrequenzunter-

drückungsmischer **118** geschaltet. Der Durchlassbereich des SAW-Filters **114** weist eine Mittenfrequenz von 1220 MHz auf und ist nur einige wenige Kanäle breit (z.B. 1–3 Kanäle breit oder 18 MHz für 6 MHz TV-Kanalabstände). Das zweite SAW-Filter **130** weist einen Durchlassbereich bei 44 MHz auf und ist mit dem Ausgang des Mehrphasenfilters **126** gekoppelt. Außerdem sind verschiedene chipinterne Verstärker **108**, **116**, **128** und **132** überall in der Abstimmvorrichtung **134** enthalten, um je nach Notwendigkeit eine Signalverstärkung bereitzustellen.

[0033] Der Betrieb der Abstimmvorrichtung **134** wird wie folgt und unter Bezugnahme auf das Frequenzspektrum beschrieben, das in [Fig. 1B](#) veranschaulicht ist. Der erste Mischer **108** mischt das HF-Signal **107** mit einem LG-Signal **109**, das von der PLL **110** erzeugt wird. Da die PLL **110** von 1270–2080 MHz abstimbar ist, wird das HF-Signal **107** auf eine erste ZF **111** aufwärtsgewandelt, die eine Frequenz aufweist, die oberhalb des 57–860 MHz Eingangsfrequenzbands liegt. Die erste ZF **111** wird chipextern zu dem SAW-Filter **114** gesendet, welches ein schmales Durchlassbereichsfenster mit einer Mittenfrequenz bei 1220 MHz aufweist. Das erste SAW-Filter **114** wählt einen gewünschten Kanal **115** aus, der sich innerhalb seines schmalen Durchlassbereichsfensters befindet, und sperrt im Wesentlichen alle restlichen Kanäle. Deshalb wird ein spezieller Kanal ausgewählt, indem die Frequenz des LO-Signals **109** derart variiert wird, dass der gewünschte Kanal in den engen Durchlassbereich des ZF-Filters **114** aufwärtsgewandelt wird. Der gewünschte Kanal **115** wird (bei 1220 MHz) chipintern zu dem Spiegelfrequenzunterdrückungsmischer **118** zurückgesendet, der von einem Quadratur-LO-Signal **119** von dem Mehrphasenfilter **122** gesteuert wird. Der Spiegelfrequenzunterdrückungsmischer **118** wandelt den gewünschten Kanal **115** abwärts auf ein 44 MHz ZF-Signal **127**, das an dem Ausgang des Mehrphasenfilters **126** erscheint, bei dem I- und Q-Komponenten des ZF-Signals **127** in dem Mehrphasenfilter **126** kombiniert werden. Schließlich wird das ZF-Signal **127** ein zweites Mal von dem Bandpass-SAW-Filter **130** gefiltert, um jegliche unerwünschten Frequenzüberschwingungen zu unterdrücken, wodurch das Ausgangs-ZF-Signal **133** bei 44 MHz erzeugt wird und die Information in dem gewünschten Kanal übertragen wird.

[0034] Die spezifischen Frequenzen, die in der Beschreibung der Abstimmvorrichtungsanordnung **100** und durch diese Anwendung hindurch erwähnt sind, sind lediglich zu Beispielszwecken gegeben und sind nicht beschränkend gedacht. Die Fachleute auf diesen Fachgebieten werden andere Frequenzanwendungen für die Abstimmvorrichtungsanordnung **100** auf der Basis der hier gegebenen Erörterung erkennen. Diese anderen Frequenzanwendungen liegen innerhalb des Schutzbereichs und des Gedankens

der vorliegenden Erfindung.

2. Phasenregelschleife:

[0035] Die erste PLL **110** und die zweite PLL **124** werden von der PLL **200** dargestellt, die in [Fig. 2](#) veranschaulicht ist. Die PLL **200** erzeugt ein PLL-Ausgangssignal **227**, das ein Frequenzvielfaches eines Referenzsignals **201** ist, und wobei das Ausgangssignal **227** auf das Referenzsignal **201** phasenverriegelt ist. Die PLL **200** führt eine Eigenkorrektur bezüglich jeglicher Phasen- (und deshalb Frequenz-) Schwankungen zwischen dem Referenzsignal **201** und dem Ausgangssignal **227** über einen Rückkopplungsmechanismus durch, der wie folgt beschrieben wird. Der Aufbau und der Betrieb der PLL **200** werden wie folgt beschrieben.

[0036] Der Aufbau der PLL **200** umfasst: einen Phasendetektor **202**, eine Ladungspumpe **204**, einen Frequenzteiler **206**, ein Schleifenfilter **208**, eine Grobabstimmungsschaltung **214**, eine VCO-Anordnung **222** und einen LC-Schwingkreis **228**. Das Schleifenfilter **208** umfasst einen variablen Widerstand **210** und einen variablen Kondensator **212**, die von einem FC-Signal **207** gesteuert werden. Die Grobabstimmungsschaltung **214** umfasst einen Komparator **216** und ein Schieberegister **218**. Die VCO-Anordnung **222** umfasst Mehrfachkomponenten-VCOs **226a–c**, wobei jeder VCO **226** vorzugsweise ein bestimmtes Frequenzband abdeckt. Ein VCO **226** wird in die PLL **200** eingeschaltet, indem ein entsprechender Schalter **224** geschlossen wird. Die Schalter **224a–c** werden von entsprechenden Steuersignalen **223a–c** gesteuert, die einen VCO-Steuerbus **220** bilden. Der LC-Schwingkreis **228** ist parallel zu der VCO-Anordnung **222** geschaltet und umfasst: mehrere Festkondensatoren **232a–n**, die entsprechende Schalter **230a–n** aufweisen, einen Varaktor **234** und einen Induktor **236**. Einer oder mehrere der Festkondensatoren **232** wird/werden parallel zu dem ausgewählten VCO **226** hineingeschaltet, indem der/die entsprechende(n) Schalter **230** geschlossen wird/werden. Die Schalter **230** werden von entsprechenden Steuersignalen **239a–n** gesteuert, die einen Kondensatorsteuerbus **238** bilden.

[0037] Jeder VCO **226** ist ein resonanzabgestimmter Oszillator, dessen Schwingungsfrequenz von der Resonanzfrequenz des parallelen LC-Kreises **228** gesteuert wird. Die Resonanzfrequenz des LC-Kreises **228** wird durch die relative totale Kapazität und Induktivität gemäß der folgenden Gleichung bestimmt:

$$f_0 = (1/2\pi) \cdot 1/\sqrt{LC} \quad \text{Gleichung 1}$$

[0038] Wie unten noch weiter erörtert werden wird, wird die grobe Frequenzabstimmung (z.B. Bereichsauswahl) des ausgewählten VCO **226** dadurch

durchgeführt, dass einer oder mehrere der Festkondensatoren **232** in den LC-Kreis **228** eingeschaltet wird/werden. Dadurch wird die Resonanzfrequenz des LC-Kreises **228** und somit die Schwingungsfrequenz des ausgewählten VCO **226** geändert. Eine feine Frequenzabstimmung wird durchgeführt, indem die Steuerspannung in dem Varaktor **234** geändert wird, der eine variable Kapazität aufweist, die sich mit der angelegten Spannung ändert. Die VCO-Verstärkung wird als die Änderung der VCO-Ausgangsfrequenz pro Einheit der Änderung in der Spannung quer durch den Varaktor **234** definiert.

[0039] Die PLL **200** arbeitet auf der Basis von bekannten PLL-Rückkopplungsprinzipien. Ein VCO **226** wird auf der Basis der gewünschten Betriebsfrequenz für die PLL **200** ausgewählt und wird in die PLL **200** eingeschaltet, indem der zugehörige Schalter **224** unter Verwendung des geeigneten Steuersignals **223** geschlossen wird. Das PLL-Ausgangssignal **227** von dem ausgewählten VCO **226** wird zu einem Phasendetektor **202** durch den Frequenzteiler **206** rückgekoppelt. Der Frequenzteiler **206** normalisiert die Frequenz des Ausgangssignals **227** für den Vergleich in dem Phasendetektor **202** auf die des Referenzsignals **201**. Der Phasendetektor **202** vergleicht die Phase des Ausgangssignals **227** mit dem Referenzsignal **201** und erzeugt ein Gleichstrom-Fehlersignal **203**, das die Phasendifferenz zwischen den beiden Signalen darstellt. Die Ladungspumpe **204** empfängt das Fehlersignal **203** und einen Referenzpumpenstrom **205**. Die Ladungspumpe **204** liefert (oder zieht) einen Prozentsatz des Pumpenstroms **205** auf der Basis des Fehlersignals **203**, wie von den Fachleuten auf diesem Gebiet verstanden werden wird. Der Ausgangsstrom der Ladungspumpe **204** steuert das Schleifenfilter **208**, um eine Abstimmspannung **209** zu erzeugen. Ein Teil der Abstimmspannung **209** wird quer durch den variablen Kondensator **212** herabgesetzt, um eine Abstimmspannung **211** zu erzeugen. Wie unten noch weiter erörtert werden wird, steuern die Abstimmspannungen **209** und **211** die Schwingungsfrequenz des ausgewählten VCO **226**.

[0040] Die Abstimmspannungen **209** und **211** stellen die Resonanzfrequenz des LC-Kreises **228** (und deshalb die Schwingungsfrequenz des ausgewählten VCO **226**) jeweils über einen Grobabstimmungsmechanismus und einen Feinabstimmungsmechanismus ein. Genauer gesagt addiert (oder subtrahiert) die Grobabstimmungsschaltung **214** einen oder mehrere der Festkondensatoren **232a-n** zu dem (bzw. von dem) LC-Kreis **228** auf der Basis der Abstimmspannung **211**. In ähnlicher Weise stellt die Abstimmspannung **209** direkt die Spannung (und deshalb die Kapazität) des Varaktors **234** ein, um eine Feinfrequenzabstimmung zu implementieren. Beide Abstimmungsmechanismen stellen die Schwingungsfrequenz des VCO **226** dadurch ein, dass sie die Kapazität des LC-Kreises **228** ändern, was die

Resonanzfrequenz des LC-Kreises **228** verschiebt. Der Abstimmbereich des Varaktors **234** ist geringfügig größer als ein Festkondensator **232** und stellt deshalb eine gewisse Abstimmungsüberlappung zwischen den Festkondensatoren **232** bereit. Die Grobabstimmungsschaltung **214** wird unten noch weiter beschrieben werden.

[0041] Die Grobabstimmungsschaltung **214** umfasst einen Fensterkomparator **216** und ein bidirektionales Schieberegister **218**. Der Fensterkomparator **216** empfängt die Abstimmspannung **211** und empfängt auch die Eingangsreferenzspannungen v_1 und v_2 . Der Fensterkomparator **216** stellt fest, ob die Spannung **211** innerhalb eines Spannungs-"Fensters" liegt, das zwischen den Eingangsreferenzspannungen v_1 und v_2 definiert ist, und erzeugt ein Steuersignal **217**, das das bidirektionale Schieberegister **218** auf der Basis dieser Feststellung steuert. Das Schieberegister **218** speichert eine Reihe von Bits, die die Kondensatorschalter **230** über den Steuerbus **238** steuern, um die entsprechenden Kondensatoren **232** zu dem LC-Kreis **228** zu addieren (oder diese von diesem zu subtrahieren). Ein "1"-Bit in der Steuerleitung **239** bewirkt, dass sich der entsprechende Schalter **230** schließt, und addiert dadurch den entsprechenden Kondensator **232** zu dem LC-Kreis **228**. Ein "0"-Bit in der Steuerleitung **239** bewirkt, dass sich der Schalter **230** öffnet, und subtrahiert dadurch den entsprechenden Kondensator **232** von dem LC-Kreis **228**.

[0042] Die Grobabstimmungsschaltung **214** arbeitet dahingehend, eine Selbstkorrektur grober Schwankungen in der Schwingungsfrequenz des ausgewählten VCO **226** durchzuführen, indem sie auf der Basis der Abstimmspannung **211** Kondensatoren **232** addiert oder subtrahiert. Wenn der Komparator **216** feststellt, dass die Spannung **211** unter v_1 liegt, dann bewirkt der Komparator **216**, dass eine Reihe von "1"en durch das Schieberegister **218** verschoben wird, was inkrementell Kondensatoren **232** zu dem LC-Kreis **228** addiert, bis die Abstimmspannung **211** innerhalb des v_1 -bis- v_2 -Spannungsfensters liegt. Wenn der Komparator **216** feststellt, dass die Spannung **211** oberhalb der Spannung v_2 liegt, dann veranlasst der Komparator **216**, dass eine Reihe von "0"en durch das Schieberegister **218** verschoben wird, was inkrementell Kondensatoren **232** von dem LC-Kreis **228** subtrahiert, bis die Abstimmspannung **211** innerhalb des v_1 -bis- v_2 -Spannungsfensters liegt. Wie oben beschrieben worden ist, ändert sich die Frequenz des ausgewählten Oszillators **226** immer dann, wenn eine Kapazität zu dem LG-Kreis **228** addiert wird oder von diesem subtrahiert wird. Wenn der Komparator **216** feststellt, dass die Spannung **211** innerhalb des Spannungsfensters liegt, das von v_1 und v_2 definiert wird, dann werden keine Maßnahmen ergriffen, und die feste Kapazität in dem LC-Kreis **228** bleibt unverändert. Mit anderen Worten, die Ab-

stimmspannung **211** liegt innerhalb eines akzeptablen Spannungsbereichs (oder "Fensters"), und dementsprechend liegt die Frequenz des Ausgangssignals **227** innerhalb eines akzeptablen Frequenzbereichs. Deshalb wird die Anzahl der Festkondensatoren **232**, die in den LG-Kreis **228** eingeschaltet sind, nicht verändert.

3. Beispielhafte VCO-Konfiguration

[0043] **Fig. 3** veranschaulicht einen differentiellen VCO **300** als ein Ausführungsbeispiel des VCO **226** und des LC-Schwingkreises **228**. Der VCO **300** ist nur für beispielhafte Zwecke gedacht und ist nicht zur Beschränkung der Erfindung auf irgendeine Weise gedacht. Andere Oszillatorkonfigurationen können verwendet werden, um die Erfindung zu praktizieren, was den Fachleuten auf den relevanten Fachgebieten auf der Basis der hier gegebenen Erörterungen klar sein wird.

[0044] Der VCO **300** umfasst den aktiven VCO-Abschnitt **226** und den Schwing-LC-Kreis **228**. Der aktive Abschnitt umfasst ein Paar von kreuzgekoppelten Transistoren **302a** und **302b**, die bei der Resonanzfrequenz des LC-Kreises **228** schwingen. Bei dieser kreuzgekoppelten Konfiguration ist der Drain des Transistors **302a** mit dem Gate des Transistors **302b** verbunden. In ähnlicher Weise ist der Drain des Transistors **302b** mit dem Gate des Transistors **302a** verbunden. Der LG-Kreis **228** ist ebenfalls mit den Drains der Transistoren **302** gekoppelt. Bei einer Resonanz bewirkt der LC-Kreis **228** einen positiven Rückkopplungspfad zwischen den kreuzgekoppelten Transistoren **302**, was bewirkt, dass die Transistoren bei der Resonanzfrequenz des LC-Kreises **228** schwingen, wodurch das differentielle Ausgangssignal **227** erzeugt wird.

[0045] Die Schwingungsfrequenz des VCO **300** kann durch zwei Mechanismen abgestimmt werden. Die grobe Frequenzabstimmung (oder Bereichsauswahl) wird durchgeführt, indem die Festkondensatoren **232** unter Verwendung der entsprechenden Schalter **230** addiert oder subtrahiert werden. Die feine Frequenzabstimmung wird von der Abstimmspannung **209** durchgeführt, die die Kapazität variiert, die von den in Reihe geschalteten Varaktordioden **234a** und **234b** erzeugt wird, die an den Drains der Transistoren **302** angeschlossen sind. Die Frequenzänderung des VCO **300** pro Einheit der Änderung in der Varaktor-**234**-Spannung ist als die VCO-Verstärkung definiert. Wie oben erwähnt worden ist, ist der Abstimmungsbereich des Varaktors **234** geringfügig größer als die Kapazität eines Festkondensators **232** und stellt deshalb eine gewisse Abstimmüberlappung zwischen den Festkondensatoren **232** bereit.

[0046] In einem Ausführungsbeispiel sind die Varaktoren **234** PN-Übergangs-Varaktoren, und in einem

alternativen Ausführungsbeispiel sind diese Varaktoren **234** MOSFET-Varaktoren, was von der Bevorzugung des Designers abhängt.

4. PLL-Verstärkungskompensation

[0047] Die PLL-Verstärkung ist als die Frequenzänderung des Ausgangssignals gegenüber der Phasendifferenz zwischen dem Rückkopplungssignal und dem Referenzsignal definiert. Die Vorwärts-PLL-Verstärkung wird wie folgt bestimmt:

$$G(s) = K_{PHI} \cdot (R_{LF} + 1/sC_{LF}) \cdot K_{VCO}/s; \quad \text{Gleichung 2}$$

wobei:

K_{PHI} = Phasendetektorverstärkung (mA/Radiant)
 R_{LF} = Schleifenfilterwiderstand
 C_{LF} = Schleifenfilterkapazität
 K_{VCO} = VCO-Verstärkung (MHZ/Volt)
 s die Frequenz darstellt

[0048] Die Rückkopplungs-PLL-Verstärkung ist $H(s) = 1/N$, wobei N das Rückkopplungsfrequenzteilungsverhältnis ist. Die gesamte Leerlaufverstärkung (open loop gain) ist $G(s)H(s)$, und die gesamte Verstärkung mit Gegenkopplung (closed-loop gain) ist $G(s)/[1+G(s)H(s)]$.

[0049] Wie oben beschrieben worden ist, führt die PLL **200** eine grobe Frequenzabstimmung durch, indem sie einen oder mehrere der Festkondensatoren **232** inkrementell addiert (oder subtrahiert), die parallel mit dem ausgewählten VCO **226** geschaltet sind. Die feine Frequenzabstimmung wird durchgeführt, indem die Spannung in dem Varaktor **234** eingestellt wird, wobei die VCO-Verstärkung als die Frequenzverschiebung pro Einheit der Änderung in der Abstimmspannung **209** definiert ist. Ein Problem bei varaktorabgestimmten VCOs ist, dass die VCO-Verstärkung gegenüber der festen Kapazität **232** variabel ist. **Fig. 4** veranschaulicht diese Charakteristik mit einer graphischen Darstellung der VCO-Verstärkung **402** über der festen Kapazität. Wie gezeigt ist, ist die VCO-Verstärkungskurve **402** für eine große feste Kapazität reduziert und steigt bei einer kleinen festen Kapazität. Die variable VCO-Verstärkung ist unerwünscht, da sie bewirkt, dass sich die PLL-Vorwärtsverstärkung gemäß Gleichung 2 verändert. Bei VCO-Anwendungen mit einem großen minimalen bis maximalen Kapazitätsabstimmungsbereich kann diese VCO-Verstärkungsvariabilität eine Schleifeninstabilität und eine verringerte spektrale Reinheit in dem PLL-Ausgangssignal verursachen. In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel wird die VCO-Verstärkungsvariabilität durch eine Kompensatorverstärkung **404** kompensiert, so dass die Gesamt-PLL-Verstärkung **406** bei Schwankungen in der festen Kapazität (und deshalb der VCO-Frequenz) relativ linear bleibt. Genauer gesagt wird der Ladungspumpen-

strom **205** so kompensiert, dass er der variablen VCO-Verstärkung entgegenwirkt, so dass die Gesamt-PLL-Verstärkung linear ist.

[0050] [Fig. 5](#) veranschaulicht eine PLL **500**, die einen Verstärkungskompensator **502** aufweist, um den Ladungspumpenstrom **205** einzustellen, um so die Gesamt-PLL-Verstärkung der PLL **500** zu linearisieren (und linear zu machen bzw. zu glätten). Der Verstärkungskompensator **502** erzeugt den Pumpenstrom **205** auf der Basis der Steuerinformationen, die von dem VCO-Steuerbus **220** und dem Kondensatorsteuerbus **238** übertragen werden. Wie oben erörtert worden ist, wählt der VCO-Steuerbus **220** den geeigneten VCO **226** auf der Basis des gewünschten Frequenzbereichs für das PLL-Ausgangssignal **227** aus. Der Kondensatorsteuerbus **238** wählt die Festkondensatoren **232**, die parallel zu dem ausgewählten VCO **226** eingeschaltet sind, für eine grobe Frequenzabstimmung des VCO **226** aus. Deshalb kann der Verstärkungskondensator **502** den Referenzpumpenstrom **205** für einen spezifizierten VCO **226** bei einem spezifizierten festen Kapazitäts-**232**-Wert passend machen und dadurch die variable VCO-Verstärkung gegenüber der festen Kapazität kompensieren.

[0051] [Fig. 6](#) veranschaulicht einen Nur-Lese-Speicher-Digital-Analog-Wandler (ROMDAC; read only memory digital-to-analog converter) **600**, der ein beispielhaftes Ausführungsbeispiel des Verstärkungskompensators **502** ist, gemäß Ausführungsbeispielen der Erfindung. Unter Bezugnahme auf [Fig. 6](#) umfasst der ROMDAC **600** eine Nachschlagetabelle **602** und einen Strom-Digital-Analog-Wandler **610**. Die Nachschlagetabelle **602** speichert Pumpenstromwerte **604a–n**, die von dem ausgewählten VCO **226** und einem Festkapazitätsgesamtbeitrag **606** indiziert werden, wobei der Festkapazitätsgesamtbeitrag **606** die parallele Summe der Kondensatoren **232** ist, die in den LC-Kreis **228** eingeschaltet sind. Die Pumpenstromwerte **604** werden so ausgewählt, dass sie die variable VCO-Verstärkung gegenüber der Kapazität kompensieren, wenn ein identifizierter VCO **226** und der Festkapazitätsgesamtbeitrag **606** vorgegeben sind. Vorzugsweise wird die PLL **200** für jeden VCO **226** im voraus charakterisiert, um die Pumpenstromwerte **604** zu bestimmen, die eine lineare Gesamt-PLL-Verstärkung für verschiedene Kapazitätsgesamtbeiträge **606** erzeugen. Die Nachschlagetabelle **602** gibt einen Pumpenstromwert **608** aus, der dem identifizierten VCO **226** und dem Festkapazitätsgesamtbeitrag **606** entspricht. Der DAW **610** wandelt den Pumpenstromwert **608** in den tatsächlichen analogen Pumpenstrom **205** um, der die Ladungspumpe **204** steuert. Wenn Kondensatoren **232** zu dem LC-Kreis **228** addiert oder von diesem subtrahiert werden, wählt die Nachschlagetabelle **602** den geeigneten Pumpenstromwert **604** so aus, dass eine lineare Gesamt-PLL-Verstärkung aufrecht erhalten

wird. Deshalb wird der Pumpenstrom **205** für verschiedene Gesamtkapazitäten **606** eingestellt, um der variablen Verstärkung des ausgewählten VCO **226** entgegenzuwirken und um dadurch die Gesamtverstärkung der PLL **500** linear zu machen.

[0052] Ein Vorteil des ROMDAC **600** liegt darin, dass die Pumpenstromwerte **604** total willkürlich und mathematisch ohne Bezug zueinander sein können. Mit anderen Worten, die Pumpenströme **604** können individuell ausgewählt werden, um eine optimale Gesamt-PLL-Verstärkung für einen gegebenen VCO **226** und Kapazitätsgesamtbeitrag **606** zu erzeugen, ohne durch irgendeine mathematische Beziehung beschränkt zu sein. In einem alternativen Ausführungsbeispiel stehen die verschiedenen Pumpenströme **604** mathematisch in einer Beziehung zueinander oder zu dem VCO-Steuersignal **220** oder dem Kondensator-Steuersignal **238**.

[0053] Zusätzlich zu der PLL-Verstärkung ist es wünschenswert, verschiedene anderen PLL-Charakteristiken abzustimmen, wie etwa die Eingangsreferenzfrequenz, die Schleifenbandbreite, den Dämpfungsfaktor, etc. Dies erlaubt es, dass die gleiche PLL in verschiedenen Betriebsumgebungen verwendet werden kann. Zum Beispiel ist es oft wünschenswert, eine PLL-Konfiguration zu haben, die mit einer Anzahl von unterschiedlichen Referenzfrequenzen betrieben werden kann. Wenn die Frequenz des Referenzsignals **201** um einen Faktor von zwei steigt, sollte die PLL-Schleifenverstärkung vorzugsweise so eingestellt werden, dass sie diesen Anstieg kompensiert, so dass die PLL-Schleife stabil und genau bleibt. Die PLL-Schleifenverstärkung kann in geeigneter Weise eingestellt werden, indem die Frequenzteilung des Frequenzteilers **206** um einen Faktor von zwei reduziert wird. Aber dies würde einen Austausch des Frequenzteilers **206** für jede mögliche Referenzfrequenz oder die Benutzung eines programmierbaren Frequenzteilers erfordern. Alternativ dazu könnte der Ladungspumpenstrom um einen Faktor von zwei reduziert werden, um die gleiche Wirkung zu erzielen.

[0054] [Fig. 7](#) veranschaulicht einen ROMDAC **700** als ein anderes Ausführungsbeispiel des Verstärkungskompensators **502** gemäß Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung. Der ROMDAC **700** weist eine erweiterte Nachschlagetabelle **701** auf, die mehrere Mengen **710a–d** von Pumpenstromwerten aufweist, wobei die Mengen **710** zusätzlich zur Kompensation der variablen VCO-Verstärkung verschiedene PLL-Charakteristiken abstimmen. Einige PLL-Charakteristiken umfassen, sind aber nicht beschränkt auf eine PLL-Referenzsignalfrequenz, eine PLL-Schleifenbandbreite, eine PLL-Schleifendämpfung, etc. Zum Beispiel weisen die Mengen **710a** und **710b** jeweils Pumpenstromwerte **702a–n** und **704a–n** auf, die für unterschiedliche Referenzfrequenzen an-

gepasst sind. Die Pumpenstromwerte **702a–n** können einer ersten Referenzsignal-**201**-Frequenz entsprechen, und die Pumpenstromwerte **704a–n** können einer zweiten Referenzsignal-**201**-Frequenz entsprechen. Deshalb kann dann, wenn sich die Frequenz des Referenzsignals **201** ändert, der Pumpenstromwert **608** aus der geeigneten Pumpenstrommenge **710** ausgewählt werden. In einem anderen Beispiel werden die Pumpenstrommengen **710c** und **710d** so angepasst, dass die Schleifenbandbreite für unterschiedliche Schleifendämpfungsfaktoren aufrecht erhalten bleibt. Der Schleifendämpfungsfaktor wird erhöht oder verringert, indem der variable Widerstand **210** in dem Schleifenfilter **208** eingestellt wird, was auch die Schleifenbandbreite bestimmt. Wenn der Dämpfungsfaktor geändert wird, dann kann die Schleifenbandbreite konstant gehalten werden, indem die entsprechende Menge **710c** oder **710d** ausgewählt wird, die den Ladungspumpenstrom **205** so einstellt, dass er der Auswirkung auf die Schleifenbandbreite ausreichend entgegenwirkt.

[0055] Zusammengefasst heißt das, dass durch das Speichern von mehreren Mengen **710** von Ladungspumpenwerten in der Nachschlagetabelle **701** zusätzlich zu der PLL-Verstärkung mehrere PLL-Charakteristiken eingestellt bzw. abgestimmt werden können. Dies erlaubt es, dass die gleiche PLL **500** unter verschiedenen PLL-Betriebsbedingungen verwendet werden kann, ohne dass PLL-Komponenten ausgetauscht werden müssen. Die Anzahl von Pumpenstrommengen **710** kann erweitert werden, um jegliche Anzahl von PLL-Charakteristiken einzustellen, vorausgesetzt, dass ausreichender Speicherplatz in der Nachschlagetabelle **701** vorhanden ist.

[0056] [Fig. 8](#) veranschaulicht einen Verstärkungskompensator **800**, der ein weiteres Ausführungsbeispiel des Verstärkungskompensators **502** in [Fig. 5](#) ist. Der Verstärkungskompensator **800** umfasst: einen Spannungsgenerator **801**, Verstärkungskompensatorzellen **806a–c**, die VCOs **226a–c** entsprechen, und PFETs **808a–c**, die den Verstärkungskompensatorzellen **806a–c** entsprechen. Jede Verstärkungskompensatorzelle **806** erzeugt einen prospektiven Pumpenstrom **807**, der die variable VCO-Verstärkung ihres entsprechenden VCO **226** kompensiert, die durch die Festkondensatoren **232** verursacht wird. Da nur ein VCO **226** zu einem gegebenen Zeitpunkt betriebsbereit ist, wird nur ein prospektiver Pumpenstrom **807** der tatsächliche Pumpenstrom **205** werden, der die Ladungspumpe **204** speist. Die PFETs **808** arbeiten als Schalter, die von den VCO-Steuersignalen **239** gesteuert werden und den geeigneten prospektiven Pumpenstrom **807** so auswählen, dass er zu dem ausgewählten VCO **226** passt. Wenn zum Beispiel der VCO **226a** der ausgewählte VCO **226** ist, dann bewirkt das Steuersignal **239a**, dass der PFET **808a** so leitet, dass der Strom **807a** die Speisung für den Pumpenstrom **205** wird.

Demgemäß schalten die Steuersignale **239b** und **239c** ihre jeweiligen PFETs **808b** und **808c** ab, und deshalb speist nur der Strom **807a** den Pumpenstrom **205**.

[0057] Der Aufbau der Verstärkungskompensatorzelle **806** ist in [Fig. 9](#) gezeigt und umfasst: Schalter **902a–d**, die von den jeweiligen Kondensator-Steuersignalen **239a–d** gesteuert werden, und Einheitsstromquellen **906a–j**, die in Gruppen **904a–d** angeordnet sind. Vorzugsweise erzeugt jede Einheitsstromquelle **906** im Wesentlichen den gleichen Betrag an Einheitsstrom (innerhalb von Transistortoleranzen), wobei der Betrag an Einheitsstrom auf einer Gate-Spannung **805** basiert, die von dem Spannungsgenerator **801** erzeugt wird. Jede Gruppe **904** entspricht einem Kondensator **232** und erzeugt einen Teil des gesamten Pumpenstroms **205**, wenn der jeweilige Kondensator **232** in den LC-Kreis **228** eingeschaltet wird. Die Anzahl an Einheitsstromquellen **906** in jeder Gruppe **904** wird so ausgewählt, dass sie die variable VCO-Verstärkung kompensieren, die auftritt, wenn der entsprechende Kondensator **232** in den LC-Kreis **228** eingeschaltet wird. So entspricht zum Beispiel die Gruppe **904a** dem Kondensator **232a** und weist 4 Einheitsstromquellen **906** auf, um die variable VCO-Verstärkung zu kompensieren, die von dem Kondensator **232a** bewirkt wird. Dagegen weist die Gruppe **904b** nur 2 Einheitsstromquellen **906** auf, um die variable VCO-Verstärkung anzugehen, die von dem Kondensator **232b** verursacht wird, und so weiter. Es sei angemerkt, dass die Anzahl an Stromquellen 4, 2, 3, 1, die in [Fig. 9](#) für die Gruppen **902a–d** gezeigt sind, nur zu Veranschaulichungszwecken vorgesehen ist und nicht als Beschränkung gedacht ist. Des Weiteren ist die Anzahl an Gruppen **904**, nämlich 4, wie gezeigt, nicht beschränkend gedacht. In Ausführungsbeispielen der Erfindung sollte die Anzahl an Gruppen **904** kleiner oder gleich der Anzahl an Festkondensatoren **232** sein.

[0058] Eine Gruppe **904** wird in die Verstärkungskompensatorzelle **806** eingeschaltet, wenn der entsprechende Schalter **902** die Vg **805** mit den Einheitsstromquellen **906** in der Gruppe **904** verbindet. Wenn die Vg **805** einmal mit einer Gruppe verbunden ist, aktiviert sie die Stromquellen **906** und bestimmt den Strom, der von jeder Stromquelle **906** erzeugt wird. Die Schalter **902** werden von den gleichen Kondensator-Steuersignalen **239** gesteuert, die die jeweiligen Kondensatoren **232** in den LC-Kreis **228** einschalten. Deshalb wird dann, wenn ein Kondensator **232** in den LC-Kreis **228** eingeschaltet wird, die entsprechende Gruppe **904** in die Verstärkungskompensatorzelle **806** eingeschaltet und trägt deshalb zu dem prospektiven Pumpenstrom **807** bei. Wenn der Kondensator **232a** zum Beispiel durch das Kondensator-Steuersignal **239a** in den LC-Kreis **228** eingeschaltet wird, dann wird die Gruppe **904a** der Einheitsstromquellen **906** durch das gleiche Steuersig-

nal **239a** in die Verstärkungskompensatorzelle **806** eingeschaltet. Deshalb wird der Strom von der Gruppe **904a** zu dem prospektiven Pumpenstrom **807** beitragen und dadurch die variable VCO-Verstärkung kompensieren, die von dem Kondensator **232a** verursacht wird. Wenn der Kondensator **232b** dann in den LG-Kreis **228** eingeschaltet wird, wird die Gruppe **904b** zu der Verstärkungskompensatorzelle **806** hineingeschaltet, um die variable VCO-Verstärkung zu kompensieren, die von dem Kondensator **232b** verursacht wird. Entsprechend wird der Ladungspumpenstrom **205** gleichzeitig angepasst, um eine lineare Gesamt-PLL aufrecht zu erhalten, während die Kondensatoren **232** inkrementell zu dem LC-Kreis **228** addiert (oder von diesem subtrahiert) werden.

[0059] Jede Einheitsstromquelle **906** ist vorzugsweise ein PFET-Transistor, wie gezeigt ist. Aber andere Transistorvorrichtungen und -konfigurationen können für die Einheitsstromquellen **906** verwendet werden, einschließlich N-FET-Transistoren, was den Fachleuten auf den relevanten Fachgebieten auf der Basis der hier gegebenen Erörterungen klar sein wird. Diese anderen Transistorvorrichtungen und -konfigurationen liegen innerhalb des Schutzbereichs und des Gedankens der vorliegenden Erfindung. Zum Beispiel würde die gleichzeitige Benutzung von NFET- und PFET-Stromquellen es erlauben, dass der Verstärkungskompensator eine Charakteristik einer nichtmonotonen VCO-Verstärkung gegenüber einer festen Kapazität kompensiert.

[0060] Der Spannungsgenerator **801** und die Stromquellen **906** arbeiten als ein "Stromspiegel", wobei die Drain-Ströme der ausgewählten Einheitsstromquellen **906** einen Referenzskalierstrom **812** kopieren oder "spiegeln". Genauer gesagt legt der Stromskalierer **804** den Referenzskalierstrom **812** fest, der als eine Stromsenke für den PFET **802** arbeitet. Der PFET **802** arbeitet als eine Diode, da das Gate und der Drain des PFET **802** durch einen Leiter **813** miteinander kurzgeschlossen sind. Der Drain-Strom **814** des PFET **802** ist im Wesentlichen derselbe wie der Referenzskalierstrom **812**, da im Wesentlichen ein Nullstrom in dem Leiter **813** vorhanden ist. Der diodenangeschlossene PFET **802** erzeugt die Gate-Spannung **805** an seinem Gate-Anschluss so, dass sie mit dem Drain-Strom **814** und deshalb mit dem Referenzskalierstrom **812** übereinstimmt. Wenn der Drain-Strom **814** von dem Referenzskalierstrom **812** aus irgendwelchen Gründen abweicht, dann fließt die Ladung zu/von dem Gate des PFET **802**, um den Strom **814** und den Skalierstrom **812** wieder zurück in Einklang miteinander zu bringen. Die Gate-Spannung **805** wird an das Gate der Stromquellen **906** angelegt, wenn ihre jeweilige Gruppe **904** von den Kondensator-Steuersignalen **239** ausgewählt wird. Die Stromquellen **906** werden den Drain-Strom **814** aufgrund der gemeinsamen Gate-Spannung **805** reproduzieren (oder "spiegeln"),

wenn die Vorrichtungseigenschaften der Stromquellen **906** zu denen des PFET **802** ausreichend ähnlich sind. Dieser Stromspiegeleffekt tritt auf, weil zwei oder mehr FETs, die eine gemeinsame Gate-Source-Spannung und ähnliche Vorrichtungseigenschaften aufweisen, im Wesentlichen den gleichen Drain-Strom erzeugen werden. Wenn eine Gruppe **904** von dem entsprechenden Kondensator-Steuersignal **239** nicht eingeschaltet wird (weil der entsprechende Kondensator **232** nicht in den LC-Kreis **228** eingeschaltet ist), dann werden die Gates der entsprechenden Stromquellen **906** durch den entsprechenden Schalter **902** mit Vcc verbunden. Wenn sie mit Vcc verbunden sind, sind diese nicht ausgewählten Stromquellen **906** abgeschaltet und erzeugen keinen Einheitsstrom.

[0061] Vorzugsweise werden der PFET **802** und die Stromquellen **906** auf der gleichen Halbleiterscheibe unter Verwendung des gleichen Prozesses hergestellt, was die Kommunalität der Vorrichtungseigenschaften verbessert. Aber wenn die Größe der Einheitsstromquellen **906** relativ zu der Größe des PFET **802** skaliert ist, dann werden die Einheitsstromquellen **906** einen Strom erzeugen, der proportional zu dem Skalierungsfaktor ist, wie den Fachleuten auf den relevanten Fachgebieten klar sein wird. Dies erhöht die Flexibilität der Verstärkungskompensatorzelle **806**, da die Stromquellen **906** relativ zu dem PFET **802** sowie auch relativ zueinander skaliert werden können.

[0062] Der Stromskalierer **804** setzt den Referenzskalierstrom **812** auf der Basis eines PLL-Steuersignals **810** fest, wobei das PLL-Steuersignal **810** verschiedene PLL-Charakteristiken wie etwa die Frequenz des Referenzsignals **201**, die PLL-Schleifenbandbreite und die PLL-Schleifendämpfung, etc. diktiert. [Fig. 10](#) veranschaulicht ein Ausführungsbeispiel des Stromskalierers **804** und umfasst gewichtete Stromquellen **1002a-n**. Die gewichteten Stromquellen **1002a-n** ziehen Ströme **1004a-n** auf der Basis der PLL-Variablen in dem PLL-Steuersignal **810**. So kann die Stromquelle **1002a** zum Beispiel so angepasst werden, dass sie einen Strom **1004a** erzeugt, der proportional zu der Frequenz des Referenzsignals **201** ist, und die Stromquelle **1002b** kann so angepasst werden, dass sie einen Strom **1004b** erzeugt, der proportional zu der gewünschten Schleifenbandbreite ist, usw.. Die Ströme **1004a-n** werden miteinander summiert, um den Referenzskalierstrom **812** zu bilden, der den diodenangeschlossenen PFET **802** speist. Deshalb werden Änderungen in den PLL-Variablen in dem Referenzskalierstrom **812** und aufgrund des hier beschriebenen Stromspiegeleffekts schließlich in den Drain-Strömen der Einheitsstromquellen **907** reflektiert. Genauer gesagt ist der PFET-Drain-Strom **814** im Wesentlichen derselbe wie der Referenzskalierstrom **812** und wird zu den Drain-Strömen der Einheitsstromquellen **906** kopiert.

[0063] Ein Vorteil der Verwendung des Stromskalierers **800** liegt darin, dass alle Stromquellen **906** (die sich in einer ausgewählten Gruppe **904** befinden) gleichzeitig an die sich ändernden PLL-Charakteristiken angepasst werden, zusätzlich zu der Kompensierung der variablen VCO-Verstärkung. Deshalb kann der prospektive Pumpenstrom **807** (und schließlich der endgültige Pumpenstrom **205**) effizient so abgestimmt werden, dass er sich ändernde PLL-Charakteristiken kompensiert. Dies erlaubt es, dass die gleiche PLL unter verschiedenen Betriebsbedingungen verwendet werden kann. Außerdem reduziert der Stromskalierer **804** die Größe des gesamten Verstärkungskompensators, da nicht mehrere Sätze von Stromquellen **906** benötigt werden, um sich ändernde PLL-Charakteristiken anzugehen. Im Gegensatz dazu benötigt der ROMDAC **700** mehrere Mengen **710** von Stromwerten, um die sich ändernden PLL-Charakteristiken anzugehen, was die Größe des ROMDAC **700** vergrößert.

[0064] Die nachfolgenden Beispiele veranschaulichen die Flexibilität der PLL **500**, wenn der Stromskalierer **804** verwendet wird, um (neben der VCO-Verstärkung) eine Anpassung an sich ändernde PLL-Charakteristiken vorzunehmen. In einem ersten Beispiel steigt die Frequenz des Referenzsignals **201** um einen Faktor von zwei, aber das Frequenzteiler-**206**-Verhältnis soll konstant bleiben. Der gleiche Frequenzteiler **206** kann in der PLL **500** verwendet werden, wenn der Ladungspumpenstrom **205** um etwa einen Faktor von zwei reduziert wird. Dies wird erreicht, indem der Referenzskalierstrom **812** reduziert wird, der von dem Stromskalierer **804** erzeugt wird, was eine entsprechende Reduzierung bei der Gate-Spannung **805** bewirkt. Durch den Stromspiegeleffekt wird der Strom, der von den ausgewählten Stromquellen **906** erzeugt wird, proportional um einen Faktor von zwei reduziert werden. Deshalb wird der prospektive Strom **807** (und die Pumpe **205**) ebenfalls um einen Faktor von zwei reduziert, wie dies gewünscht ist, und die gleiche PLL **500** kann für die neue Referenzfrequenz erneut verwendet werden.

[0065] In einem zweiten Beispiel soll der PLL-Dämpfungsfaktor ζ erhöht werden, aber die PLL-Bandbreite soll konstant gehalten werden. Der PLL-Dämpfungsfaktor ζ wird erhöht, indem der Widerstand des variablen Widerstands **210** in dem Schleifenfilter **208** erhöht wird. Aber dies ändert auch die Schleifenbandbreite, was den Fachleuten auf dem Fachgebiet klar sein wird. Zur Kompensierung stellt der Stromskalierer **804** den Referenzskalierstrom **812** und somit die Einheitsstromquellen **906** so ein, dass sie einen Referenzpumpenstrom **205** erzeugen, der die Kompensation für die Schleifenbandbreite durchführt.

[0066] Zusammengefasst und auf der Basis der hier

angegebenen Beispiele ist der Verstärkungskompensator **800** in der Lage, eine variable VCO-Verstärkung zu kompensieren und gleichzeitig andere PLL-Charakteristiken abzustimmen, indem die hier beschriebene Stromspiegelkonfiguration verwendet wird. Diese anderen PLL-Charakteristiken umfassen, sind aber nicht beschränkt auf Änderungen der Referenzfrequenz, des Dämpfungsfaktors und der Bandbreite.

[0067] Das Ablaufdiagramm **1100** beschreibt weiter den Betrieb des Verstärkungskompensators **800** und der VCO-Verstärkungskompensation gemäß Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung. Die Reihenfolge der Schritte in dem Ablaufdiagramm **1100** ist nicht beschränkend, da alle oder einige der Schritte gleichzeitig oder in einer anderen Reihenfolge durchgeführt werden können, wie den Fachleuten auf dem Fachgebiet klar sein wird.

[0068] Im Schritt **1102** wird ein VCO **226** aus den VCOs **226a–c** auf der Basis der gewünschten Frequenz des Ausgangssignals **227** ausgewählt. Die Auswahl wird durchgeführt, indem der entsprechende Schalter **230** unter Verwendung der Steuersignale **239** geschlossen wird, um den gewünschten VCO **226** hineinzuschalten.

[0069] Im Schritt **1104** wird das VCO-Ausgangssignal **227** zu dem Phasendetektor **202** durch einen Frequenzteiler **206** rückgekoppelt. Der Frequenzteiler **206** normalisiert die Frequenz des Ausgangssignals **227** für einen Vergleich in dem Phasendetektor **202** auf die des Referenzsignals **201**.

[0070] Im Schritt **1106** vergleicht der Phasendetektor **202** die Phase des Ausgangssignals **227** mit dem Referenzsignal **201** und erzeugt ein Gleichstrom-Fehlersignal **203**, das die Phasendifferenz zwischen den beiden Signalen darstellt.

[0071] Im Schritt **1108** liefert oder zieht die Ladungspumpe **204** einen Prozentsatz eines Referenzpumpenstroms **205** auf der Basis des Fehlersignals **203**.

[0072] Im Schritt **1110** steuert der Ausgangsstrom von der Ladungspumpe **204** das Schleifenfilter **208** an, um eine Abstimmspannung **209** zu erzeugen.

[0073] Im Schritt **1112** werden ein oder mehrere Festkondensatoren **232** auf der Basis der Abstimmspannung **209** in den LC-Schwingkreis **228** eingeschaltet (oder aus diesem ausgeschaltet), um eine grobe Frequenzabstimmung des ausgewählten VCO **226** durchzuführen. Die Festkondensatoren **232** führen eine grobe Frequenzabstimmung durch, indem sie die Resonanzfrequenz des LC-Kreises **228** und deshalb des ausgewählten VCO **226** verschieben. Die Festkondensatoren **232** werden in den LC-Kreis **228** eingeschaltet (oder aus diesem ausgeschaltet),

indem die entsprechenden Schalter **230** unter Verwendung der Steuersignale **239** geschaltet werden.

[0074] Im Schritt **1114** stellt der Verstärkungskompensator **800** den Ladungspumpenreferenzstrom **205** so ein, dass eine variable VCO-Verstärkung kompensiert wird, die durch das Hinzufügen oder Subtrahieren der Festkondensatoren **232** erzeugt wird. Der Referenzstrom **205** wird auf der Basis der VCO-Steuersignale **239** und auch der Kondensator-Steuersignale **239** eingestellt. In Ausführungsbeispielen wird der Referenzstrom **205** gleichzeitig mit dem Schalten der Festkondensatoren **232** durch die Kondensator-Steuersignale **239** eingestellt.

[0075] Im Schritt **1116** führt die Abstimmspannung **209** eine Feinabstimmung der Frequenz des ausgewählten VCO **226** durch, indem die Spannung quer durch den Varaktor **234** geändert wird. Die VCO-Verstärkung gegenüber der festen Kapazität wird im Wesentlichen durch den Verstärkungskompensator **800** im Schritt **1114** linearisiert, wodurch die PLL-Verstärkung linear gemacht bzw. geglättet wird und die spektrale Reinheit der PLL verbessert wird.

[0076] Das Ablaufdiagramm **1200** beschreibt den Schritt **1114** weiter, bei dem der Verstärkungskompensator **800** den Ladungspumpenstrom einstellt, um eine variable VCO-Verstärkung zu kompensieren. Die Reihenfolge der Schritte in dem Ablaufdiagramm **1200** ist nicht beschränkend, da alle oder einige der Schritte gleichzeitig oder in einer anderen Reihenfolge durchgeführt werden können, was den Fachleuten auf diesem Gebiet klar sein wird.

[0077] Im Schritt **1202** empfängt der Verstärkungskompensator **800** die VCO-Steuersignale **239** und die Kondensator-Steuersignale **239**. Die VCO-Steuersignale **239** bestimmen, welcher VCO **226** in die PLL **500** eingeschaltet wird. Die Kondensator-Steuersignale **239** bestimmen, welche Festkondensatoren **232** in den LC-Kreis **228** eingeschaltet werden.

[0078] Im Schritt **1204** wird eine Verstärkungskompensatorzelle **806** so ausgewählt, dass sie dem VCO **226** entspricht, der in die PLL **500** eingeschaltet wird, wie von den VCO-Steuersignalen **239** angegeben wird. Genauer gesagt schalten die Steuersignale **239** den entsprechenden PFET **808** für die Verstärkungskompensatorzelle **806** ein, die dem ausgewählten VCO **226** entspricht.

[0079] Im Schritt **1206** erzeugt der Stromskalierer **804** einen Referenzskalierstrom **812**, der auf einem PLL-Steuersignal **810** basiert, wobei das PLL-Steuersignal **810** bestimmte PLL-Charakteristiken definiert, die die Referenzfrequenz, die Schleifenbandbreite und den Dämpfungsfaktor umfassen.

[0080] Im Schritt **1208** aktivieren die Schalter **902**

eine oder mehrere Gruppen **904** von Einheitsstromquellen **906** in Übereinstimmung mit den Kondensator-Steuersignalen **239**. Die Gruppen **904**, die aktiviert werden, entsprechen den Kondensatoren **232**, die in den LC-Kreis **228** eingeschaltet werden, wie von den Kondensator-Steuersignalen **239** angegeben wird. Die restlichen (nicht ausgewählten) Stromquellen **906** sind abgeschaltet.

[0081] Im Schritt **1210** replizieren (oder kopieren) die aktivierten Gruppen **904** den Referenzskalierstrom **812** einmal oder mehrere Male, wobei die Anzahl von Malen, die der Referenzskalierstrom **812** repliziert wird, von den Kondensatoren **232** abhängt, die in den LC-Kreis **228** eingeschaltet werden. Genauer gesagt replizieren die aktivierten Gruppen **904** den Referenzskalierstrom genügend Male, um die variable VCO-Verstärkung, die von den entsprechenden Kondensatoren **232** bewirkt wird, in einem ausreichenden Maße zu kompensieren.

[0082] Im Schritt **1212** werden die Ströme von den aktivierten Stromquellen **906** zusammen addiert, um den Ladungspumpenreferenzstrom **205** zu erzeugen.

[0083] Im Schritt **1214** stellt der Stromskalierer **804** den Referenzskalierstrom **812** so ein, dass sich ändernde PLL-Charakteristiken wie etwa die Referenzfrequenz, die Schleifenbandbreite und der Dämpfungsfaktor angegangen werden. Durch das Einstellen des Referenzskalierstroms **812** werden alle der replizierten Ströme im Schritt **1210** gleichzeitig so eingestellt, dass die sich ändernden PLL-Charakteristiken angegangen werden.

5. Andere Anwendungen

[0084] Die Verstärkungskompensationserfindung, die hier beschrieben ist, ist unter Bezugnahme auf eine Abstimmvorrichtungsanwendung beschrieben worden. Aber die Verstärkungskompensationserfindung ist nicht auf Abstimmvorrichtungen beschränkt, und sie ist auf andere Nicht-Abstimmungsvorrichtungsanwendungen anwendbar, die von der linearen PLL-Verstärkung profitieren können. Außerdem ist die Verstärkungskompensationserfindung auf andere Nicht-PLL-Schaltungen anwendbar, die von der Kompensation einer variablen VCO-Verstärkung profitieren können. Die Anwendungen der Verstärkungskompensationserfindung auf diese Nicht-PLL-Schaltungen wird den Fachleuten auf den relevanten Fachgebieten auf der Basis der hier gegebenen Erörterungen klar sein und liegen innerhalb des Schutzbereichs und des Gedankens der vorliegenden Erfindung.

Patentansprüche

1. Verstärkungskompensatorschaltung (**502**), die

einen Referenzpumpenstrom (**205**) für eine Ladungspumpe (**204**) in einer Phasenregelschleife (PLL) (**500**) bestimmt, mit:

einer Vielzahl von Einheitsstromquellen (**906a-j**), die in wenigstens einer Gruppe (**904a-d**) angeordnet sind, wobei die Gruppe (**904a-d**) auf ein Kondensator-Steuersignal (**239a-d**) anspricht und einen Teil des Referenzpumpenstroms (**205**) erzeugt, wenn die Gruppe (**904a-d**) aktiviert ist, wobei das Kondensator-Steuersignal (**239a-d**) auch einen entsprechenden Festkondensator (**232a-n**) steuert, der in einer VCO-Tuning-Schaltung zum Abstimmen einer Frequenz eines VCO enthalten ist; und einer Einrichtung zur Skalierung (**804**) der Einheitsstromquellen (**906a-j**) im Ansprechen auf ein Phasenregelschleifen-Steuersignal (**810**).

2. Verstärkungskompensatorschaltung (**502**) nach Anspruch 1, wobei eine Anzahl der Einheitsstromquellen (**906a-j**) in der Gruppe (**904a-d**) einer Kapazität des entsprechenden Festkondensators (**232a-n**) entspricht.

3. Verstärkungskompensatorschaltung (**502**) nach Anspruch, wobei eine Anzahl der Einheitsstromquellen (**906a-j**) in der Gruppe (**904a-d**) so bestimmt wird, dass sie eine variable VCO-Verstärkung kompensiert, die durch den Festkondensator (**232a-n**) verursacht wird.

4. Verstärkungskompensatorschaltung (**502**) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei der Festkondensator (**232a-n**) eine Resonanzfrequenz eines Schwingkreises bestimmt.

5. Verstärkungskompensatorschaltung (**502**) nach Anspruch 4, wobei die Resonanzfrequenz eine Schwingungsfrequenz eines VCO bestimmt.

6. Verstärkungskompensatorschaltung (**502**) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei das Kondensator-Steuersignal (**239a-d**) den Festkondensator (**232a-n**) einschaltet und die Gruppe (**904a-d**) der Einheitsstromquellen (**906a-j**) aktiviert.

7. Verstärkungskompensatorschaltung (**502**) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei die Einheitsstromquellen (**906a-j**) einen Referenzskalierstrom (**812**) replizieren, wobei die Anzahl, wie viele Male der Referenzskalierstrom (**812**) repliziert wird, auf einer gesamten festen Kapazität basiert, die in einen Schwingkreis eingeschaltet wird.

8. Verstärkungskompensatorschaltung (**502**) nach Anspruch 7, wobei die Einrichtung zur Skalierung (**804**) den Referenzskalierstrom (**812**) auf der Basis des PLL-Steuersignals (**810**) einstellt.

9. Verstärkungskompensatorschaltung (**502**) nach Anspruch 8, wobei die Einrichtung zur Skalierung

eine oder mehrere gewichtete Stromquellen umfasst, die auf das PLL-Steuersignal (**810**) ansprechen.

10. Verstärkungskompensatorschaltung (**502**) nach Anspruch 9, wobei das PLL-Steuersignal (**810**) wenigstens eines aus der Referenzfrequenz, der Bandbreite und dem Dämpfungsfaktor des PLL (**500**) angibt.

11. Verstärkungskompensatorschaltung (**502**) nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei die Einrichtung zur Skalierung (**804**) und die Einheitsstromquellen (**906a-j**) einen Stromspiegel bilden.

12. Verstärkungskompensatorschaltung (**502**) nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei jede Einheitsstromquelle (**906a-j**) ein Feldeffekttransistor (FET) ist, der von der Einrichtung zur Skalierung (**804**) gesteuert wird, wenn die Einheitsstromquellen (**906a-j**) aktiviert sind.

13. Verstärkungskompensatorschaltung (**502**) nach Anspruch 12, wobei die Einrichtung zur Skalierung (**804**) eine Einrichtung zur Erzeugung einer Gate-Spannung umfasst, die an ein Gate der FETs angelegt wird, wenn die Gruppe (**904a-d**) aktiviert ist.

14. Verstärkungskompensatorschaltung (**502**) nach Anspruch 12, wobei die Einrichtung zur Skalierung (**804**) eine Einrichtung zur Erzeugung einer Gate-Spannung auf der Basis des PLL-Steuersignals (**810**) umfasst, und wobei die Verstärkungskompensatorschaltung (**502**) des Weiteren umfasst: einen Schalter, der mit der Gruppe (**904a-d**) der Einheitsstromquellen (**906a-j**) verbunden ist, wobei der Schalter die Gate-Spannung an die Gruppe (**904a-d**) der Einheitsstromquellen (**906a-j**) anlegt, wenn der entsprechende Festkondensator (**232a-n**) in einen Schwingkreis eingeschaltet wird.

15. Verfahren zur Kompensation der Verstärkung einer Phasenregelschleife (PLL) (**500**), das die folgenden Schritte umfasst:

- (1) Erzeugen eines Referenzskalierstroms (**812**);
- (2) Schalten eines Festkondensators (**232a-n**) in eine VCO-Tuning-Schaltung, die Teil eines VCO ist, um eine Frequenz des VCO abzustimmen;
- (3) Replizieren des Referenzskalierstroms (**812**) eine Anzahl von Malen, wenn der Festkondensator (**232a-n**) in die VCO-Tuning-Schaltung eingeschaltet wird, wobei die Anzahl, wie viele Male der Referenzskalierstrom (**812**) repliziert wird, auf dem Festkondensator (**232a-n**) basiert;
- (4) Beisteuern der replizierten Ströme zu einem Referenzladungspumpenstrom (**205**) für die PLL (**500**); und
- (5) Einstellen des Referenzskalierstroms (**812**) auf der Basis eines PLL-Steuersignals (**810**), das Charakteristiken der PLL (**500**) angibt.

16. Verfahren nach Anspruch 15, wobei der Schritt (5) den Schritt des Einstellens einer oder mehrerer gewichteter Stromquellen, die den Referenzskalierstrom (812) erzeugen, auf der Basis des PLL-Steuersignals (810) umfasst.

17. Verfahren nach Anspruch 15 oder Anspruch 16, wobei die PLL-Charakteristiken wenigstens eines aus der Referenzfrequenz, der PLL-Bandbreite und dem PLL-Dämpfungsfaktor umfassen.

Es folgen 13 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

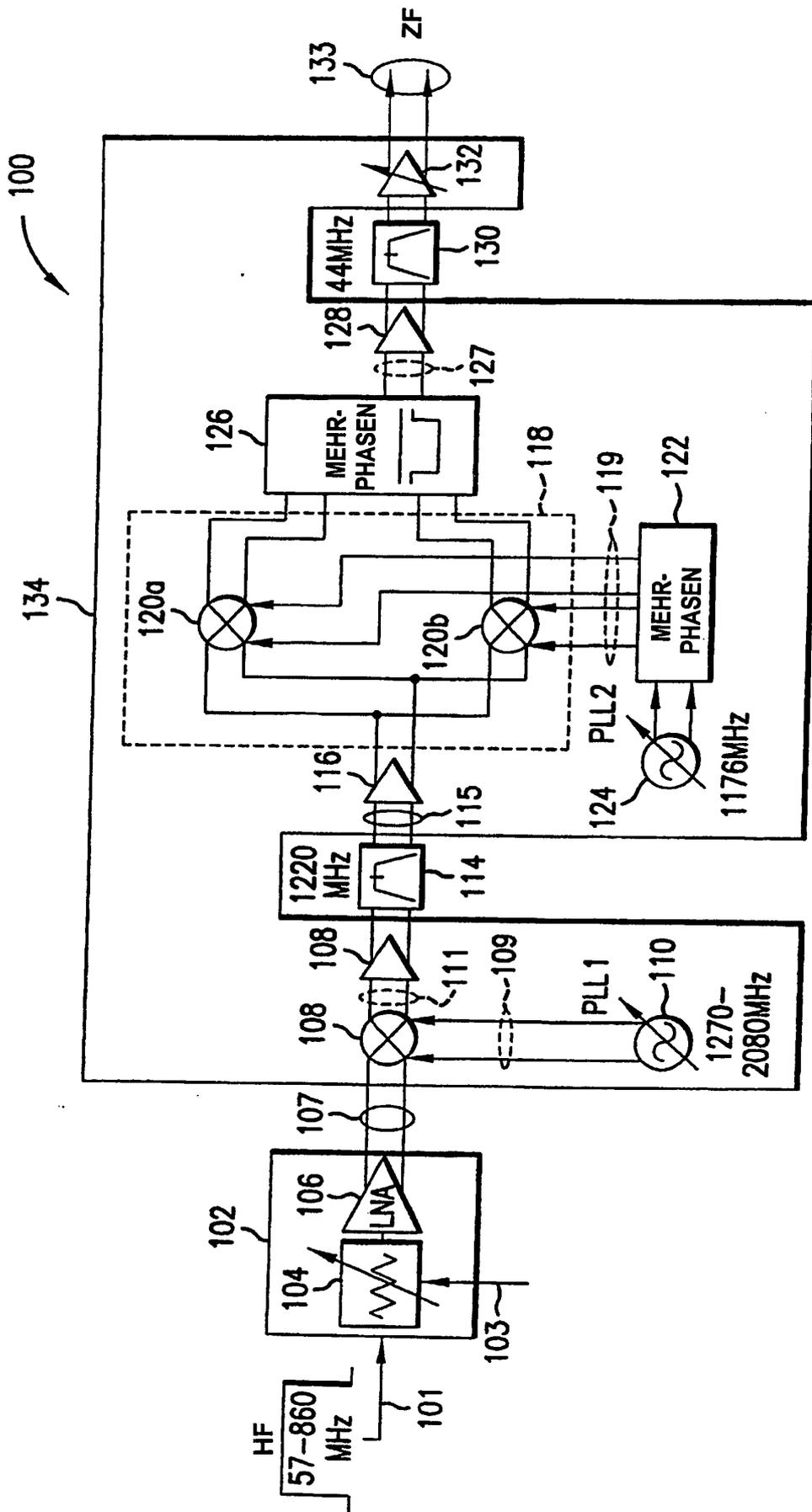


FIG. 1A

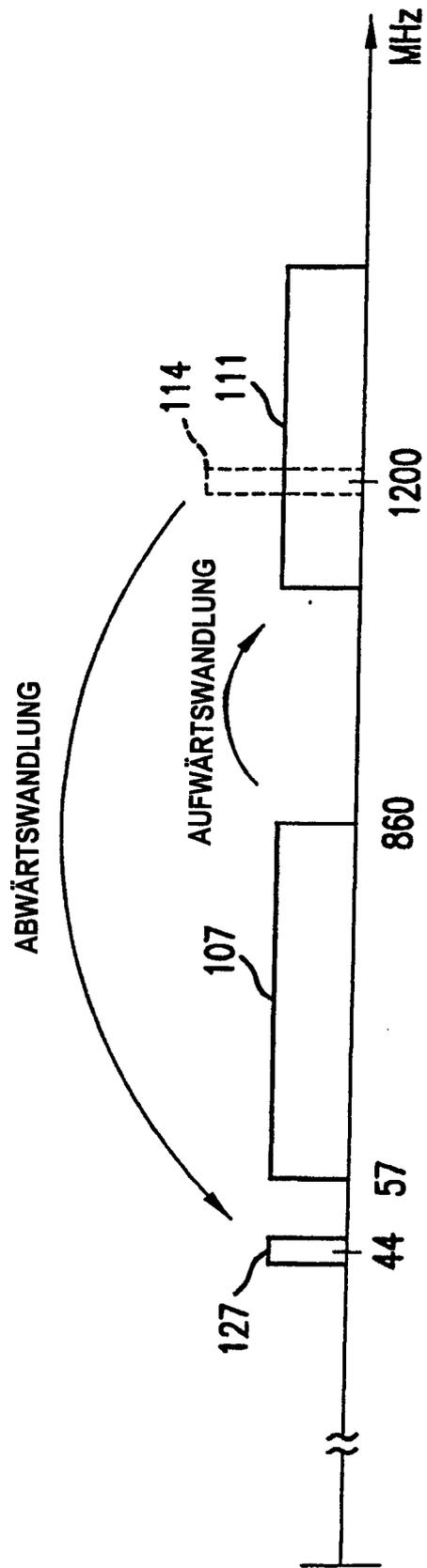


FIG. 1B

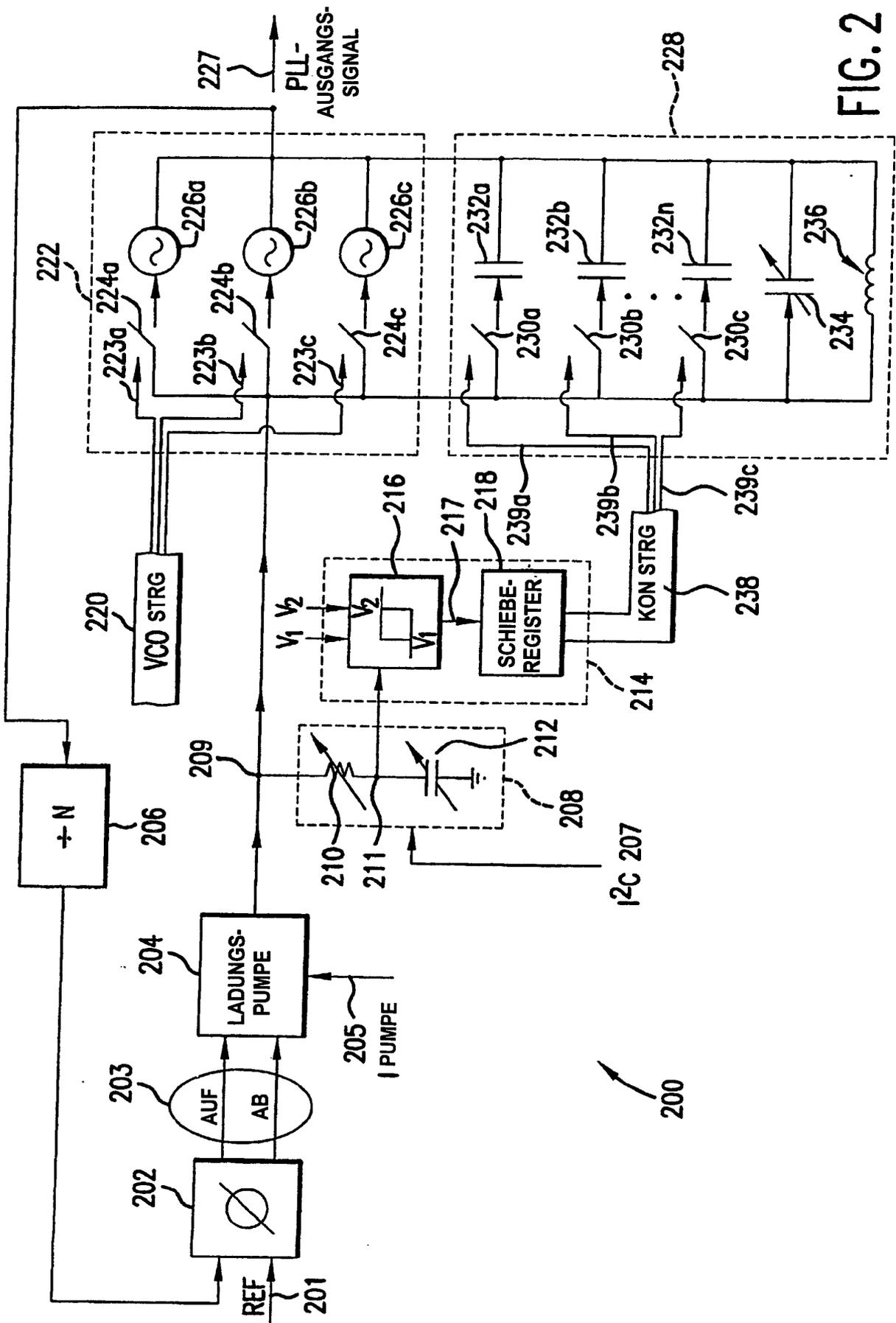


FIG. 2

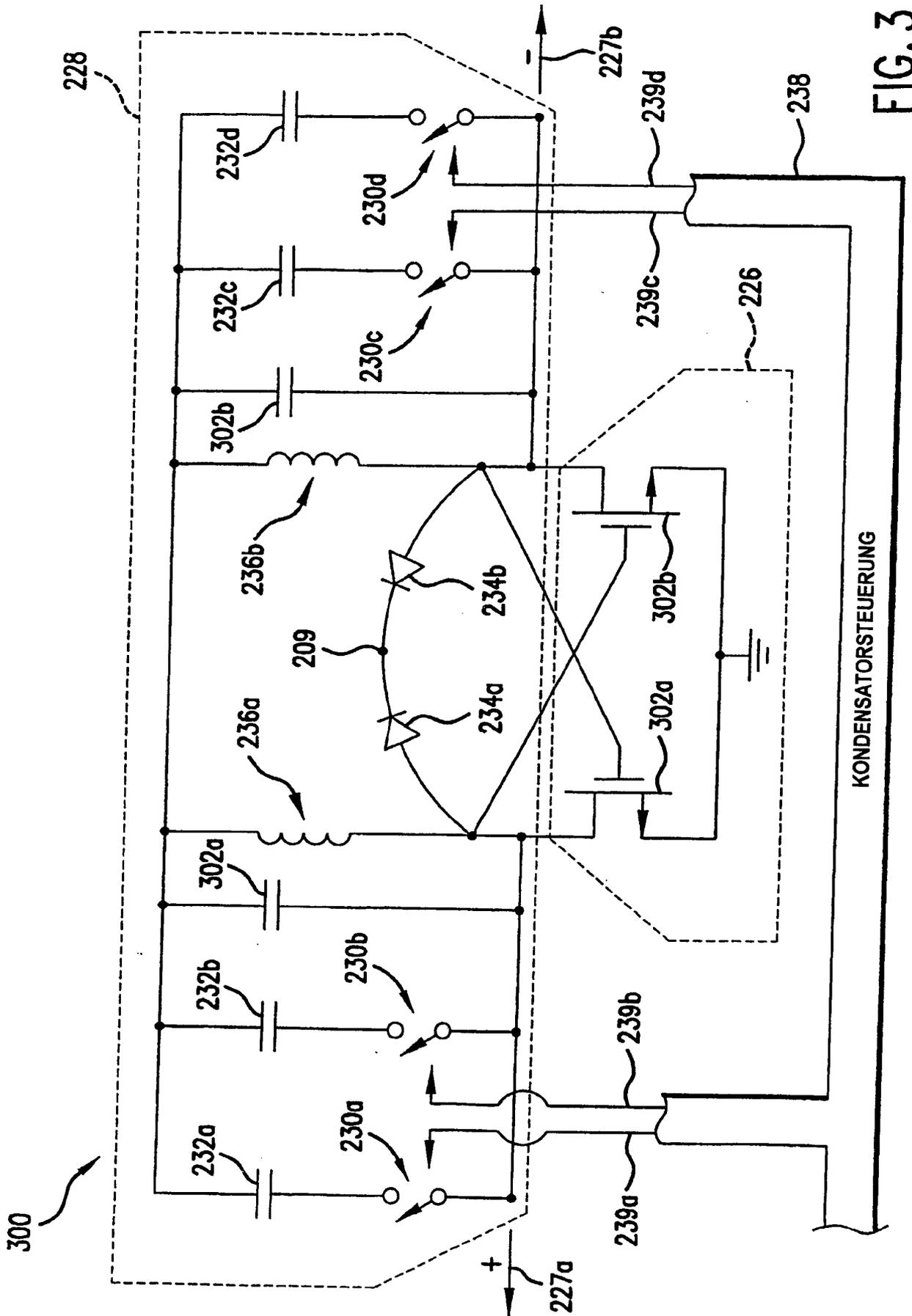


FIG. 3

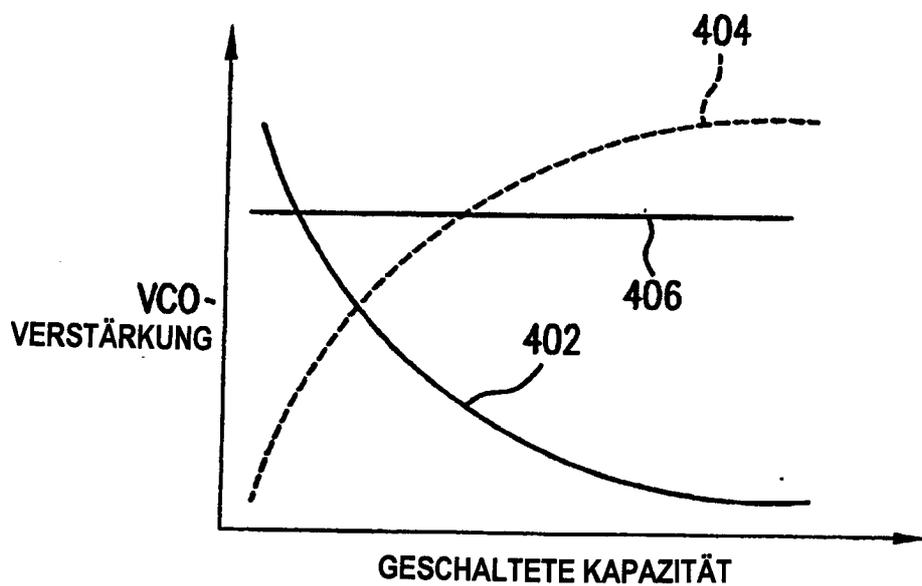


FIG. 4

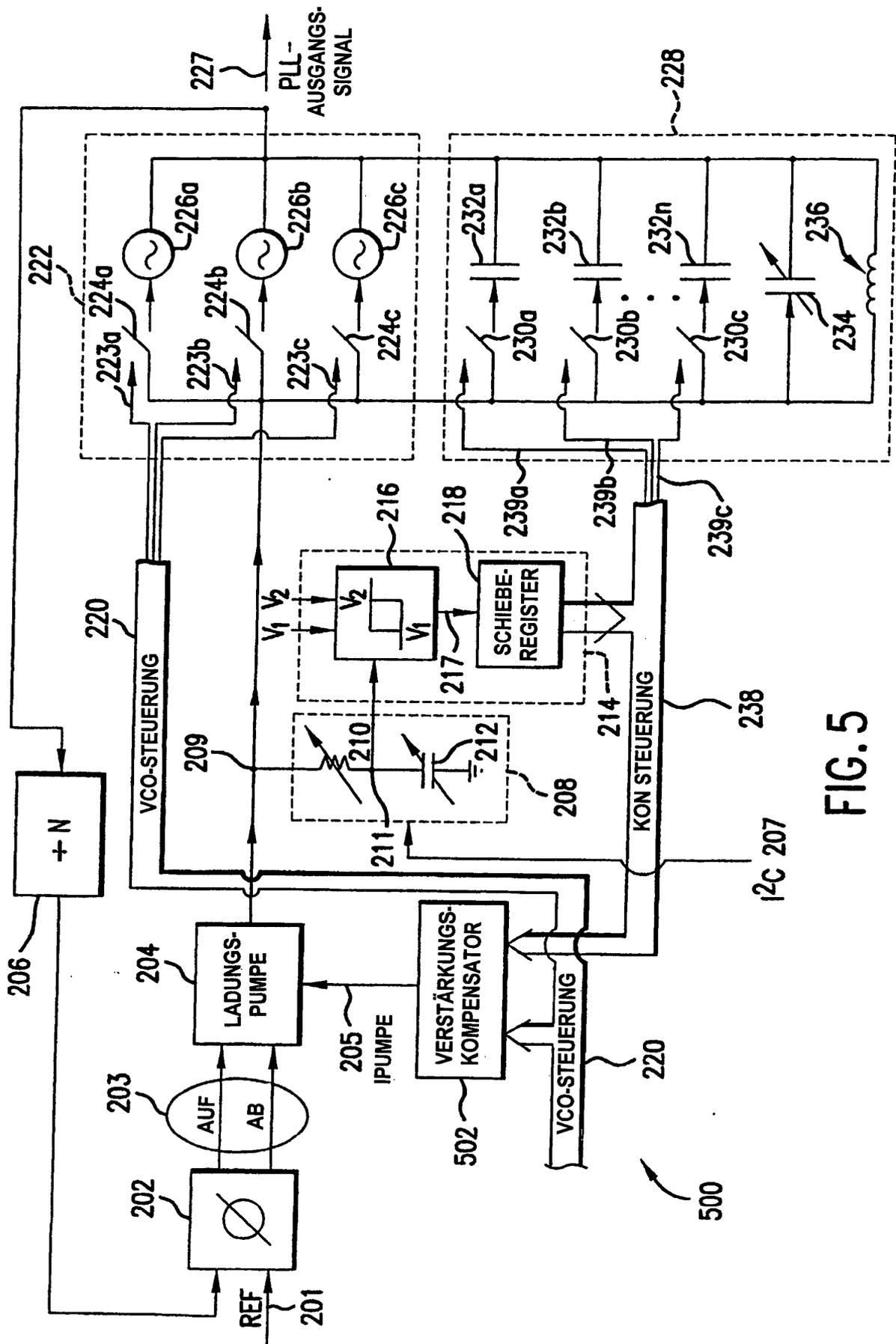


FIG. 5

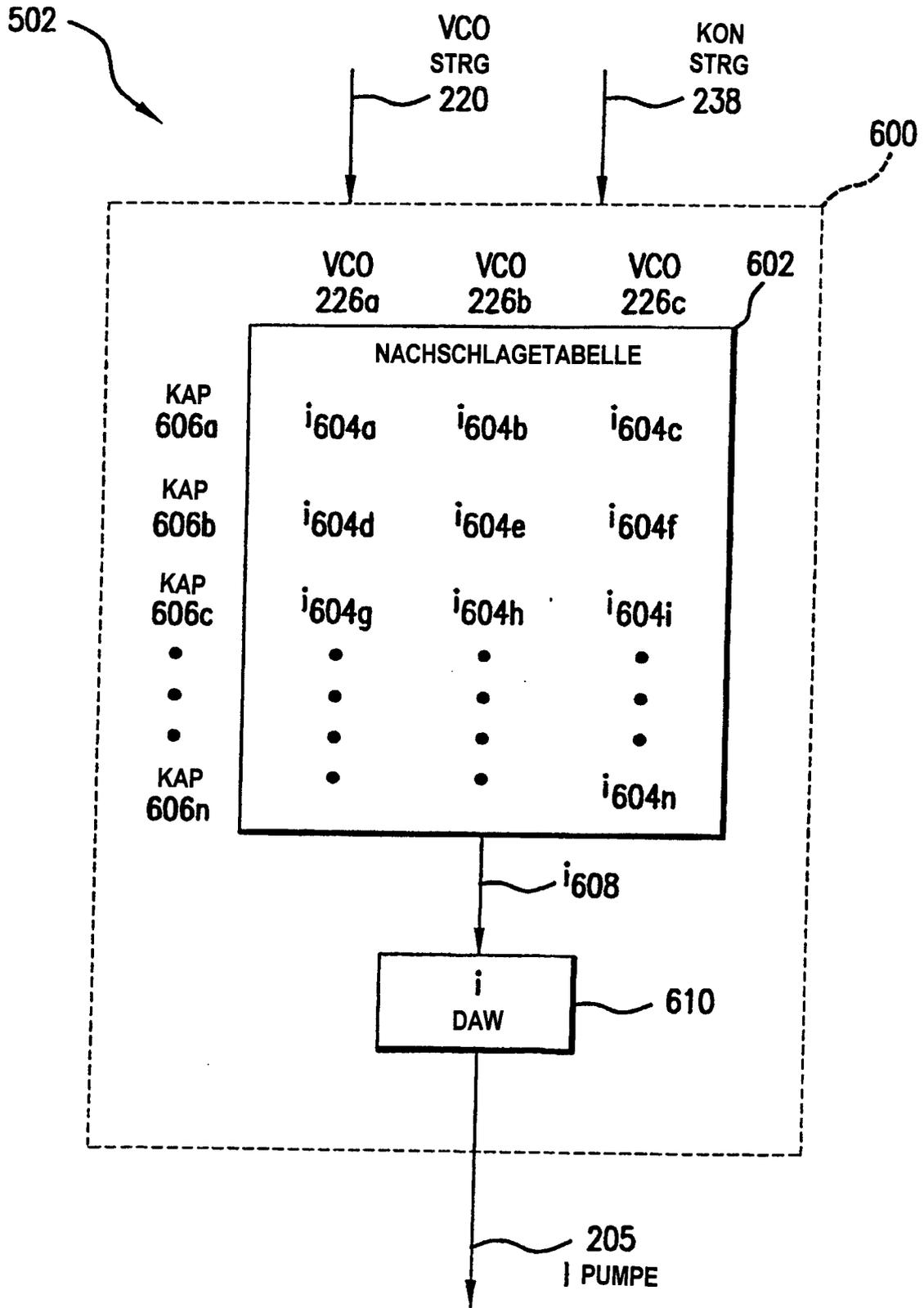


FIG. 6

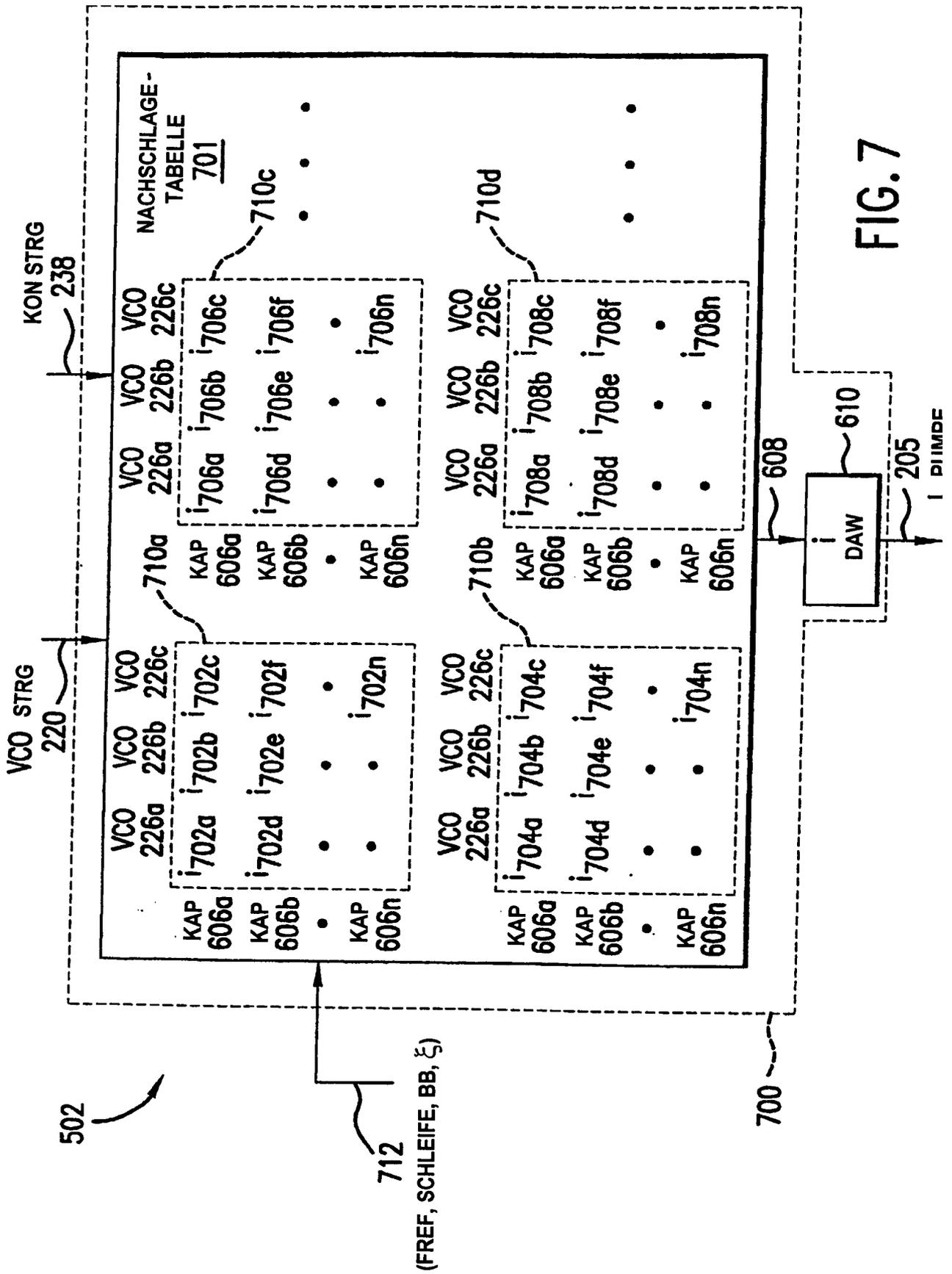


FIG. 7

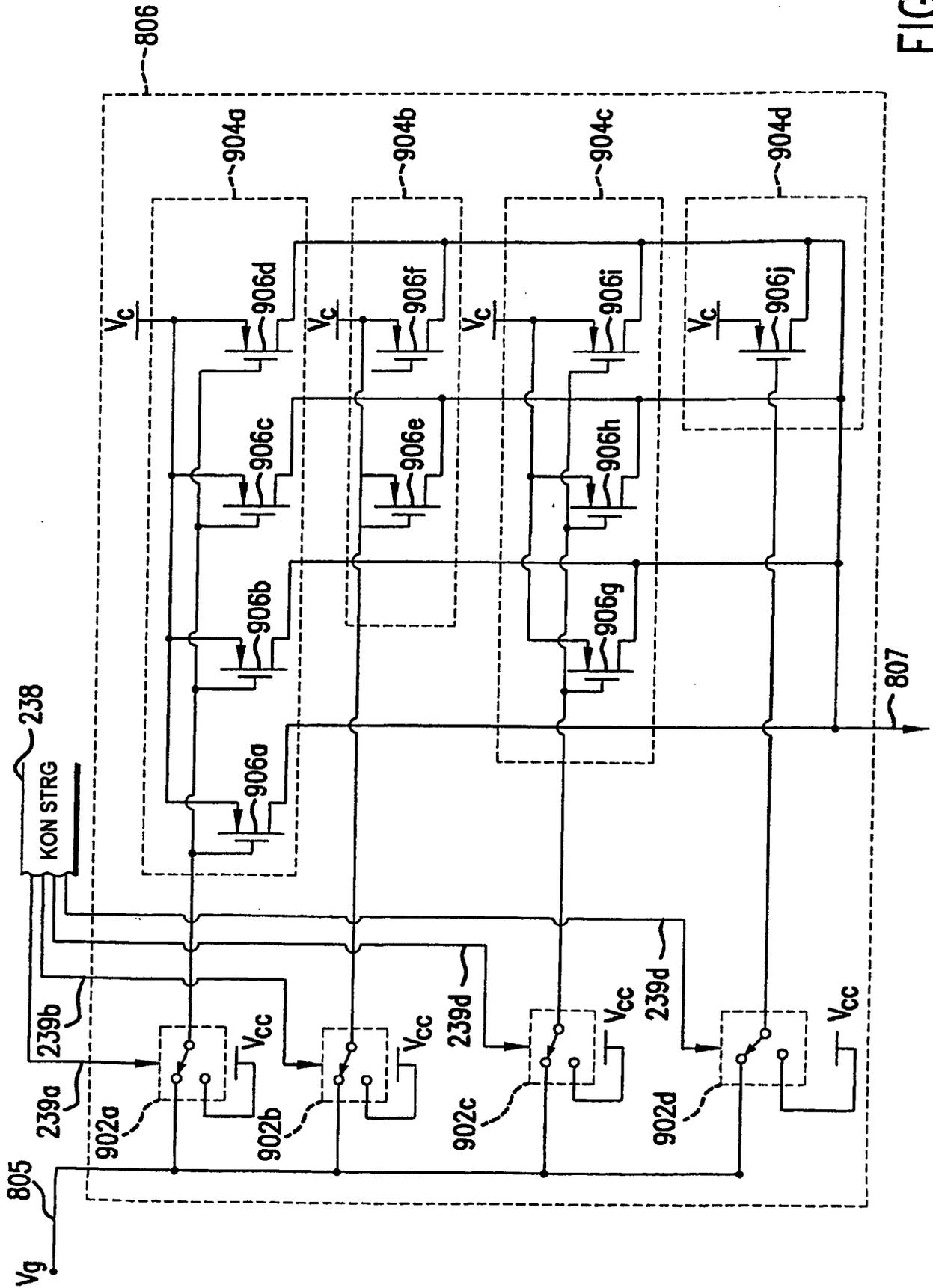


FIG. 9

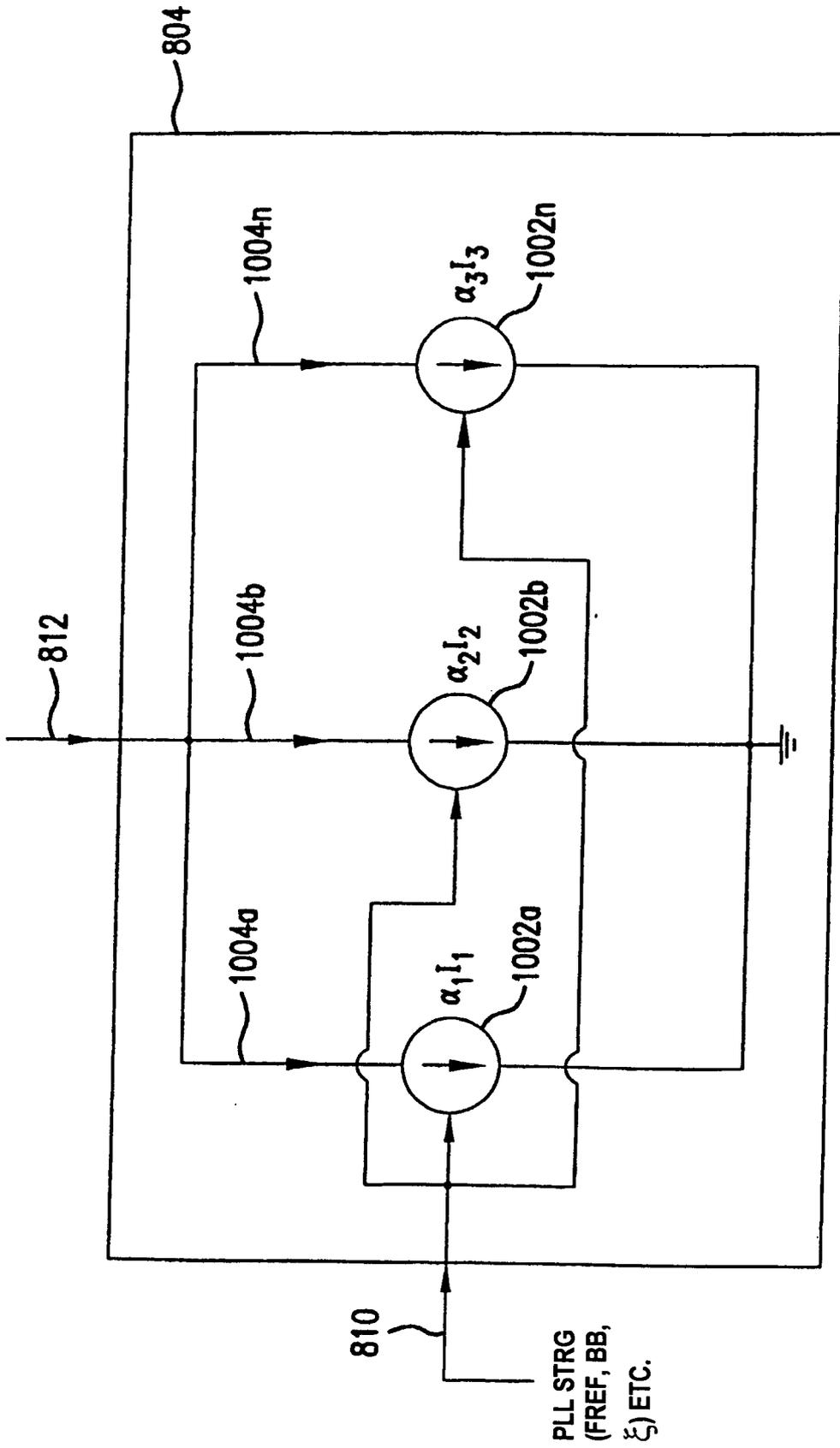


FIG. 10

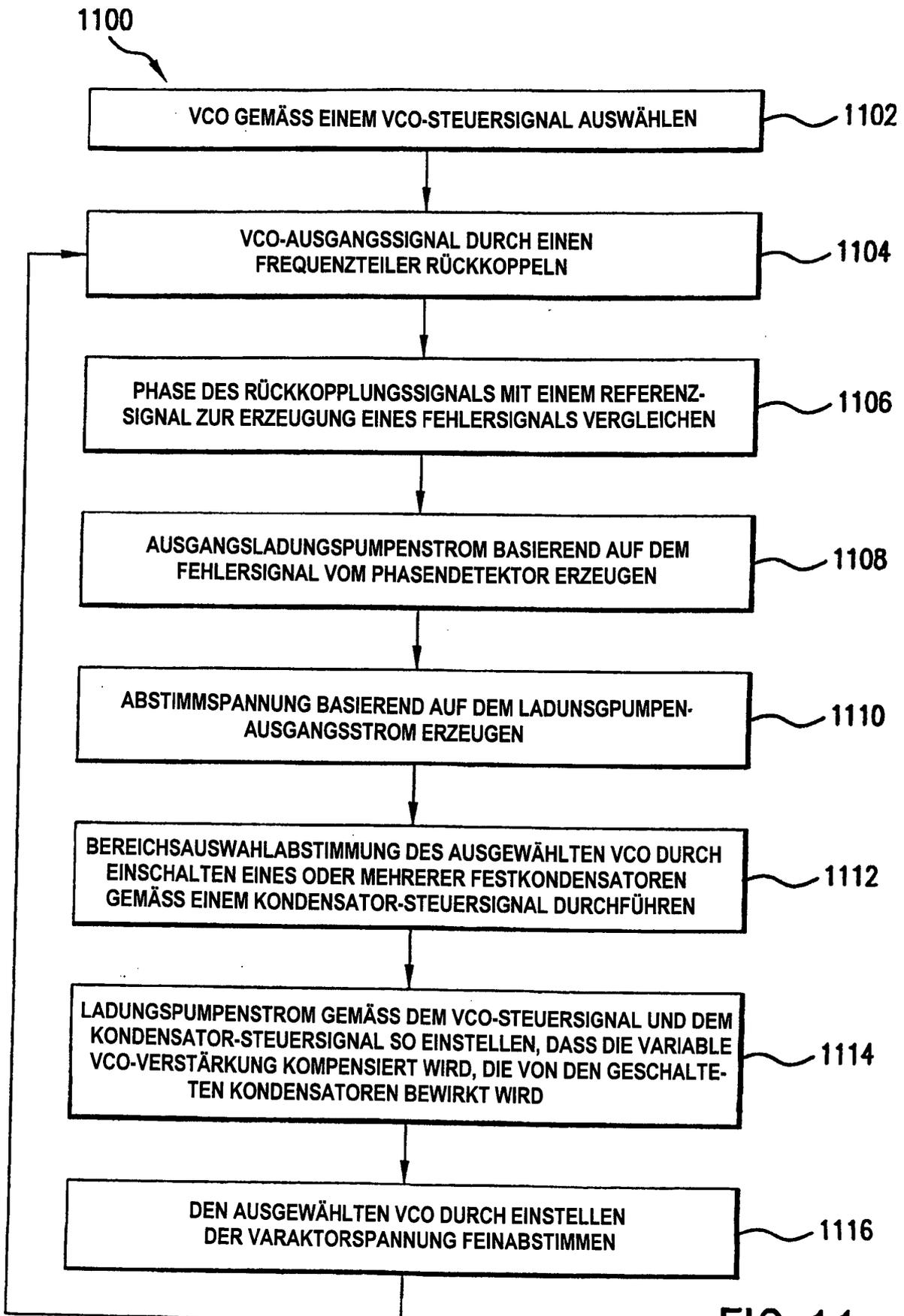


FIG. 11

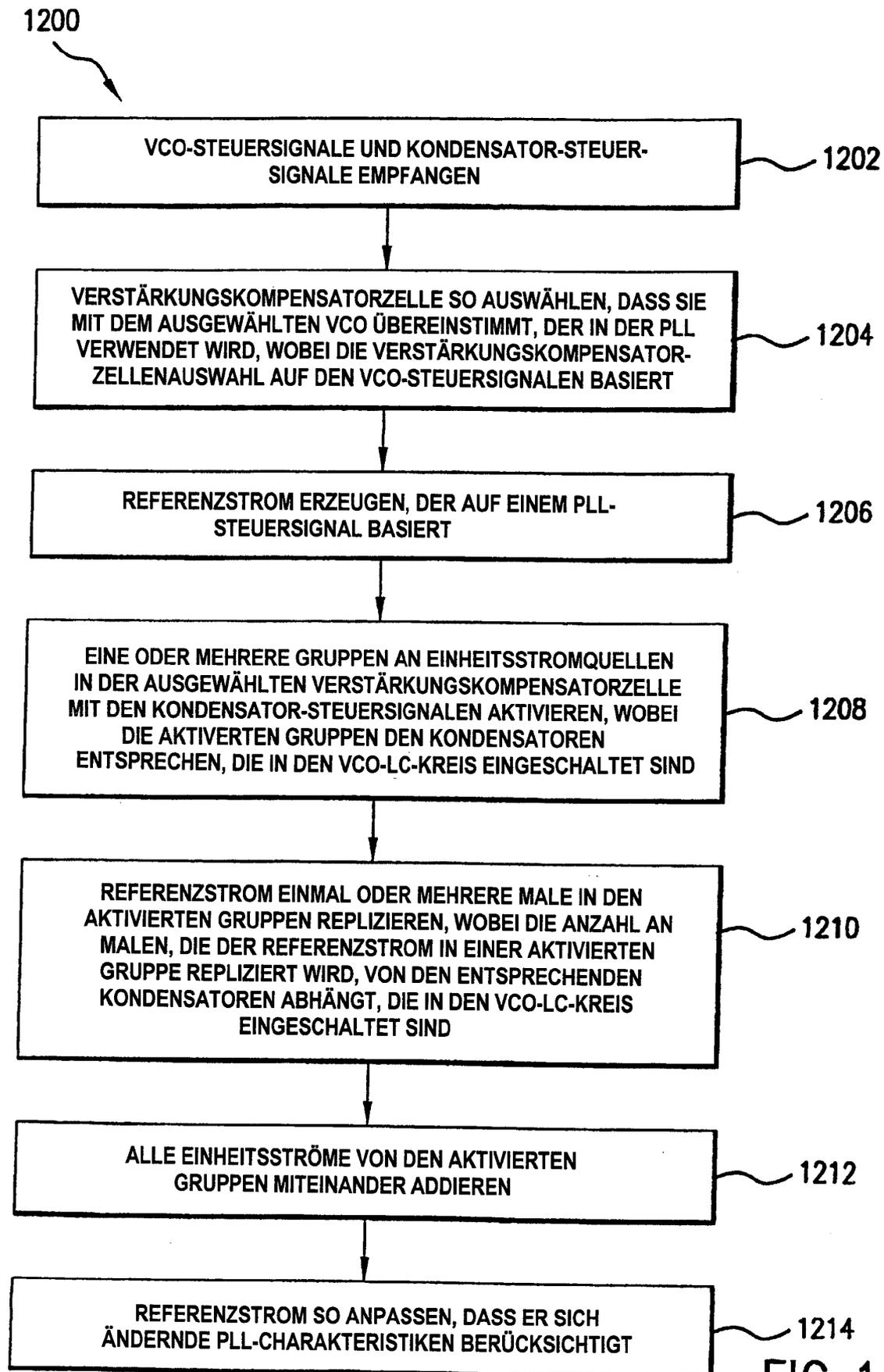


FIG. 12