



(12) **Veröffentlichung**

der internationalen Anmeldung mit der  
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2023/091871**  
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2  
IntPatÜbkG)  
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2022 005 458.1**  
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US2022/079558**  
(86) PCT-Anmeldetag: **09.11.2022**  
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **25.05.2023**  
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
in deutscher Übersetzung: **29.08.2024**

(51) Int Cl.: **G05F 1/56 (2006.01)**  
**H02M 1/32 (2007.01)**  
**H02M 3/07 (2006.01)**

(30) Unionspriorität:  
**17/527,970 16.11.2021 US**

(71) Anmelder:  
**PSEMI CORPORATION, San Diego, CA, US**

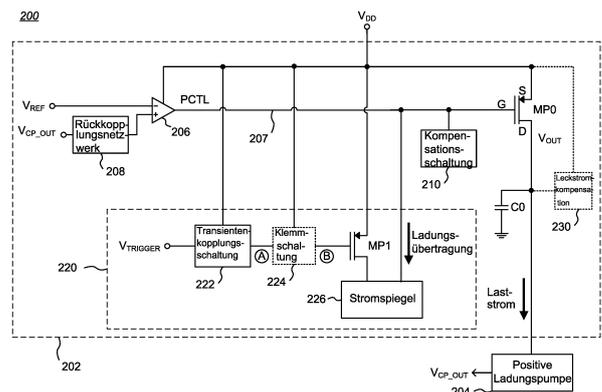
(74) Vertreter:  
**KUHNEN & WACKER Patent- und  
Rechtsanwaltsbüro PartG mbB, 85354 Freising,  
DE**

(72) Erfinder:  
**Englekirk, Robert Mark, San Diego, CA, US**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **SCHNELLE ERKENNUNG UND ENTLADUNG FÜR LADEPUMPENREGLER**

(57) Zusammenfassung: Schaltungen und Verfahren, die einen Spannungsabfall am Ausgang einer positiven Ladungspumpe schnell erkennen und die akkumulierte Ladung des Steuerknotens (CNAC) entladen können, wodurch die positive Ladungspumpe in einen Hochleistungsmodus gezwungen wird. Die Ausführungsformen umfassen eine Schaltung, die so konfiguriert ist, dass sie einer positiven Ladungspumpe einen Laststrom bereitstellt, einschließlich eines Reglers mit niedrigem Abfallsollwert (LDO) mit einer Durchlassvorrichtung, die einen Steuereingang enthält, und einer schnellen Ladungsübertragungsschaltung, die mit dem Steuereingang der Durchlassvorrichtung gekoppelt und so konfiguriert ist, dass sie mit einer Quelle einer Triggerspannung gekoppelt ist, wobei die schnelle Ladungsübertragungsschaltung so konfiguriert ist, dass sie eine Ladung zu oder von dem Steuereingang der Durchlassvorrichtung überträgt, wenn die Triggerspannung ausreichend unter einen spezifizierten Pegel fällt, um die Durchlassvorrichtung schnell in einen höheren Leitungszustand zu versetzen, und dass sie die Übertragung der Ladung nach einer einstellbaren Zeitspanne automatisch beendet.



**Beschreibung**QUERVERWEIS AUF EINEN VERWANDTEN  
ANTRAG

**[0001]** Die vorliegende Anmeldung beansprucht die Priorität der am 16. November 2021 eingereichten US-Patentanmeldung Nr. 17/527,970 für einen „Fast Detection And Discharge For Charge Pump Controller“, die hier durch Bezugnahme in vollem Umfang aufgenommen wird.

## HINTERGRUND

## (1) Technischer Bereich

**[0002]** Diese Erfindung bezieht sich auf elektronische Schaltungen, insbesondere auf Steuerschaltungen für positive Ladungspumpen.

## (2) Hintergrund

**[0003]** Fig. 1 ist ein Blockdiagramm und Teilschaltbild 100 eines Low-Dropout-Reglers (LDO) 102 nach dem Stand der Technik, der so konfiguriert ist, dass er eine geregelte Ausgangsspannung erzeugt, die eine negative Ladungspumpe 104a, die eine Komponente einer Last 104 ist, mit Strom versorgen kann. Wie in der Technik bekannt, ist ein LDO ein linearer Gleichspannungsregler, der seine Ausgangsspannung  $V_{OUT}$  selbst dann regeln kann, wenn seine Versorgungsspannung  $V_{DD}$  sehr nahe an der Ausgangsspannung liegt.

**[0004]** Im gezeigten Beispiel umfasst der LDO 102 einen Durchgangstransistor M (dargestellt als MOSFET vom P-Typ), der so konfiguriert ist, dass er aus einer Eingangsspannung  $V_{DD}$  eine geregelte Ausgangsspannung  $V_{OUT}$  erzeugt und einen Laststrom an eine negative Ladungspumpe 104a liefert, die für verschiedene Anwendungen so konfiguriert sein kann, dass sie eine Spannung  $V_{CP\_OUT}$  ausgibt, die in Bezug auf ihre vom LDO 102 bereitgestellte Eingangsspannung  $V_{OUT}$  negativ ist. Die negative Ladungspumpe 104a ist in diesem Beispiel mit einem Pegelschieber 104b gekoppelt, der ein Eingangssignal in bekannter Weise von einem Spannungsbereich in einen anderen Spannungsbereich umsetzt. In diesem Beispiel ist der umgesetzte Ausgang des Pegelschiebers 104b mit dem Gate eines HF-FET 104c (der ein MOSFET sein kann) gekoppelt, der als Schalter konfiguriert ist, um ein HF-Signal zu sperren oder zu leiten. Wie klar sein sollte, kann die Last 104 andere und/oder unterschiedliche Schaltungen umfassen, die von der geregelten Ausgangsspannung eines LDO 102 profitieren.

**[0005]** Die Durchlassvorrichtung M verfügt über einen Steuereingang - Gate G -, der von einem Fehlerverstärker 106 gesteuert wird, der eine Referenz-

spannung  $V_{REF}$  (die typischerweise die Schaltungsmasse wäre) mit dem Ausgang eines Rückkopplungsnetzwerks 108 vergleicht, das mit  $V_{CP\_OUT}$  von der negativen Ladungspumpe 104a gekoppelt ist. Das Rückkopplungsnetzwerk 108 kann z. B. ein Widerstandsteiler sein, der eine skalierte Version von  $V_{CP\_OUT}$  an einen Eingang des Fehlerverstärkers 106 liefert.

**[0006]** Eine Frequenzkompensationsschaltung 110 kann vorgesehen sein, um die Regelschleife zu kompensieren und um Überspringen und Klingeln in der Sprungantwort des Fehlerverstärkers 106 zu kontrollieren. Ein Entkopplungskondensator C0 filtert Rauschen aus dem Ausgang des LDO 202 und bietet ein Ladungsreservoir zur Glättung dieses Ausgangs.

**[0007]** Ein Trend in der Industrie besteht darin, dass Ladungspumpen mit immer niedrigeren Stromstärken arbeiten müssen (z. B.  $<16\mu A$ ), jedoch immer mehr Strom liefern müssen, um den Körperstrom  $I_{SS}$  von einem HF-Schalter bei HF-Übertragungen zu entladen (z. B.  $I_{SS} \geq 75\mu A$ ). Um diese Betriebsanforderungen zu erfüllen, muss der LDO 102 auch mit sehr geringem Strom arbeiten. Infolgedessen muss der Fehlerverstärker 106 - der die Ausgangsspannung  $V_{OUT}$  des LDO 102 steuert - mit sehr geringem Strom arbeiten, was im Allgemeinen bedeutet, dass der Fehlerverstärker 106 sehr langsam auf eine plötzliche Änderung des von der Last 104 benötigten Laststroms reagiert.

**[0008]** Die Verringerung des Stroms im Fehlerverstärker 106 wirkt sich nachteilig auf dessen Stromsenkenfähigkeit aus, was zu einer sehr langsamen Reaktionszeit in Bezug auf Änderungen des Laststroms des LDO 102 führt, die die Ausgangsspannung der negativen Ladungspumpe 104a unter ihren vorgesehenen Ausgangspegel fallen lassen. Solche Änderungen können zum Beispiel auftreten, wenn ein HF-FET 104c ausgeschaltet wird. Eine langsame Ansprechzeit für den Fehlerverstärker 106 bedeutet, dass die Schaltzeit eines gekoppelten HF-FET verschlechtert wird.

**[0009]** Eine Hauptursache für das langsame Ansprechen eines langsamen Fehlerverstärkers 106 ist seine begrenzte Fähigkeit, das Gate des Durchlassbauelements M zu entladen. Wie in Fig. 1 dargestellt, ist ein Ausgangssteuersignal NCTL über eine Steuerleitung vom Ausgang des Fehlerverstärkers 106 mit dem Gate des P-Typ-Durchlassbauelements M gekoppelt. Wenn  $V_{DD} \approx +1,8 V$  ist, wird das Durchlassbauelement M bei  $NCTL = 0 V$  vollständig eingeschaltet (da  $V_{GS}$  negativer ist als die Schwellenspannung  $V_{TH}$  dieses spezifischen Bauelements). Wenn der von der Last 104 geforderte Strom sehr niedrig oder gleich Null ist, zwingt der Fehlerverstärker 106 die Spannung an NCTL so, dass die Differenz zwischen NCTL und  $V_{DD}$  - d.h. die  $V_{GS}$  des

Durchlassbauelements M - positiver wird und sich  $V_{TH}$  nähert und vielleicht sogar  $V_{TH}$  übersteigt, so dass das Durchlassbauelement M wenig bis keinen Strom leitet. In einem solchen Szenario, in dem der von der Last 104 geforderte Strom sehr gering oder gleich Null ist und die Gate-Spannung des Durchlassbauelements M in Richtung  $V_{DD}$  ansteigt, baut sich eine Ladung am Gate G des Durchlassbauelements M auf. Außerdem baut sich Ladung an parasitären Kapazitäten auf (einschließlich aller Komponenten der Frequenzkompensationsschaltung 110, die häufig eingebaute Kondensatoren und Miller-Effekt-Kapazitäten umfasst), die mit der Verbindung zwischen dem Fehlerverstärker 106 und dem Gate G des Durchlassbauelements M gekoppelt sind. Dementsprechend muss die akkumulierte Ladung (Gate und parasitäre Ladung) - oder Control Node Accumulated Charge (CNAC) - entladen werden, um die Stromleitung durch die Durchlassvorrichtung M zu erhöhen, beispielsweise wenn die Last 104 einen hohen Strom benötigt. Ein herkömmlicher Fehlerverstärker 106 kann die CNAC zwar entladen, tut dies aber relativ langsam, wodurch die Ansprechzeit des LDO 102 und folglich auch die Schaltzeit eines gekoppelten HF-FET begrenzt wird.

**[0010]** Wenn die Last eine negative Ladungspumpe 104a enthält, ist es bekannt, eine anwendungsspezifische Schnellentladungsschaltung zu verwenden, um den CNAC auf der NCTL-Steuerleitung schnell zu entladen. Wie in **Fig. 1** dargestellt, umfasst eine Schnellentladungsschaltung 112 einen N-Typ-MOSFET  $M_N$ , der zwischen der NCTL-Steuerleitung und der Schaltungsmasse angeschlossen ist. Das Gate des MOSFET  $M_N$  ist mit einer skalierten Spannung,  $V_{CP\_SENSE}$ , verbunden, die von  $V_{CP\_OUT}$  aus der negativen Ladungspumpe 104a abgeleitet ist. Um eine bessere Rausch- und Übersprechersicherheit zu erreichen, ist ein zusätzlicher erster Kondensator C1 zwischen dem Gate des MOSFET  $M_N$  und  $V_{CP\_OUT}$  und ein zusätzlicher zweiter Kondensator C2 zwischen der Source des MOSFET  $M_N$  und  $V_{CP\_OUT}$  geschaltet. Die Source des MOSFET  $M_N$  ist ebenfalls mit der Schaltungsmasse verbunden. Wenn sich  $V_{CP\_SENSE}$  schnell ändert, z. B. wenn das Gate eines HF-FET auf Schaltzustände aufgeladen wird, übersteigt die Spannung am Gate von MOSFET  $M_N$  die  $V_{TH}$  des Bauelements, und MOSFET  $M_N$  wird leitend. Sobald der MOSFET  $M_N$  auf EIN geschaltet wird, wird die NCTL-Steuerleitung mit der Masse des Schaltkreises verbunden, wodurch der CNAC schnell entladen wird. Infolgedessen beginnt die Durchlassvorrichtung M zu leiten und schaltet die negative Ladungspumpe 104a vollständig ein. Sobald  $V_{CP\_OUT}$  (und damit  $V_{CP\_SENSE}$ ) wieder den vorgesehenen Spannungspegel erreicht hat, wird der MOSFET  $M_N$  ausgeschaltet. Wenn der MOSFET  $M_N$  ausgeschaltet ist, steuert der Ausgang des Fehlerverstärkers 106 wieder die NCTL-Steuerleitung und das Gate G der Durchlassvorrichtung M.

Insgesamt wird die Reaktionszeit des LDO 102 verbessert.

**[0011]** Leider funktioniert die Schnellentladungsschaltung 112 nicht mit einer positiven Ladungspumpe, da die Polarität von  $V_{CP\_OUT}$  umgekehrt ist und der MOSFET  $M_N$  daher nicht eingeschaltet wird, wenn  $V_{CP\_OUT}$  abfällt.

**[0012]** Dementsprechend besteht ein Bedarf an einer Entladeschaltung für die akkumulierte Ladung des Steuerknotens, die einen Spannungsabfall am Ausgang einer positiven Ladungspumpe schnell erkennen und die positive Ladungspumpe in einen Hochleistungsmodus versetzen kann. Die vorliegende Erfindung befasst sich mit diesem Bedarf.

## KURZFASSUNG

**[0013]** Die vorliegende Erfindung umfasst Schaltungen und Verfahren, die einen Spannungsabfall am Ausgang einer positiven Ladungspumpe schnell erkennen und die akkumulierte Ladung des Steuerknotens (CNAC) entladen können, wodurch die positive Ladungspumpe in einen Hochleistungsmodus gezwungen wird.

**[0014]** Ausführungsformen umfassen eine Schaltung, die so konfiguriert ist, dass sie einer positiven Ladungspumpe einen Laststrom zuführt, einschließlich eines Reglers mit niedrigem Abfallsollwert (LDO) mit einer Durchlassvorrichtung, die einen Steuereingang umfasst, und einer schnellen Ladungsübertragungsschaltung, die mit dem Steuereingang der Durchlassvorrichtung gekoppelt und so konfiguriert ist, dass sie mit einer Quelle einer Triggerspannung gekoppelt ist, die vom Ausgang der positiven Ladungspumpe abgeleitet wird, wobei die schnelle Ladungsübertragungsschaltung so konfiguriert ist, dass sie eine Ladung zu oder von dem Steuereingang der Durchlassvorrichtung überträgt, wenn die Triggerspannung ausreichend unter einen spezifizierten Pegel fällt, um die Durchlassvorrichtung schnell in einen höheren Leitungszustand zu versetzen, und dass sie automatisch aufhört, die Ladungsübertragung nach einer einstellbaren Zeitspanne zu liefern.

**[0015]** Es gibt auch Varianten, bei denen die Durchlassvorrichtung ein PFET-Bauelement oder ein NFET-Bauelement ist.

**[0016]** Die Einzelheiten einer oder mehrerer Ausführungsformen der Erfindung sind in den beigefügten Zeichnungen und der nachstehenden Beschreibung dargelegt. Weitere Merkmale, Gegenstände und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und den Zeichnungen sowie aus den Ansprüchen.

## BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**Fig. 1** ist ein Blockdiagramm und ein Teilschaltbild eines Low-Dropout-Reglers (LDO) nach dem Stand der Technik, der so konfiguriert ist, dass er eine geregelte Ausgangsspannung erzeugt, die einer negativen Ladungspumpenkomponente einen Laststrom zuführen kann.

**Fig. 2** ist ein Blockdiagramm und Teilschaltbild eines verbesserten PFET-basierten Linearreglers, der einen Low-Dropout-Regler (LDO) umfasst, der so konfiguriert ist, dass er einen Laststrom an eine Ladungspumpe liefert.

**Fig. 3** ist ein Blockdiagramm und ein Teilschaltbild der Schaltung von **Fig. 2**, das eine detaillierte Ausführungsform der Schnellentladungsschaltung zeigt.

**Fig. 4** ist ein Blockdiagramm und Teilschaltbild eines verbesserten NFET-basierten Linearreglers, der so konfiguriert ist, dass er einen Laststrom an eine Ladungspumpe liefert.

**Fig. 5** ist eine Draufsicht auf ein Substrat, bei dem es sich z. B. um eine Leiterplatte oder ein Chipmodulsubstrat (z. B. eine Dünnschichtkachel) handeln kann.

**Fig. 6** ist ein Prozessablaufdiagramm, das ein Verfahren zur Kompensation der schnellen Erkennung einer verminderten Ausgangsspannung einer positiven Ladungspumpe und zur Entladung der akkumulierten Ladung an einem Steuerknoten eines Reglers mit niedrigem Ableitwert zeigt.

**[0017]** Gleiche Bezugsnummern und Bezeichnungen in den verschiedenen Zeichnungen bezeichnen gleiche Elemente.

## AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG

**[0018]** Die vorliegende Erfindung umfasst Schaltungen und Verfahren, die einen Spannungsabfall am Ausgang einer positiven Ladungspumpe schnell erkennen und die akkumulierte Ladung des Steuerknotens (CNAC) entladen können, wodurch die positive Ladungspumpe in einen Hochleistungsmodus gezwungen wird.

## PFET-basierte Ausführungsformen

**[0019]** **Fig. 2** ist ein Blockdiagramm und Teilschaltbild 200 eines verbesserten PFET-basierten Linearreglers, der einen Low-Dropout-Regler (LDO) 202 umfasst, der so konfiguriert ist, dass er einer Ladungspumpe 204 einen Laststrom zuführt. Im dargestellten Beispiel ist die Ladungspumpe 204 eine positive Ladungspumpe. Nicht dargestellt sind andere Schaltungen, die mit der Ladungspumpe

204 gekoppelt sein können, wie z. B. ein Pegelschieber 104b und ein HF-FET-Gate 104c.

**[0020]** Im gezeigten Beispiel enthält der LDO 202 einen Durchgangstransistor MP0 (dargestellt als MOSFET vom P-Typ oder „PFET“), der so konfiguriert ist, dass er aus einer Eingangsspannung  $V_{DD}$  eine geregelte Ausgangsspannung  $V_{OUT}$  erzeugt und einen Laststrom an die positive Ladungspumpe 204 liefert. Die positive Ladungspumpe 204 gibt eine positive Spannung  $V_{CP\_OUT}$  relativ zu der vom LDO 202 gelieferten Spannung  $V_{OUT}$  aus. Die positive Ladungspumpe 204 ist im Allgemeinen mit anderen Schaltungen (nicht dargestellt) gekoppelt, z. B. mit einem Pegelschieber, der mit dem Gate eines HF-FET gekoppelt ist, der als Schalter zum Sperren oder Leiten eines HF-Signals konfiguriert ist. Wie klar sein sollte, kann der Ausgang der positiven Ladungspumpe 204 mit anderen und/oder unterschiedlichen Schaltungen verbunden sein.

**[0021]** Die Durchlassvorrichtung MP0 hat ein Gate G, das von einem Fehlerverstärker 206 gesteuert wird, der eine Referenzspannung  $V_{REF}$  mit dem Ausgang eines Rückkopplungsnetzwerks 208 vergleicht, das mit  $V_{CP\_OUT}$  von der positiven Ladungspumpe 204 gekoppelt ist. Das Rückkopplungsnetzwerk 208 kann beispielsweise ein Widerstandsteiler-Netzwerk sein, das eine skalierte Version von  $V_{CP\_OUT}$  an einen Eingang des Fehlerverstärkers 206 liefert. Ein Ausgangssignalsignal PCTL des Fehlerverstärkers 206 ist über eine Steuerleitung 207 mit dem Gate der P-Durchlassvorrichtung MP0 gekoppelt.

**[0022]** Eine Frequenzkompensationsschaltung 210 kann vorgesehen werden, um die Regelschleife zu kompensieren und um Überschwinger und Klingeln in der Sprungantwort des Fehlerverstärkers 106 zu kontrollieren. Ein Entkopplungskondensator C0 filtert Rauschen aus dem Ausgang des LDO 202 und bietet ein Ladungsreservoir zur Glättung dieses Ausgangs.

**[0023]** Wenn  $V_{DD} \approx +1,8$  V ist, wird bei  $PCTL = 0$  V der Durchlassbaustein MP0 vollständig eingeschaltet (da  $V_{GS}$  negativer ist als die Schwellenspannung  $V_{TH}$  dieses Bausteins). Wenn die Spannungsdifferenz zwischen PCTL und  $V_{DD}$  so weit schrumpft, dass sie positiver als  $V_{TH}$  wird, schaltet sich der Durchlassbaustein MP0 aus. Wenn die Gatespannung an der Durchlassvorrichtung MP0 ansteigt, baut sich CNAC am Gate G der Durchlassvorrichtung MP0 auf. Um die Durchlassvorrichtung MP0 wieder einzuschalten, muss der CNAC entladen werden. Ein herkömmlicher Fehlerverstärker 206 kann den CNAC zwar entladen, tut dies aber relativ langsam, wodurch die Reaktionszeit des LDO 202 begrenzt wird.

**[0024]** Um das durch CNAC verursachte Ansprechproblem zu beheben, umfassen Ausführungsformen

der vorliegenden Erfindung eine schnelle Ladungsübertragungsschaltung 220, die mit der Steuerleitung 207 zwischen dem Fehlerverstärker 206 und dem Gate G der Durchlassvorrichtung MP0 verbunden ist. Wenn sie durch einen Spannungsabfall am Ausgang der positiven Ladungspumpe 204 ausgelöst wird, liefert die Schnellladungsübertragungsschaltung 220 schnell einen Entladungsstrom, der die Steuerleitung 207 auf ein Bezugspotenzial (z. B. Schaltungsmasse) zieht und somit die CNAC entlädt. Die Schnellladungsübertragungsschaltung 220 hört nach einer einstellbaren Zeitspanne automatisch auf, den Entladestrom zu liefern.

**[0025]** Im gezeigten Beispiel umfasst die Schnellladungsübertragungsschaltung 220 eine Transientenkopplungsschaltung 222, die so ausgelegt ist, dass sie einen gewünschten Frequenzbereich durchlässt. Die Transientenkopplungsschaltung 222 ist mit  $V_{DD}$  und einer zweiten Eingangsspannung  $V_{TRIGGER}$  (z.B.  $\sim 3,4V$  bis  $\sim 4V$ ) verbunden. In einigen Ausführungsformen kann die Transientenkopplungsschaltung 222 ein Hochpassfilter sein.  $V_{TRIGGER}$  kann mit einer von mehreren möglichen Quellen gekoppelt werden, wie z. B. dem Ausgang  $V_{CP\_OUT}$  der positiven Ladungspumpe 204 oder einem vom Ausgang der positiven Ladungspumpe 204 abgeleiteten Signal (z. B. über ein Widerstandsteiler-Netzwerk, bei dem es sich um das dargestellte Rückkopplungsnetzwerk 208 handeln kann, und/oder über eine Filterschaltung). Der Ausgang der Transientenkopplungsschaltung 222 ist mit dem Gate eines P-Typ-MOSFET MP1 gekoppelt, entweder direkt oder über eine optionale Klemmschaltung 224. Die Source von MP1 ist mit  $V_{DD}$  und die Drain von MP1 ist mit einem Stromspiegel 226 verbunden. Der Stromspiegel 226 ist auch mit der Steuerleitung 207 gekoppelt.

**[0026]** Wenn sich  $V_{TRIGGER}$  in einem normalen Betriebsbereich befindet (z. B.  $\sim 3,4V$  bis  $\sim 4V$ ), liegen die Knoten A und B beide nominell bei  $V_{DD}$ , z. B.  $\sim 1,8V$  (beachten Sie, dass die Knoten A und B an derselben Stelle liegen, wenn die optionale Klemmschaltung 224 weggelassen wird). Wenn  $V_{TRIGGER}$  jedoch schnell abfällt, wird die Spannung an den Knoten A und B ebenfalls gegen Null sinken. Wenn der Spannungsabfall an den Knoten A und B größer ist als die Schwellenspannung  $V_{TP}$  von MP1 unterhalb des Nennwerts von  $V_{TRIGGER}$ , schaltet MP1 ein und leitet Strom in den Stromspiegel 226. Infolgedessen leitet der Stromspiegel 226 einen Entladestrom durch die Ausgangsklemme des Stromspiegels, der die Steuerleitung 207 auf Masse zieht und somit den CNAC schnell entlädt.

**[0027]** Die Einschwingsschaltung 222 kann eine einfache RC-Schaltung sein, wie unten mit Bezug auf Fig. 3 beschrieben. Die Transientenkopplungsschaltung 222 ist so konfiguriert, dass sich die Knoten A und B innerhalb einer kurzen Zeit, die durch ihre RC-

Zeitkonstante bestimmt wird (z. B. einige Mikrosekunden), auf  $V_{DD}$  aufladen und folglich MP1 automatisch ausschalten. Durch die rasche Entladung des CNAC wird die Durchlassvorrichtung MP0 in einen höheren Leitungszustand versetzt, und das PCTL-Signal des Fehlerverstärkers 206 steuert wieder das Gate G der Durchlassvorrichtung MP0. Insgesamt wird die Reaktionszeit des LDO 202 erheblich verbessert.

**[0028]** Die optionale Klemmschaltung 224, die ebenfalls mit  $V_{DD}$  verbunden ist, begrenzt die Spannungsdifferenz zwischen  $V_{DD}$  und der Spannung am Knoten B, um sicherzustellen, dass die Gate-Spannung für MP1 nicht außerhalb eines für die Zuverlässigkeit des Geräts akzeptablen Bereichs liegt.

**[0029]** Der LDO 202 kann eine optionale Leckstromkompensationsschaltung 230 enthalten. Die Funktion der Leckstromkompensationsschaltung 230 besteht darin, einen Strom zu erzeugen, der dem Leckstrom durch die Durchlassvorrichtung MP0 des LDO 202 unter Bedingungen entgegenwirkt, die einen solchen Leckstrom verursachen. Genauer gesagt kann die Leckstromkompensationsschaltung 230 den Leckstrom der Durchlassvorrichtung MP0 des LDO 202 nachbilden und einen Kompensationsstrom von einer Stromspiegelschaltung an den Ausgang des LDO 202 leiten, während sie bei normalem Gebrauch, wenn der Leckstrom vernachlässigbar ist, fast keinen Strom verbraucht. Weitere Einzelheiten einer geeigneten Leckstromkompensationsschaltung 230 sind in der am 6. August 2021 eingereichten US-Patentanmeldung Nr. 17/396,508 mit dem Titel „Leakage Compensation Circuit“ (Attorney Docket PER-403-PAP) offengelegt, die an den Rechtsnachfolger der vorliegenden Erfindung übertragen wurde und deren Inhalt hier durch Bezugnahme aufgenommen wird.

**[0030]** Fig. 3 ist ein Blockdiagramm und ein Teilschaltbild der Schaltung von Fig. 2, das eine detaillierte Ausführungsform der Schnellladungsübertragungsschaltung 220 zeigt. Die Schnellladungsübertragungsschaltung 220 enthält detaillierte Beispielschaltungen für die Transientenkopplungsschaltung 222, die optionale Klemmschaltung 224 und den Stromspiegel 226. Um Unübersichtlichkeit zu vermeiden, wird die optionale Leckagekompensationsschaltung 230 weggelassen.

**[0031]** Die dargestellte Transientenkopplungsschaltung 222 umfasst einen Hochpassfilter mit einem Gleichstromsperrkondensator C1, der zwischen die Eingangsspannung  $V_{TRIGGER}$  und den Knoten A geschaltet ist, und einem Widerstand R1, der zwischen  $V_{DD}$  und den Knoten A geschaltet ist. Wenn der Knoten A durch einen Einbruch von  $V_{TRIGGER}$  auf einen niedrigen Wert gezogen wird, verzögert die RC-Zeitkonstante des Hochpassfilters die Wie-

derherstellung der Spannung  $V_{DD}$  am Knoten A für eine kurze Zeit (z. B. einige Mikrosekunden), um die Stromleitung durch MP1 und die vollständige Entladung der Steuerleitung 207 durch den Stromspiegel 226 zu ermöglichen. Die Komponentenwerte des Kondensators C1 und des Widerstands R1 sollten im Allgemeinen so gewählt werden, dass genügend Zeit für die Entladung des CNAC zur Verfügung steht, ohne jedoch die Wiederherstellung der Spannung  $V_{DD}$  am Knoten A unnötig zu verzögern, so dass die normale Steuerung durch den Fehlerverstärker 206 überwiegt. Es dürfte klar sein, dass die Transientenkopplungsschaltung 222 auch auf andere Weise implementiert werden kann, z. B. als Bandpassfilter.

**[0032]** Die optionale Klemmschaltung 224 umfasst einen Widerstand R2, der den Knoten A vom Knoten B trennt, einen als Diode geschalteten P-MOSFET MP2 und eine Diode D1, die zwischen  $V_{DD}$  und den Knoten B geschaltet sind (die Kathode der Diode D1 liegt in Richtung des Knotens B), sowie eine Diode D2, die parallel zu MP2 und der Diode D1 zwischen  $V_{DD}$  und dem Knoten B geschaltet ist (die Kathode der Diode D2 liegt in Richtung  $V_{DD}$ ). Es dürfte klar sein, dass auch andere in der Technik bekannte Klemmschaltungen verwendet werden können, um die Funktion der Klemmschaltung 224 zu erfüllen.

**[0033]** Der Stromspiegel 226 erzeugt eine skalierte Kopie des Eingangsstroms. Im gezeigten Beispiel ist der Stromspiegel 226 so konfiguriert, dass das Verhältnis von Eingangsstrom zu skaliertem kopiertem Strom (d. h. dem Entladestrom) 1:N beträgt.

**[0034]** Der dargestellte Stromspiegel 226 umfasst einen Eingangs-MOSFET vom N-Typ  $M_{N1}$ , dessen Drain und Gate mit dem Drain von MP1 und dessen Source mit einem Bezugspotenzial, z. B. der Schaltungsmasse, gekoppelt sind. Der Drain des N-Typ-MOSFET  $M_{N2}$  ist mit der Steuerleitung 207 (und damit mit dem Gate des Durchlassbauelements MP0) gekoppelt, sein Gate ist gemeinsam mit dem Gate von  $M_{N1}$  gekoppelt, und seine Source ist mit dem Bezugspotenzial verbunden.

**[0035]** In einigen Ausführungsformen sind der Eingang  $M_{N1}$  und der Spiegel Ausgang  $M_{N2}$  gleich groß, so dass das Verhältnis von Eingangsstrom zu Ausgangsstrom 1:1 beträgt. In einigen Ausführungsformen kann  $M_{N2}$  größer oder kleiner als  $M_{N1}$  sein, z. B. 1:N (wobei N eine beliebige Gleitkommazahl sein kann), und dementsprechend kann der Stromspiegel 226 so konfiguriert sein, dass er ein Verhältnis von Eingangsstrom zu skaliertem Ausgangsstrom von 1: N aufweist.

**[0036]** Ohne die schnelle Ladungsübertragungsschaltung 220 würde die Reaktionszeit eines LDO durch die Anstiegsgeschwindigkeit des Fehlerverstärkers

206, der den CNAC ansteuert, verzögert, was aus der kombinierten effektiven Kapazität des Gates G der Durchlassvorrichtung MP0 und des Kompensationsnetzwerks 210 resultiert. Nehmen wir beispielsweise an, dass die effektive Kapazität der Steuerleitung 207 etwa 1,3 pF beträgt und der verfügbare Strom des Fehlerverstärkers 206 mit Anstiegsgeschwindigkeit  $\sim 0,5 \mu\text{A}$  ist. Nehmen wir an, dass die Spannung am Gate des Durchlassbauelements MP0 um  $\sim 1 \text{ V}$  (z. B. von 1,2 V auf 0,2 V) verschoben werden muss, um das Durchlassbauelement MP0 vollständig einzuschalten. Nach der bekannten Formel für den Strom durch einen Kondensator,  $I = C \cdot dV/dT$ , wobei I der Strom durch eine Kapazität, C die Kapazität (in diesem Fall die effektive Kapazität der Steuerleitung 207), dV die erforderliche Spannungsabweichung am Kondensator und dT die Zeitdauer der Spannungsabweichung dV ist, ist  $dT = C \cdot dV/I$ . Mit den angenommenen Werten ist  $dT = 1,3\text{pF} \cdot 1\text{V} / 0,5\mu\text{A} = 2600\text{ns}$  als Zeitdauer für die Entladung des CNAC.

**[0037]** Im Gegensatz dazu verfügt eine modellierte Version des LDO 202 über eine Schnellladungsübertragungsschaltung 220, die einen verfügbaren Strom mit einer Anstiegsrate von  $26\mu\text{A}$  durch den Spiegelstrom 226 aufweist. Mit den gleichen Annahmen für die effektive Kapazität und die Spannungsdifferenz ergibt sich  $dT = 1,3\text{pF} \cdot 1\text{V} / 26\mu\text{A} = 50\text{ns}$  für die Entladung des CNAC, was wesentlich kürzer ist als die 2600ns eines LDO ohne die schnelle Ladungsübertragungsschaltung 220, aber ansonsten ähnliche Parameterwerte aufweist.

#### NFET-basierte Ausführungsformen

**[0038]** Während die in den **Fig. 2** und **3** gezeigten Beispiele einen PFET MP0 als Durchlassvorrichtung verwenden, kann die Erfindung auch für die Verwendung mit einer NFET-Durchlassvorrichtung angepasst werden. **Fig. 4** ist beispielsweise ein Blockdiagramm und ein Teilschaltbild eines verbesserten NFET-basierten Linearreglers 402, der so konfiguriert ist, dass er einen Laststrom an eine Ladungspumpe liefert. In den meisten Aspekten ist die Gesamtschaltung des Linearreglers 402 den in den **Abb. 2** und **3** gezeigten Ausführungsformen sehr ähnlich. Das Durchlassbauelement MN0 ist jedoch ein NFET, und die Polarität des Fehlerverstärkers 406 ist im Vergleich zum Fehlerverstärker 206 der **Fig. 2** und **3** umgekehrt.

**[0039]** Eine weitere bemerkenswerte Änderung besteht darin, dass der Stromspiegel 226 aus den **Fig. 2** und **3** im Linearregler 402 von **Fig. 4** weggelassen wurde. Stattdessen ist in der Schnellladungsübertragungsschaltung 220 der Drain des P-Typ-MOSFET MP1 direkt mit der Steuerleitung 207 gekoppelt. Wenn die Transientenkopplungsschaltung 222 Ereignisse von  $V_{TRIGGER}$  an das Gate von

MP1 weiterleitet, ist die Steuerleitung 207 mit  $V_{DD}$  gekoppelt, und dementsprechend wird Ladung an das Gate des Pass-Transistors MN0 übertragen. Die Transientenkopplungsschaltung 222 ist so konfiguriert, dass sich die Knoten A und B innerhalb einer kurzen Zeit, die durch ihre RC-Zeitkonstante bestimmt wird (z. B. einige Mikrosekunden), wieder auf  $V_{DD}$  aufladen und folglich MP1 automatisch ausschalten. Da der Steuereingang (Gate) des Durchgangstransistors MN0 durch MP1 schnell aufgeladen wurde, befindet sich die Durchgangsvorrichtung MN0 in einem höheren Leitungszustand, und das PCTL-Signal des Fehlerverstärkers 206 steuert wieder das Gate G der Durchgangsvorrichtung MN0. Insgesamt wird die Reaktionszeit des Linearreglers 402 erheblich verbessert.

**[0040]** Es sollte klar sein, dass die Transientenkopplungsschaltung 222 von **Fig. 4** wie die Transientenkopplungsschaltung 222 von **Fig. 3** oder jede gleichwertig funktionierende Schaltung konfiguriert werden kann. In ähnlicher Weise kann die optionale Klemmschaltung 224 von **Fig. 4** wie die optionale Klemmschaltung 224 von **Fig. 3** oder jede andere gleichwertig funktionierende Schaltung konfiguriert werden.

#### Schaltungsausführungen

**[0041]** Es ist zu beachten, dass der geregelte Spannungsausgang des LDO 202 mit anderen und/oder unterschiedliche Schaltungen gekoppelt sein kann, die eine schnelle Entladung von CNAC auf der Steuerleitung 207 zur Durchlassvorrichtung MP0 auslösen und davon profitieren können, und dementsprechend nicht auf die Verwendung mit einer positiven Ladungspumpe 204 beschränkt ist. Während die in den **Fig. 2, 3 und 4** gezeigten Beispiele einen LDO 202 oder einen bestimmten Linearregler 402 zeigen, gilt die Erfindung allgemeiner für Linearregler. Darüber hinaus sind die in den **Fig. 2, 3 und 4** gezeigten Durchlassbauelemente MP0 und MN0 PFETs oder NFETs. Die Erfindung gilt jedoch auch für andere Arten von Durchlassbauelementen, die ähnliche Eigenschaften der akkumulierten Ladung des Steuerknotens aufweisen, einschließlich (ohne Einschränkung) bipolarer und doppelt diffundierter Metall-Oxid-Halbleiter-Transistoren (DMOS).

**[0042]** Schaltungen und Vorrichtungen gemäß der vorliegenden Erfindung können allein oder in Kombination mit anderen Komponenten, Schaltungen und Vorrichtungen verwendet werden. Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung können als integrierte Schaltungen (ICs) hergestellt werden, die in IC-Gehäusen und/oder in Modulen untergebracht werden können, um die Handhabung, Herstellung und/oder verbesserte Leistung zu erleichtern. Insbesondere IC-Ausführungen dieser Erfindung werden häufig in Modulen verwendet, in denen ein oder mehrere solcher ICs mit anderen Schaltungskomponen-

ten oder Blöcken (z. B. Filter, Verstärker, passive Komponenten und möglicherweise zusätzliche ICs) in einem Gehäuse kombiniert sind. Die ICs und/oder Module werden dann in der Regel mit anderen Komponenten kombiniert, oft auf einer Leiterplatte, um Teil eines Endprodukts wie eines Mobiltelefons, eines Laptops oder eines elektronischen Tablets zu werden, oder um ein übergeordnetes Modul zu bilden, das in einer Vielzahl von Produkten wie Fahrzeugen, Testgeräten, medizinischen Geräten usw. verwendet werden kann. Durch verschiedene Konfigurationen von Modulen und Baugruppen ermöglichen solche ICs in der Regel einen Kommunikationsmodus, häufig drahtlose HF-Kommunikation.

**[0043]** Als ein Beispiel für eine weitere Integration von Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung mit anderen Komponenten, ist **Fig. 5** eine Draufsicht auf ein Substrat 500, das z. B. eine Leiterplatte oder ein Chipmodulsubstrat (z. B. eine Dünnschichtkachel) sein kann. Im gezeigten Beispiel enthält das Substrat 500 mehrere ICs 502a-502d mit Anschlusspads 504, die durch leitende Vias und/oder Leiterbahnen auf und/oder innerhalb des Substrats 500 oder auf der gegenüberliegenden (rückwärtigen) Oberfläche des Substrats 500 miteinander verbunden sind (um Unordnung zu vermeiden, sind die oberflächenleitenden Leiterbahnen nicht dargestellt und nicht alle Anschlusspads sind beschriftet). Die ICs 502a-502d können z. B. Signalschalter, aktive Filter, Verstärker (einschließlich eines oder mehrerer LNAs) und andere Schaltungen enthalten. Als ein Beispiel kann IC 502b eine oder mehrere Instanzen eines LDO 202 oder eines linearen Reglers 402 mit einer schnellen Ladungsübertragungsschaltung 220 wie die in den **Abb. 2 und 4** gezeigten Schaltungen enthalten.

**[0044]** Das Substrat 500 kann auch eine oder mehrere passive Vorrichtungen 506 enthalten, die in das Substrat 500 eingebettet, auf ihm ausgebildet und/oder an ihm befestigt sind. Bei den passiven Bauelementen 506, die als allgemeine Rechtecke dargestellt sind, kann es sich beispielsweise um Filter, Kondensatoren, Induktivitäten, Übertragungsleitungen, Widerstände, planare Antennenelemente, Wandler (einschließlich z. B. MEMS-basierter Wandler wie Beschleunigungsmesser, Gyroskope, Mikrofone, Drucksensoren usw.), Batterien usw. handeln, die durch Leiterbahnen auf oder in dem Substrat 500 mit anderen passiven Bauelementen 506 und/oder den einzelnen ICs 502a-502d verbunden sind.

**[0045]** Die Vorder- oder Rückseite des Substrats 500 kann als Ort für die Bildung anderer Strukturen verwendet werden. So können beispielsweise eine oder mehrere Antennen auf der Vorder- oder Rückseite des Substrats 500 ausgebildet oder daran befestigt werden; ein Beispiel für eine Antenne 508 auf der Vorderseite ist dargestellt, die mit einem IC-

Chip 502b verbunden ist, der eine HF-Front-End-Schaltung enthalten kann. So kann durch die Aufnahme einer oder mehrerer Antennen auf dem Substrat 500 ein komplettes Funkgerät geschaffen werden, z. B. zur Verwendung in einem Mobiltelefon.

#### System-Aspekte

**[0046]** LDO-Schaltungen, die eine Leckstromkompensationsschaltung enthalten, sind besonders nützlich als Spannungsquellen für positive oder negative Ladungspumpen, aber auch für Anwendungen, die eine geregelte Ausgangsspannung erfordern, bei denen die Strombelastung zeitweise sehr hoch und zeitweise sehr niedrig sein kann. Ausführungsformen der Leckstromkompensationsschaltung der vorliegenden Erfindung können auch auf andere Schaltungen angewendet werden, die einen Source-Drain-Leckstrom aufweisen.

**[0047]** Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung sind auch in einer Vielzahl anderer Schaltungen und Systeme zur Durchführung einer Reihe von Funktionen nützlich. Solche Funktionen sind in einer Vielzahl von Anwendungen wie Radarsystemen (einschließlich Phased-Array- und Kfz-Radarsystemen), Funksystemen (einschließlich zellulärer Funksysteme) und Testgeräten nützlich. Die Verwendung von Funksystemen umfasst drahtlose RF-Systeme (einschließlich Basisstationen, Relaisstationen und Handfunkgeräten), die verschiedene Technologien und Protokolle verwenden, darunter verschiedene Arten von orthogonalem Frequenzmultiplexing („OFDM“), Quadraturamplitudenmodulation („QAM“), Code-Division Multiple Access („CDMA“), Time-Division Multiple Access („TDMA“), Wide Band Code Division Multiple Access („W-CDMA“), Global System for Mobile Communications („GSM“), Long Term Evolution („LTE“), 4G, 6G und WiFi (z. g., 802.11a, b, g, ac, ax, be), sowie andere Funkkommunikationsstandards und -protokolle.

#### Verfahren

**[0048]** Ein weiterer Aspekt der Erfindung umfasst Verfahren, die mit den offengelegten Schaltungsausführungen kompatibel sind. **Fig. 6** ist beispielsweise ein Prozessablaufdiagramm 600, das ein Verfahren zur Kompensation der schnellen Erkennung einer verringerten Ausgangsspannung einer positiven Ladungspumpe und zur Steuerung der Ladung an einem Steuerknoten eines linearen Reglers zeigt. Das Verfahren umfasst: Übertragen von Ladung zum oder vom Steuereingang der Durchlassvorrichtung des Linearreglers, wenn eine von der Ausgangsspannung der positiven Ladungspumpe abgeleitete Triggerspannung ausreichend unter einen bestimmten Pegel fällt [Block 602]; und automatisches Beenden der Übertragung von Ladung nach einer einstellbaren Zeitspanne [Block 604]. Es sollte

klar sein, dass dieses allgemeine Verfahren für die Verwendung mit den in dieser Offenlegung beschriebenen spezifischen Schaltungen angepasst werden kann, einschließlich Linearreglern mit PFET- oder NFET-Durchgangsbaulementen.

#### Fertigungstechnologien und Optionen

**[0049]** Der Begriff „MOSFET“, wie er in dieser Offenbarung verwendet wird, umfasst jeden Feldeffekttransistor (FET) mit einem isolierten Gate, dessen Spannung die Leitfähigkeit des Transistors bestimmt, und schließt isolierte Gates mit einer Metall- oder metallähnlichen, Isolator- und/oder Halbleiterstruktur ein. Die Begriffe „Metall“ oder „metallähnlich“ umfassen mindestens ein elektrisch leitendes Material (z. B. Aluminium, Kupfer oder ein anderes Metall oder hochdotiertes Polysilizium, Graphen oder einen anderen elektrischen Leiter), „Isolator“ umfasst mindestens ein isolierendes Material (z. B. Siliziumoxid oder ein anderes dielektrisches Material), und „Halbleiter“ umfasst mindestens ein Halbleitermaterial.

**[0050]** Im Rahmen dieser Veröffentlichung bezieht sich der Begriff „Hochfrequenz“ (HF) auf eine Schwingungsrate im Bereich von etwa 3 kHz bis etwa 300 GHz. Dieser Begriff umfasst auch die in drahtlosen Kommunikationssystemen verwendeten Frequenzen. Eine HF-Frequenz kann die Frequenz einer elektromagnetischen Welle oder einer Wechselspannung oder eines Wechselstroms in einem Schaltkreis sein.

**[0051]** Verschiedene Ausführungsformen der Erfindung können so umgesetzt werden, dass sie eine Vielzahl von Spezifikationen erfüllen. Sofern oben nicht anders angegeben, ist die Auswahl geeigneter Komponentenwerte eine Frage der Designwahl. Verschiedene Ausführungsformen der Erfindung können in jeder geeigneten integrierten Schaltung (IC) Technologie (einschließlich, aber nicht beschränkt auf MOSFET-Strukturen), oder in hybriden oder diskreten Schaltungsformen implementiert werden. Integrierte Schaltungen können mit allen geeigneten Substraten und Prozessen hergestellt werden, einschließlich, aber nicht beschränkt auf Standard-Bulk-Silizium, hochresistives Bulk-CMOS, Silizium-auf-Isolator (SOI) und Silizium-auf-Saphir (SOS). Sofern oben nicht anders angegeben, können Ausführungsformen der Erfindung in anderen Transistortechnologien wie Bipolar-, BiCMOS-, LDMOS-, BCD-, GaAs-HBT-, GaN-HEMT-, GaAs-pHEMT- und MESFET-Technologien umgesetzt werden. Ausführungsformen der Erfindung sind jedoch besonders nützlich, wenn sie mit einem SOI- oder SOS-basierenden Prozess hergestellt werden, oder wenn sie mit Prozessen mit ähnlichen Eigenschaften hergestellt werden. Die Herstellung in CMOS unter Verwendung von SOI- oder SOS-Prozessen ermöglicht Schaltungen mit geringem Stromverbrauch, der Fähigkeit,

während des Betriebs aufgrund der FET-Stapelung hohen Leistungssignalen standzuhalten, guter Linearität und Hochfrequenzbetrieb (d. h. Funkfrequenzen bis zu und über 300 GHz). Die monolithische IC-Implementierung ist besonders nützlich, da die parasitären Kapazitäten im Allgemeinen durch sorgfältiges Design niedrig gehalten werden können (oder zumindest gleichmäßig über alle Einheiten verteilt werden können, so dass sie kompensiert werden können).

**[0052]** Die Spannungspegel können angepasst und/oder die Spannungs- und/oder Logiksignalpolaritäten umgekehrt werden, je nach Spezifikation und/oder Implementierungstechnologie (z. B. NMOS, PMOS oder CMOS und Transistorbauelemente im Anreicherungs- oder Verarmungsmodus). Die Spannungs-, Strom- und Leistungsbelastbarkeit der Komponenten kann je nach Bedarf angepasst werden, z. B. durch Anpassung der Bauteilgrößen, serielles „Stapeln“ von Komponenten (insbesondere FETs), um höheren Spannungen standzuhalten, und/oder parallele Verwendung mehrerer Komponenten, um höhere Ströme zu verarbeiten. Zusätzliche Schaltungskomponenten können hinzugefügt werden, um die Fähigkeiten der offengelegten Schaltungen zu verbessern und/oder um zusätzliche Funktionen bereitzustellen, ohne die Funktionalität der offengelegten Schaltungen wesentlich zu verändern.

#### Schlussfolgerung

**[0053]** Es wurde eine Reihe von Ausführungsformen der Erfindung beschrieben. Es versteht sich, dass verschiedene Änderungen vorgenommen werden können, ohne von Geist und Umfang der Erfindung abzuweichen. Zum Beispiel können einige der oben beschriebenen Schritte unabhängig von der Reihenfolge sein und können daher in einer anderen Reihenfolge als der beschriebenen durchgeführt werden. Ferner können einige der oben beschriebenen Schritte optional sein. Verschiedene Aktivitäten, die in Bezug auf die oben genannten Methoden beschrieben sind, können wiederholt, seriell und/oder parallel ausgeführt werden.

**[0054]** Es versteht sich, dass die vorstehende Beschreibung der Veranschaulichung und nicht der Einschränkung des Umfangs der Erfindung dient, der durch den Umfang der folgenden Ansprüche definiert ist, und dass andere Ausführungsformen in den Anwendungsbereich der Ansprüche fallen. Insbesondere umfasst der Anwendungsbereich der Erfindung alle möglichen Kombinationen von einem oder mehreren der in den nachstehenden Ansprüchen aufgeführten Verfahren, Maschinen, Herstellungsverfahren oder Stoffzusammensetzungen. (Es ist zu beachten, dass die in Klammern gesetzten Bezeichnungen für die Anspruchselemente dazu dienen, die

Bezugnahme auf diese Elemente zu erleichtern, und an sich keine bestimmte erforderliche Reihenfolge oder Aufzählung von Elementen angeben; ferner können diese Bezeichnungen in abhängigen Ansprüchen als Verweise auf zusätzliche Elemente wieder verwendet werden, ohne dass dies als Beginn einer widersprüchlichen Bezeichnungsfolge angesehen wird).

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- US 17/527970 [0001]
- US 17396508 [0029]

**Patentansprüche**

1. Verbesserte Schaltung, die so konfiguriert ist, dass sie einen Laststrom für eine positive Ladungspumpe bereitstellt, mit:

(a) einem linearen Regler mit einer Durchlassvorrichtung, die einen Steuereingang umfasst; und  
(b) einer schnelle Ladungsübertragungsschaltung, die mit dem Steuereingang der Durchlassvorrichtung gekoppelt ist und so konfiguriert ist, dass sie mit einer Quelle einer Triggerspannung gekoppelt ist, die von dem Ausgang der positiven Ladungspumpe abgeleitet ist, wobei die schnelle Ladungsübertragungsschaltung so konfiguriert ist, dass sie eine Ladung zu oder von dem Steuereingang der Durchlassvorrichtung überträgt, wenn die Triggerspannung ausreichend unter einen spezifizierten Pegel fällt, um die Durchlassvorrichtung schnell in einen höheren Leitungszustand zu versetzen, und dass sie die Übertragung der Ladung nach einer einstellbaren Zeitspanne automatisch beendet.

2. Erfindung nach Anspruch 1, wobei der Linearregler ein Low-Dropout-Regler ist.

3. Erfindung nach Anspruch 1, wobei die Schnellladungsübertragungsschaltung eine mit der Quelle der Triggerspannung gekoppelte Transientenkopplungsschaltung enthält.

4. Erfindung nach Anspruch 3, wobei die Transientenkopplungsschaltung einen Hochpassfilter enthält.

5. Erfindung nach Anspruch 1, wobei die schnelle Ladungsübertragungsschaltung einen Hochpassfilter mit einem zwischen der Quelle der Triggerspannung und einem Knotenpunkt gekoppelten Kondensator und einem zwischen dem Knotenpunkt und einer Versorgungsspannung gekoppelten Widerstand aufweist.

6. Erfindung nach Anspruch 5, wobei die einstellbare Zeitspanne durch eine RC-Zeitkonstante des Hochpassfilters eingestellt wird.

7. Erfindung nach Anspruch 1, wobei der Linearregler eine Kompensationsschaltung enthält, die mit dem Steuereingang der Durchlassvorrichtung gekoppelt ist.

8. Erfindung nach Anspruch 1, wobei das Durchlassbauelement ein PFET ist und die schnelle Ladungsübertragungsschaltung umfasst:

(a) einen Hochpassfilter, der zwischen die Quelle der Triggerspannung und eine Versorgungsspannung geschaltet ist; und  
(b) einen MOSFET vom P-Typ mit einer Source, die mit der Versorgungsspannung verbunden ist, einem Gate, das mit dem Hochpassfilter verbunden ist, und

einem Drain; und

(c) einen Stromspiegel mit einem Eingang, der mit dem Drain des P-Typ-MOSFET verbunden ist, und einem Ausgang, der mit dem Steuereingang der Durchlassvorrichtung verbunden ist.

9. Erfindung nach Anspruch 8, wobei der Hochpassfilter einen Kondensator, der zwischen die Quelle der Triggerspannung und einen Knotenpunkt geschaltet ist, und einen Widerstand, der zwischen den Knotenpunkt und die Versorgungsspannung geschaltet ist, umfasst.

10. Erfindung nach Anspruch 9, wobei das Gate des P-Typ-MOSFET mit dem Knoten des Hochpassfilters gekoppelt ist.

11. Erfindung nach Anspruch 8, ferner mit einer Klemmschaltung, die mit der Versorgungsspannung gekoppelt ist und zwischen dem Hochpassfilter und dem Gate des P-Typ-MOSFET angeschlossen ist.

12. Erfindung nach Anspruch 8, wobei der Stromspiegel einen Eingangs-FET enthält, der mit dem Drain des P-Typ-MOSFET gekoppelt ist, und einen Ausgangs-FET, der mit dem Steuereingang der Durchlassvorrichtung gekoppelt ist, wobei die Gates des Eingangs-FET und des Ausgangs-FET verbunden sind.

13. Erfindung nach Anspruch 12, wobei der Eingangs-FET und der Ausgangs-FET MOSFETs vom N-Typ sind.

14. Erfindung nach Anspruch 1, wobei die Durchlassvorrichtung ein NFET ist und die schnelle Ladungsübertragungsschaltung umfasst:

(a) einen Hochpassfilter, der zwischen die Quelle der Triggerspannung und eine Versorgungsspannung geschaltet ist; und

(b) einen P-Typ-MOSFET mit einer Source, die mit der Versorgungsspannung verbunden ist, einem Gate, das mit dem Hochpassfilter verbunden ist, und einem Drain, der mit dem Steuereingang der Durchlassvorrichtung verbunden ist.

15. Erfindung nach Anspruch 14, wobei der Hochpassfilter einen Kondensator, der zwischen die Quelle der Triggerspannung und einen Knotenpunkt geschaltet ist, und einen Widerstand, der zwischen den Knotenpunkt und die Versorgungsspannung geschaltet ist, umfasst.

16. Erfindung nach Anspruch 15, wobei das Gate des P-Typ-MOSFET mit dem Knoten des Hochpassfilters gekoppelt ist.

17. Erfindung nach Anspruch 14 ferner umfassend eine Klemmschaltung, die mit der Versorgungsspannung gekoppelt ist und zwischen dem

Hochpassfilter und dem Gate des P-Typ-MOSFET angeschlossen ist.

18. Verbesserte Schaltung, die so konfiguriert ist, dass sie einen Laststrom für eine positive Ladungspumpe bereitstellt, mit:

(a) einem Low-Dropout-Regler (LDO) mit einer Durchlassvorrichtung, die einen Steuereingang umfasst; und

(b) einer schnellen Ladungsübertragungsschaltung, die mit dem Steuereingang der Durchlassvorrichtung gekoppelt ist und so konfiguriert ist, dass sie mit einer Quelle einer Triggerspannung gekoppelt ist, die von dem Ausgang der positiven Ladungspumpe abgeleitet ist, wobei die schnelle Ladungsübertragungsschaltung so konfiguriert ist, dass sie eine Ladung zu oder von dem Steuereingang der Durchlassvorrichtung überträgt, wenn die Triggerspannung ausreichend unter einen spezifizierten Pegel fällt, um die Durchlassvorrichtung schnell in einen höheren Leitungszustand zu versetzen, und dass sie die Übertragung der Ladung nach einer einstellbaren Zeitspanne automatisch beendet.

19. Erfindung nach Anspruch 18, wobei die Durchlassvorrichtung ein MOSFET vom P-Typ ist und der Steuereingang das Gate des MOSFET vom P-Typ ist.

20. Erfindung nach Anspruch 18, wobei die Durchlassvorrichtung ein MOSFET vom N-Typ ist und der Steuereingang das Gate des MOSFET vom N-Typ ist.

21. Erfindung nach Anspruch 18, wobei die Schnellladungsübertragungsschaltung eine Transientenkopplungsschaltung enthält, die mit der Quelle der Triggerspannung gekoppelt ist.

22. Erfindung nach Anspruch 21, wobei die Transientenkopplungsschaltung einen Hochpassfilter enthält.

23. Erfindung nach Anspruch 18, wobei die schnelle Ladungsübertragungsschaltung einen Hochpassfilter mit einem zwischen der Quelle der Triggerspannung und einem Knotenpunkt gekoppelten Kondensator und einem zwischen dem Knotenpunkt und einer Versorgungsspannung gekoppelten Widerstand aufweist.

24. Erfindung nach Anspruch 23, wobei die einstellbare Zeitspanne durch eine RC-Zeitkonstante des Hochpassfilters festgelegt ist.

25. Erfindung nach Anspruch 18, wobei der LDO eine Kompensationsschaltung enthält, die mit dem Steuereingang der Durchlassvorrichtung gekoppelt ist.

26. Erfindung nach Anspruch 18, wobei das Durchlassbauelement ein PFET ist und die schnelle Ladungsübertragungsschaltung umfasst:

(a) einen Hochpassfilter, der zwischen die Quelle der Triggerspannung und eine Versorgungsspannung geschaltet ist; und

(b) einen MOSFET vom P-Typ mit einer Source, die mit der Versorgungsspannung verbunden ist, einem Gate, das mit dem Hochpassfilter verbunden ist, und einem Drain; und

(c) einen Stromspiegel mit einem Eingang, der mit dem Drain des P-Typ-MOSFET verbunden ist, und einem Ausgang, der mit dem Steuereingang der Durchlassvorrichtung verbunden ist.

27. Erfindung nach Anspruch 26, wobei der Hochpassfilter einen Kondensator, der zwischen die Quelle der Triggerspannung und einen Knotenpunkt geschaltet ist, und einen Widerstand, der zwischen dem Knotenpunkt und die Versorgungsspannung geschaltet ist, umfasst.

28. Erfindung nach Anspruch 27, wobei das Gate des P-Typ-MOSFET mit dem Knoten des Hochpassfilters gekoppelt ist.

29. Erfindung nach Anspruch 26, ferner mit einer Klemmschaltung, die mit der Versorgungsspannung gekoppelt ist und zwischen dem Hochpassfilter und dem Gate des P-Typ-MOSFET angeschlossen ist.

30. Erfindung nach Anspruch 26, wobei der Stromspiegel einen Eingangs-FET, der mit dem Drain des P-Typ-MOSFET gekoppelt ist, und einen Ausgangs-FET, der mit dem Steuereingang der Durchlassvorrichtung gekoppelt ist, umfasst, wobei die Gates des Eingangs-FET und des Ausgangs-FET verbunden sind.

31. Erfindung nach Anspruch 30, wobei der Eingangs-FET und der Ausgangs-FET MOSFETs vom N-Typ sind.

32. Erfindung nach Anspruch 18, wobei die Durchlassvorrichtung ein NFET ist und die schnelle Ladungsübertragungsschaltung umfasst:

(a) einen Hochpassfilter, der zwischen die Quelle der Triggerspannung und eine Versorgungsspannung geschaltet ist; und

(b) einen P-Typ-MOSFET mit einer Source, die mit der Versorgungsspannung verbunden ist, einem Gate, das mit dem Hochpassfilter verbunden ist, und einem Drain, der mit dem Steuereingang der Durchlassvorrichtung verbunden ist.

33. Erfindung nach Anspruch 32, wobei der Hochpassfilter einen Kondensator, der zwischen die Quelle der Triggerspannung und einen Knotenpunkt geschaltet ist, und einen Widerstand, der zwi-

schen den Knotenpunkt und die Versorgungsspannung geschaltet ist, umfasst.

34. Erfindung nach Anspruch 33, wobei das Gate des P-Typ-MOSFET mit dem Knoten des Hochpassfilters gekoppelt ist.

35. Erfindung nach Anspruch 32, ferner mit einer Klemmschaltung, die mit der Versorgungsspannung gekoppelt ist und zwischen dem Hochpassfilter und dem Gate des P-Typ-MOSFET angeschlossen ist.

36. Verbesserte Schaltung, die so konfiguriert ist, dass sie einen Laststrom für eine positive Ladungspumpe bereitstellt, mit:

(a) einem Low-Dropout-Regler (LDO) mit einem PFET-Durchlassbauelement, das einen Steuereingang enthält; und

(b) einer schnellen Ladungsübertragungsschaltung, die mit dem Steuereingang der Durchlassvorrichtung gekoppelt ist und so konfiguriert ist, dass sie mit einer Quelle einer Triggerspannung gekoppelt ist, die von dem Ausgang der positiven Ladungspumpe abgeleitet ist, wobei die schnelle Ladungsübertragungsschaltung Folgendes umfasst:

(1) einen Hochpassfilter mit einem Kondensator, der zwischen die Quelle der Triggerspannung und einen Knotenpunkt geschaltet ist, und einem Widerstand, der zwischen den Knotenpunkt und eine Versorgungsspannung geschaltet ist;

(2) einen MOSFET vom P-Typ mit einer an die Versorgungsspannung gekoppelten Source, einem an den Knoten gekoppelten Gate und einem Drain; und

(3) einen Stromspiegel mit einem Eingang, der mit dem Drain des P-Typ-MOSFET verbunden ist, und einem Ausgang, der mit dem Steuereingang der Durchlassvorrichtung verbunden ist.

37. Erfindung nach Anspruch 36, wobei die schnelle Ladungstransferschaltung so konfiguriert ist, dass sie einen Ladungstransfer durch den Stromspiegel bereitstellt, der den Steuereingang auf ein Referenzpotential zieht und im Wesentlichen akkumulierte Ladung am Steuereingang entlädt, wenn die Triggerspannung ausreichend unter einen spezifizierten Pegel fällt, und dass sie automatisch aufhört, den Ladungstransfer nach einer einstellbaren Zeitdauer bereitzustellen.

38. Erfindung nach Anspruch 37, wobei die einstellbare Zeitspanne durch eine RC-Zeitkonstante des Hochpassfilters festgelegt ist.

39. Erfindung nach Anspruch 36, wobei der LDO eine Kompensationsschaltung enthält, die mit dem Steuereingang der Durchlassvorrichtung gekoppelt ist.

40. Erfindung nach Anspruch 36, ferner mit einer Klemmschaltung, die mit der Versorgungsspannung

gekoppelt ist und zwischen dem Knoten des Hochpassfilters und dem Gate des P-Typ-MOSFET angeschlossen ist.

41. Erfindung nach Anspruch 36, wobei der Stromspiegel einen Eingangs-FET enthält, der mit dem Drain des P-Typ-MOSFET gekoppelt ist, und einen Ausgangs-FET, der mit dem Steuereingang der Durchlassvorrichtung gekoppelt ist, wobei die Gates des Eingangs-FET und des Ausgangs-FET verbunden sind.

42. Erfindung nach Anspruch 41, wobei der Eingangs-FET und der Ausgangs-FET MOSFETs vom N-Typ sind.

43. Verbesserte Schaltung, die so konfiguriert ist, dass sie einen Laststrom für eine positive Ladungspumpe bereitstellt, mit:

(a) einem linearen Regler mit einer NFET-Durchlassvorrichtung, die einen Steuereingang umfasst; und

(b) einer schnellen Ladungsübertragungsschaltung, die mit dem Steuereingang der Durchlassvorrichtung gekoppelt ist und so konfiguriert ist, dass sie mit einer Quelle einer Triggerspannung gekoppelt ist, die von dem Ausgang der positiven Ladungspumpe abgeleitet ist, wobei die schnelle Ladungsübertragungsschaltung Folgendes umfasst:

(1) einen Hochpassfilter mit einem Kondensator, der zwischen die Quelle der Triggerspannung und einen Knotenpunkt geschaltet ist, und einem Widerstand, der zwischen den Knotenpunkt und eine Versorgungsspannung geschaltet ist;

(2) einen P-Typ-MOSFET mit einer Source, die mit der Versorgungsspannung verbunden ist, einem Gate, das mit dem Knotenpunkt verbunden ist, und einem Drain, der mit dem Steuereingang der Durchlassvorrichtung verbunden ist.

44. Erfindung nach Anspruch 43, wobei die schnelle Ladungstransferschaltung so konfiguriert ist, dass sie einen Ladungstransfer zum Steuereingang bereitstellt, wenn die Triggerspannung ausreichend unter einen spezifizierten Pegel fällt, und dass sie automatisch aufhört, den Ladungstransfer nach einer einstellbaren Zeitdauer bereitzustellen.

45. Erfindung nach Anspruch 44, wobei die einstellbare Zeitspanne durch eine RC-Zeitkonstante des Hochpassfilters festgelegt ist.

46. Erfindung nach Anspruch 43, wobei der Linearregler eine Kompensationsschaltung enthält, die mit dem Steuereingang der Durchlassvorrichtung gekoppelt ist.

47. Erfindung nach Anspruch 43, ferner einer Klemmschaltung, die mit der Versorgungsspannung gekoppelt ist und zwischen dem Knoten des Hoch-

passfilters und dem Gate des P-Typ-MOSFET angeschlossen ist.

48. Verfahren zur schnellen Erfassung einer verminderten Ausgangsspannung einer positiven Ladungspumpe und zur Steuerung der Ladung an einem Steuerknoten eines linearen Reglers, mit folgenden Schritten:

- (a) Übertragen von Ladung zum oder vom Steuerungseingang der Durchlassvorrichtung, wenn eine von der Ausgangsspannung der positiven Ladungspumpe abgeleitete Triggerspannung ausreichend unter einen bestimmten Pegel fällt; und
- (b) nach einer einstellbaren Zeitspanne automatisch aufhören, Ladung zu übertragen.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen



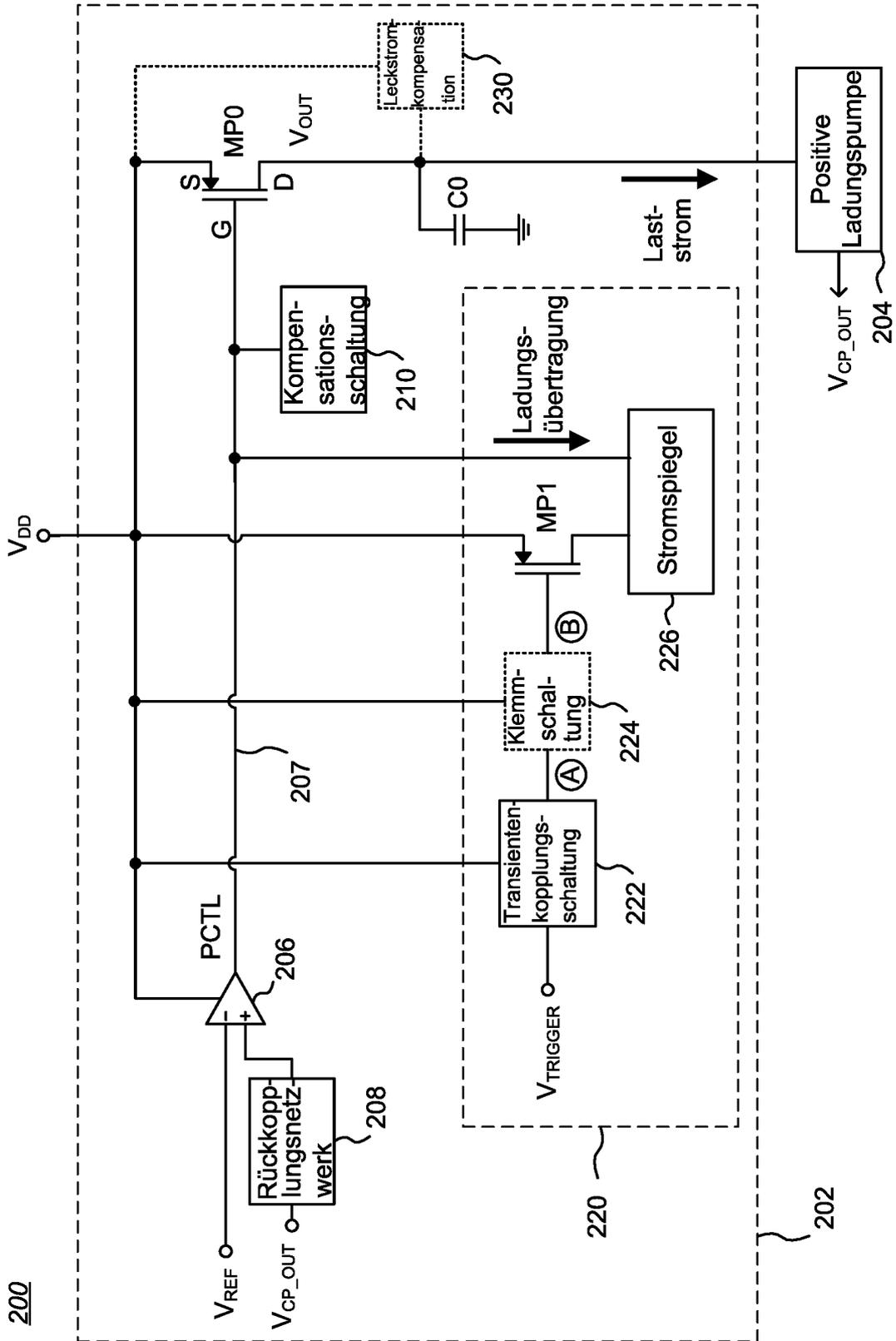


FIG. 2



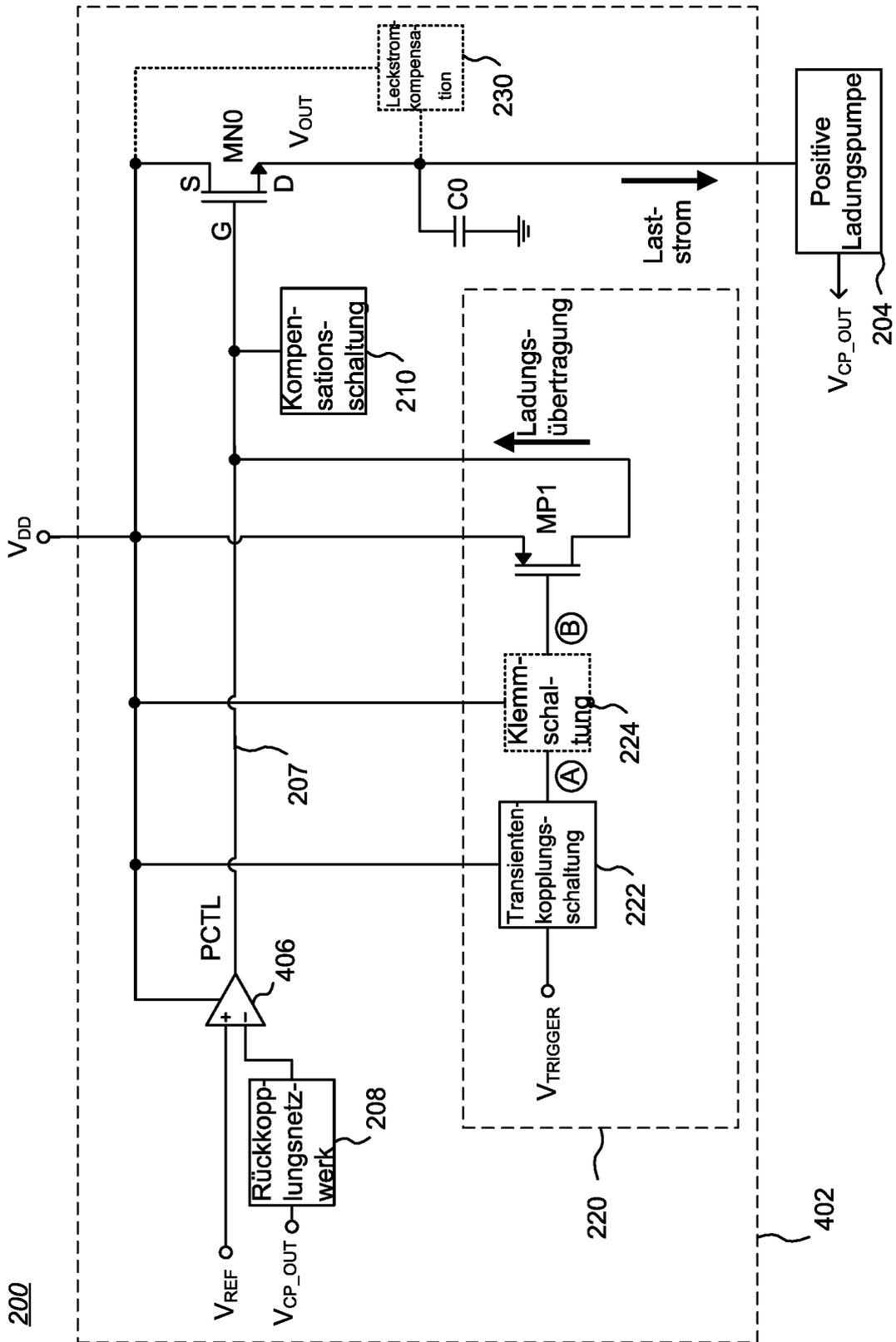


FIG. 4

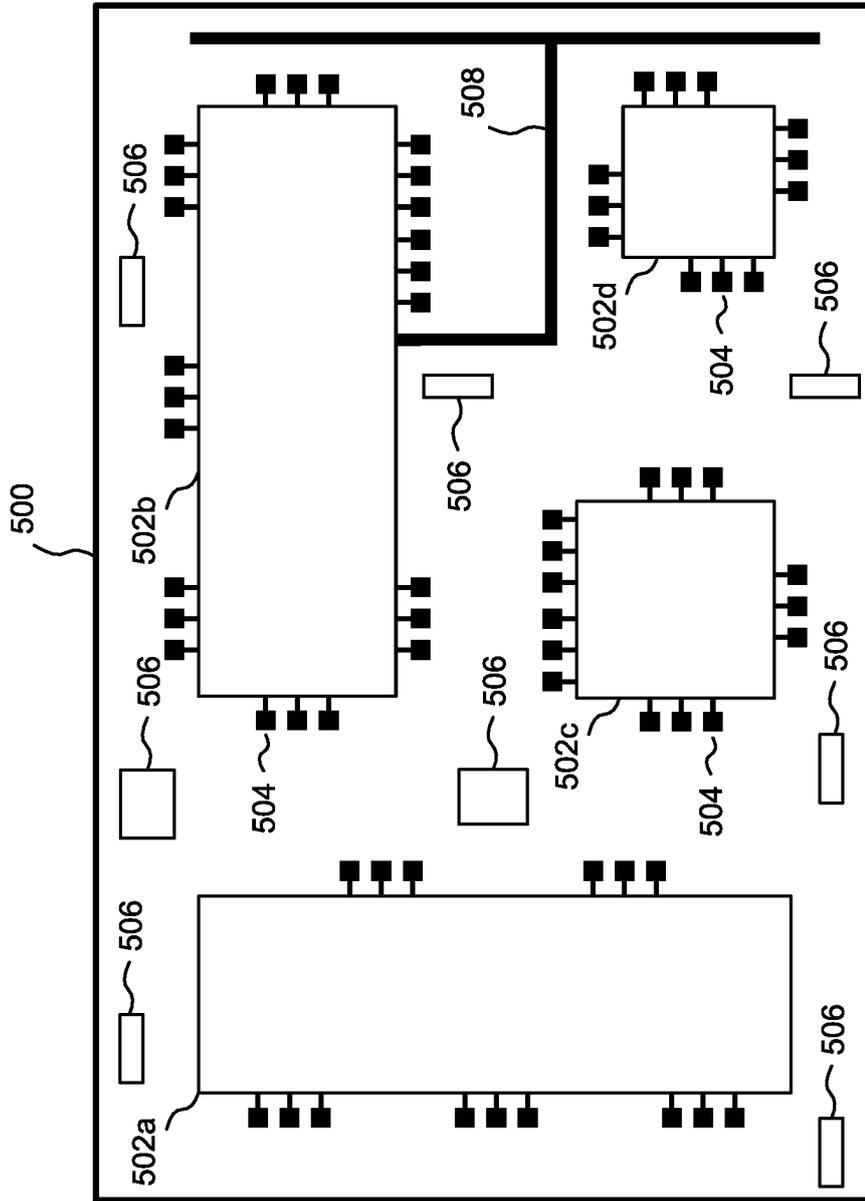
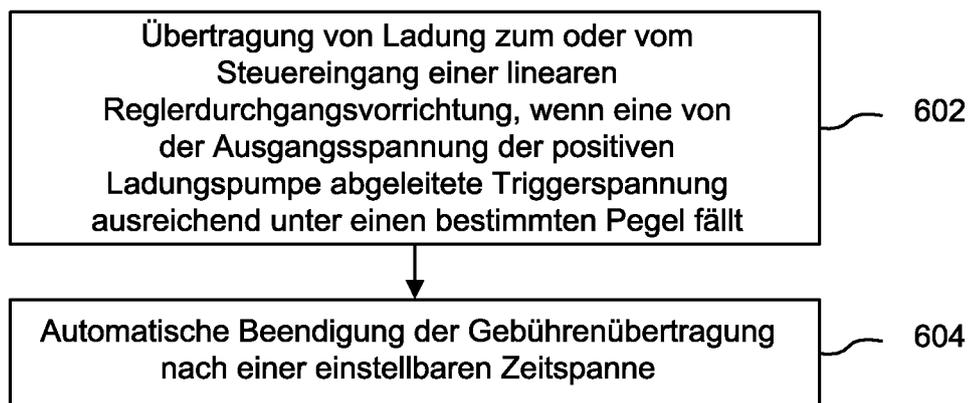


FIG. 5

600



**FIG. 6**