



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2018 009 813.4**

(22) Anmeldetag: **13.12.2018**

(43) Offenlegungstag: **05.12.2019**

(51) Int Cl.: **G05F 1/56 (2006.01)**

(30) Unionspriorität:
15/995,441 **01.06.2018** **US**

(74) Vertreter:
**Wuesthoff & Wuesthoff, Patentanwälte PartG
mbB, 81541 München, DE**

(71) Anmelder:
**Semiconductor Components Industries LLC,
Phoenix, AZ, US**

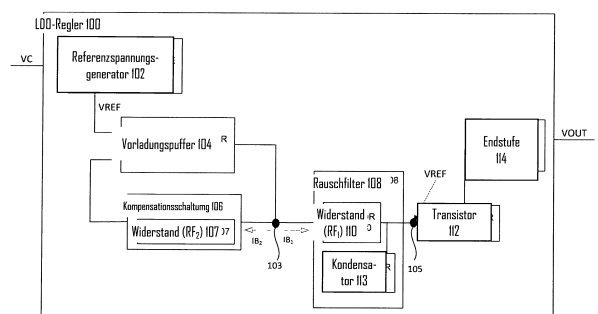
(72) Erfinder:
Kadanka, Petr, Valasska Bystrice, CZ

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Kompensation eines Eingangsstroms einer LDO Endstufe**

(57) Zusammenfassung: Nach einem Aspekt, beinhaltet ein Low-Dropout (LDO) Regler einen Vorladungspuffer, eine Endstufe, und einen Rauschfilter, der zwischen den Vorladungspuffer und die Endstufe des LDO-Reglers geschaltet ist. Der Rauschfilter weist einen ersten Widerstand auf. Der LDO-Regler beinhaltet einen Transistor, der als Eingang zur Endstufe ausgebildet ist, und eine Kompensationsschaltung, die mit einem Eingang des Vorladungspuffers verbunden ist. Die Kompensationsschaltung weist einen zweiten Widerstand auf. Die Kompensationsschaltung ist dazu ausgebildet, einen Kompensationsstrom bereitzustellen, der einen ersten Spannungsabfall am zweiten Widerstand erzeugt, wobei der erste Spannungsabfall einen zweiten Spannungsabfall kompensiert, der am ersten Widerstand durch einen Eingangsstrom des Transistors erzeugt wird.



Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die vorliegende Beschreibung bezieht sich auf die Kompensation eines Eingangsstroms einer Endstufe in einem Low-Dropout (LDO) Regler.

Hintergrund

[0002] Ein LDO-Regler ist ein linearer Gleichstrom (DC)-Spannungsregler, der die Ausgangsspannung selbst dann regelt, wenn die Versorgungsspannung nahe der Ausgangsspannung liegt. Bei einigen LDO-Reglern kann die Ausgangsspannung durch Spannungsabfälle an im LDO-Regler enthaltenen Komponenten unerwünscht beeinflusst werden.

Übersicht

[0003] Nach einem Aspekt, beinhaltet ein Low-Dropout (LDO) Regler einen Vorladungspuffer, eine Endstufe, und einen Rauschfilter, der zwischen den Vorladungspuffer und die Endstufe des LDO-Reglers geschaltet ist. Der Rauschfilter weist einen ersten Widerstand auf. Der LDO-Regler beinhaltet einen Transistor, der als Eingang zu der Endstufe ausgebildet ist, und eine Kompensationsschaltung, die mit einem Eingang des Vorladungspuffers verbunden ist. Die Kompensationsschaltung weist einen zweiten Widerstand auf. Die Kompensationsschaltung ist dazu ausgebildet, einen Kompensationsstrom bereitzustellen, der einen ersten Spannungsabfall am zweiten Widerstand erzeugt, wobei der erste Spannungsabfall einen zweiten Spannungsabfall kompensiert, der am ersten Widerstand durch einen Eingangsstrom des Transistors erzeugt wird.

[0004] Nach einigen Aspekten kann der LDO-Regler eines oder mehrere der folgenden Merkmale (oder eine beliebige Kombination davon) beinhalten. Der Transistor ist ein Bipolartransistor (BJT). Der Kompensationsstrom entspricht dem Eingangsstrom des Transistors. Der zweite Widerstand hat einen Widerstandswert, der gleich einem Widerstandswert des ersten Widerstands ist. Der Eingang des Vorladungspuffers ist ein erster Eingang, und der Vorladungspuffer weist einen zweiten Eingang auf, der zum Aufnehmen einer Referenzspannung ausgebildet ist. Die Kompensationsschaltung weist einen Transistor auf, der mit dem zweiten Widerstand verbunden ist, wobei der Kompensationsstrom ein Eingangsstrom des Transistors der Kompensationsschaltung ist. Der Transistor der Kompensationsschaltung ist ein Bipolartransistor (BJT). Der erste Spannungsabfall entspricht dem zweiten Spannungsabfall. Die Endstufe weist einen Spannungsverstärker mit einem Eingang auf, und der Eingang des Spannungsverstärkers ist mit dem Transistor verbunden.

[0005] Nach einem Aspekt beinhaltet ein LDO-Regler einen Referenzspannungsgenerator, der dazu ausgebildet ist, eine Referenzspannung zu erzeugen, und einen Vorladungspuffer mit einem ersten Eingang und einem zweiten Eingang, wobei der erste Eingang dazu ausgebildet ist, die Referenzspannung aufzunehmen. Der LDO-Regler beinhaltet eine Endstufe und einen Rauschfilter, der zwischen den Vorladungspuffer und die Endstufe des LDO-Reglers geschaltet ist. Der Rauschfilter beinhaltet einen ersten Widerstand und einen Kondensator. Der LDO-Regler beinhaltet einen Transistor, der als Eingang zu der Endstufe ausgebildet ist, und eine Kompensationsschaltung, die mit dem zweiten Eingang des Vorladungspuffers verbunden ist. Die Kompensationsschaltung beinhaltet einen zweiten Widerstand. Die Kompensationsschaltung ist dazu ausgebildet, einen Kompensationsstrom bereitzustellen, der einen ersten Spannungsabfall am zweiten Widerstand erzeugt, wobei der erste Spannungsabfall einen zweiten Spannungsabfall kompensiert, der am ersten Widerstand durch einen Eingangsstrom des Transistors erzeugt wird. Die Endstufe ist dazu ausgebildet, eine Ausgangsspannung zu erzeugen, die im Wesentlichen gleich der Referenzspannung ist.

[0006] Nach einigen Aspekten, kann der LDO-Regler eines oder mehrere der folgenden Merkmale (oder eine beliebige Kombination davon) beinhalten. Der Transistor ist ein Bipolartransistor (BJT). Der Kompensationsstrom entspricht dem Eingangsstrom des Transistors, und der zweite Widerstand hat einen Widerstandswert, der gleich einem Widerstandswert des ersten Widerstands ist. Die Kompensationsschaltung beinhaltet einen Transistor und einen Stromspiegel. Der Stromspiegel ist dazu ausgebildet, den Eingangsstrom des Transistors zu spiegeln und den gespiegelten Eingangsstrom als Eingangsstrom des Transistors der Kompensationsschaltung bereitzustellen, wobei der Eingangsstrom des Transistors der Kompensationsschaltung der Kompensationsstrom ist. Die Endstufe beinhaltet einen Spannungsverstärker und einen Transistor. Der LDO-Regler beinhaltet einen ersten Schalter, der mit dem ersten Widerstand verbunden ist, einen zweiten Schalter, der mit dem zweiten Widerstand verbunden ist, und einen Vorlade-Timer, der dazu ausgebildet ist, ein Öffnen und ein Schließen des ersten Schalters und des zweiten Schalters als Reaktion auf ein Freigabesignal zu steuern. Der erste Spannungsabfall entspricht dem zweiten Spannungsabfall. Der LDO-Regler beinhaltet einen Transistor, der mit einem Ausgang des Vorladungspuffers verbunden ist, wobei der Transistor mit einem Knoten verbunden ist, der zwischen dem ersten Widerstand und dem zweiten Widerstand angeordnet ist. Die Kompensationsschaltung beinhaltet einen mit dem zweiten Widerstand verbundenen Transistor, wobei der Kompensationsstrom ein Eingangsstrom des Transistors der Kompensationsschaltung ist.

[0007] Nach einem Aspekt, beinhaltet ein Verfahren zum Verbessern der Leistung eines Low-Dropout (LDO) Reglers das Herausfiltern von Rauschen aus einer Referenzspannung unter Verwendung eines Rauschfilters, der zwischen einen Vorladungspuffer und eine Endstufe des LDO-Reglers geschaltet ist, wobei der Rauschfilter einen ersten Widerstand aufweist und ein Eingang des Vorladungspuffers mit einem Transistor verbunden ist, Bereitstellen eines Kompensationsstroms durch eine Kompensationsschaltung mit einem zweiten Widerstand, um einen ersten Spannungsabfall am zweiten Widerstand zu erzeugen, wobei der erste Spannungsabfall einen zweiten Spannungsabfall kompensiert, der am ersten Widerstand durch einen Eingangsstrom des Transistors erzeugt wird, und Erzeugen einer Ausgangsspannung in Abhängigkeit von der Referenzspannung.

[0008] Die Details einer oder mehrerer Implementierungen sind in den beigefügten Zeichnungen und der nachfolgenden Beschreibung enthalten. Weitere Merkmale ergeben sich aus der Beschreibung und den Zeichnungen sowie aus den Ansprüchen.

Figurenliste

Fig. 1 stellt einen LDO-Regler mit einer Kompensationsschaltung dar, die dazu ausgebildet ist, einen Eingangsstrom eines Transistors, der als Eingang zu einer Endstufe ausgebildet ist, nach einem Aspekt zu kompensieren.

Fig. 2A stellt einen LDO-Regler mit einer Kompensationsschaltung nach einem anderen Aspekt dar.

Fig. 2B stellt den LDO-Regler der **Fig. 2A** nach einem Aspekt dar.

Fig. 3 stellt ein Diagramm dar, das die Ergebnisse eines Temperaturverlaufs einer Monte-Carlo-Simulation nach einem Aspekt zeigt.

Fig. 4 stellt ein Diagramm dar, das ein Rauschspektrum eines LDO-Reglers gemäß einem Aspekt zeigt.

Fig. 5 stellt ein Ablaufdiagramm dar, das exemplarische Operationen eines LDO-Reglers nach einem Aspekt zeigt.

Ausführliche Beschreibung

[0009] Die vorliegende Offenbarung bezieht sich auf einen LDO-Regler mit einer Kompensationsschaltung, die dazu ausgebildet ist, beispielsweise einen durch den Eingangsstrom eines Bipolartransistors (BJT) einer Endstufe des LDO-Reglers verursachten Spannungsabfall eines Rauschfilters dadurch zu kompensieren, dass ein gleich großer Spannungsabfall am Eingang eines Vorladungspuffers des LDO-Reglers vorgesehen wird. Bei einigen Beispielen ist

die Kompensationsschaltung, im Gegensatz zu manchen herkömmlichen Ansätzen, so ausgebildet, dass sie den Einfluss des Eingangsstroms des BJT-Eingangs der Endstufe kompensiert, selbst wenn der BJT-Eingang der Endstufe nur wenige mV unter der Versorgungsspannung liegt. Die Konfiguration der Kompensationsschaltung kann einen hochohmigen Widerstand im Rauschfilter zulassen, was das Rauschverhalten des LDO-Reglers verbessern kann.

[0010] **Fig. 1** stellt einen LDO-Regler **100** mit einer Kompensationsschaltung **106** dar, die dazu ausgebildet ist, einen Eingangsstrom IB_1 eines Transistors **112**, der als Eingang zu einer Endstufe **114** ausgebildet ist, gemäß einem Aspekt zu kompensieren. Die Kompensationsschaltung **106** ist dazu ausgebildet, einen Kompensationsstrom IB_2 zu erzeugen, der den Eingangsstrom IB_1 kompensiert und dadurch das Rauschverhalten des LDO-Reglers **100** verbessert. Bei einigen Beispielen ist der Kompensationsstrom IB_2 gleich dem Eingangsstrom IB_1 . Bei einigen Beispielen ist der Kompensationsstrom IB_2 gleich dem Eingangsstrom IB_1 unter den meisten (oder allen) Bedingungen, wie z.B. unterschiedlichen Temperaturen, während der Inbetriebnahme, usw. Bei einigen Beispielen wird der Eingangsstrom IB_1 nicht eliminiert, sondern durch den Kompensationsstrom IB_2 kompensiert.

[0011] Der LDO-Regler **100** ist dazu ausgebildet, um aus einer Versorgungsspannung VC eine Ausgangsspannung $VOUT$ zu erzeugen und aufrechtzuerhalten. Der LDO-Regler **100** beinhaltet auch einen Referenzspannungsgenerator **102**, der dazu ausgebildet ist, eine Referenzspannung $VREF$ zu erzeugen, einen Vorladungspuffer **104** und einen Rauschfilter **108**. Die Referenzspannung $VREF$ kann gleich der Ausgangsspannung $VOUT$ sein. Zum Beispiel bestimmt der Pegel der Referenzspannung $VREF$ den Pegel der Ausgangsspannung $VOUT$.

[0012] Der Vorladungspuffer **104** kann ein Spannungsfolger mit einem ersten Eingang sein, der dazu ausgebildet ist, die Referenzspannung $VREF$ vom Referenzspannungsgenerator **102** aufzunehmen, und einem zweiten Eingang, der mit der Kompensationsschaltung **106** verbunden ist, die die Ausgangsleistung des Vorladungspuffers **104** aufnimmt. Bei einigen Beispielen ist der zweite Eingang (der mit der Kompensationsschaltung **106** verbunden ist) ein invertierender Eingang des Vorladungspuffers **104**. Der Ausgang des Vorladungspuffers **104** ist über die Kompensationsschaltung **106** mit dem zweiten Eingang des Vorladungspuffers **104** verbunden. Zum Beispiel ist der Ausgang des Vorladungspuffers **104** mit einem Knoten **103** verbunden, und die Kompensationsschaltung **106** ist innerhalb des Schaltungspfad zwischen dem Knoten **103** und dem zweiten Eingang des Vorladungspuffers angeordnet.

[0013] Der Rauschfilter **108** ist zwischen den Vorladungspuffer **104** und die Endstufe **114** geschaltet. Der Rauschfilter **108** ist beispielsweise mit dem Knoten **103** und dem als Eingang zu der Endstufe **114** ausgebildeten Transistor **112** verbunden und zwischen diesen angeordnet. Der Rauschfilter **108** kann das Rauschen in der Referenzspannung V_{REF} reduzieren oder es daraus entfernen. Der Rauschfilter **108** kann einen Widerstand (RF_1) **110** und einen Kondensator **113** beinhalten.

[0014] Der Transistor **112** ist als Eingang zu der Endstufe **114** ausgebildet. Bei einigen Beispielen ist der Transistor **112** ein BJT. Bei einigen Beispielen ist der Transistor **112** ein NPN BJT. Bei einigen Beispielen sind die Basis des Transistors **112** mit dem Ausgang des Rauschfilters **108** und der Kollektor des Transistors **112** mit der Endstufe **114** verbunden. Bei einigen Beispielen beinhaltet die Endstufe **114** einen Verstärker oder einen Puffer und/oder einen oder mehrere Transistoren (z.B. MOSFET, FET, etc.).

[0015] Der Eingangsstrom IB_1 des Transistors **112** fließt durch den Widerstand (RF_1) **110** des Rauschfilters **108**. Der Gleichspannungsabfall am Widerstand (RF_1) **110** des Rauschfilters **108** (z.B. zwischen dem Knoten **103** und einem Knoten **105**) kann die Referenzspannung V_{REF} und damit die Ausgangsspannung V_{OUT} des LDO-Reglers **100** beeinflussen. Beispielsweise sollte die Spannung am Knoten **105** die Referenzspannung V_{REF} sein. Der Spannungsabfall am Widerstand (RF_1) **110** kann jedoch die Leistung des LDO-Reglers **100** negativ beeinflussen, da die Spannung am Knoten **105** von der Referenzspannung V_{REF} abweichen kann. Bei einigen herkömmlichen Ansätzen kann der LDO-Regler **100** versuchen, den Eingangsstrom IB_1 des Transistors **112** zu eliminieren, bei diesen herkömmlichen Ansätzen kann jedoch die Ausgangsspannung V_{OUT} abweichen von der Referenzspannung V_{REF} für Spannungen V_{REF} , die sich der Versorgungsspannung annähern, wodurch die Leistung des LDO-Reglers **100** beeinträchtigt wird.

[0016] Die Kompensationsschaltung **106** ist jedoch dazu ausgebildet, den Spannungsabfall am Widerstand (RF_1) **110** des Rauschfilters **108** zu kompensieren, indem sie einen ebensolchen Spannungsabfall auf der Rückkopplungsschleife des Vorladungspuffers **104** erzeugt, welcher den Spannungsabfall am Widerstand (RF_1) **110** kompensiert. Beispielsweise kann die Kompensationsschaltung **106** einen Widerstand (RF_2) **107** beinhalten. Der Wert des Widerstands (RF_2) **107** kann gleich dem Wert des Widerstands (RF_1) **110** sein. Die Kompensationsschaltung **106** ist dazu ausgebildet, den Strom IB_2 (der dem Strom IB_1 entspricht) zu erzeugen, welcher einen ebensolchen Spannungsabfall auf dem Rückkopplungspfad des Vorladungspuffer **104** liefert, um den Spannungsabfall am Widerstand (RF_1) **110** des

Rauschfilters **108** zu kompensieren. Beispielsweise ist die Kompensationsschaltung **106** dazu ausgebildet, einen Spannungsabfall $IB_2 \cdot RF_2$ zu liefern, der den Spannungsabfall $IB_1 \cdot RF_1$ kompensiert, um die Referenzspannung V_{REF} an der Basis des Transistors **112** oder des Knotens **105** bereitzustellen.

[0017] Die Fig. **2A** und **2B** stellen einen LDO-Regler **200** gemäß einem anderen Aspekt dar. Fig. **2B** stellt eine vereinfachte Ansicht des LDO-Reglers **200** aus Fig. **2A** dar. Der LDO-Regler **200** kann ein Beispiel des LDO-Reglers **100** der Fig. **1** sein und kann jedes beliebige der in Bezug auf Fig. **1** beschriebenen Merkmale beinhalten. Der LDO-Regler **200** beinhaltet einen Referenzspannungsgenerator **202**, einen Vorladungspuffer **204** und eine Endstufe **214** mit einem Spannungsverstärker **244** und einem Transistor **246**. Der Transistor **246** kann ein P-Kanal-Transistor sein. Der Referenzspannungsgenerator **202** kann ein Beispiel des Referenzspannungsgenerators **102** der Fig. **1** sein. Der Vorladungspuffer **204** kann ein Beispiel des Vorladungspuffers **104** der Fig. **1** sein. Die Endstufe **214** kann ein Beispiel der Endstufe **114** der Fig. **1** sein.

[0018] Der LDO-Regler **200** beinhaltet einen Transistor **212**, der als Eingang zur Endstufe **214** ausgebildet ist. Der Transistor **212** kann ein Beispiel des Transistors **112** aus Fig. **1** sein. Bei einigen Beispielen ist der Transistor **212** ein BJT. Bei einigen Beispielen ist der Transistor **212** ein NPN BJT. Der LDO-Regler **200** beinhaltet einen Widerstand **210** und einen Kondensator **213**, die zusammen einen Rauschfilter bilden (z.B. den Rauschfilter **108** der Fig. **1**).

[0019] Der LDO-Regler **200** beinhaltet einen Widerstand **207**, einen Transistor **226**, einen Transistor **228**, einen Stromspiegel **255**, einen Widerstand **220** und einen Widerstand **222**, die zusammen eine Kompensationsschaltung bilden (z.B. die Kompensationsschaltung **106** der Fig. **1**). Der Stromspiegel **255** beinhaltet einen Transistor **254**, einen Transistor **256**, einen Transistor **258**, einen Transistor **260**, einen Transistor **262** und einen Transistor **264**. Bei einigen Beispielen ist der Transistor **226** ein NPN BJT. Bei einigen Beispielen ist der Transistor **228** ein NPN BJT. Der Widerstand **207** kann ein Beispiel des Widerstands **107** der Fig. **1** sein. Bei einigen Beispielen ist der Transistor **226** ein NPN BJT. Bei einigen Beispielen ist der Transistor **228** ein NPN BJT.

[0020] Der LDO-Regler **200** beinhaltet einen Vorlade-Timer **211**, der dazu ausgebildet ist, das Öffnen und das Schließen eines ersten Schalters **230** und eines zweiten Schalters **232** als Reaktion auf eine FREIGABE-Signal zu steuern. So sind beispielsweise während eines ersten Zeitraums der erste Schalter **230** und der zweite Schalter **232** geschlossen, und während eines zweiten Zeitraums der erste Schalter **230** und der zweite Schalter **232** geöffnet, wodurch

der Widerstand **207** und der Widerstand **210** kurzgeschlossen werden.

[0021] Der Basisstrom IB_1 des Transistors **212** wird nicht eliminiert, sondern sein Einfluss wird durch den den gleichen Wert aufweisenden Strom (z.B. IB_2), der durch den mit dem Eingang des Vorladungspuffers **204** verbundenen Widerstand **207** (z.B. $Rf_2 = Rf_1$) fließt, kompensiert. Dann wird am Eingang der Endstufe **214** (z.B. an der Basis des Transistors **212**) eine korrekte Spannung ($V_{OUT}=V_{REF}$) bereitgestellt. Der Kompensationsstrom IB_2 wird erzeugt als Basisstrom des Transistors **228** (der identisch mit dem Transistor **212** ist) mit dem gleichen Strom, der von dem Transistor **254** und dem Transistor **256** bereitgestellt wird, der identisch ist mit dem Strom des Transistors **262** und des Transistors **264**. Die Kompensation kann korrekt angewendet werden, selbst wenn die Versorgungsspannung VC sehr nahe an $V_{REF}=V_{OUT}$ liegt.

[0022] Der Referenzspannungsgenerator **202** und der Vorladungspuffer **204** sind mit der Versorgungsspannung VC und der Masse GND verbunden. Der Vorladungspuffer **204** beinhaltet einen ersten Eingang, der mit dem Referenzspannungsgenerator **202** verbunden und dazu ausgebildet ist, die Referenzspannung V_{REF} vom Referenzspannungsgenerator **202** aufzunehmen, und ein zweiter Eingang ist dazu ausgebildet, die Feedbackspannung aufzunehmen, die die Referenzspannung V_{REF} ist. Die Referenzspannung V_{REF} kann gleich der Ausgangsspannung V_{OUT} am ersten Eingang und am zweiten Eingang des Vorladungspuffers **204** sein. Bei einigen Beispielen ist der zweite Eingang des Vorladungspuffers **204** mit der Basis des Transistors **228** und dem ersten Anschluss des Widerstands **207** verbunden. Der zweite Anschluss des Widerstands **207** ist mit einem Knoten **203** verbunden. Der Knoten **203** kann ein Beispiel des Knotens **103** der Fig. 1 sein.

[0023] Der Ausgang des Vorladungspuffers **204** ist mit einem Gate eines Transistors **225** verbunden. Bei einigen Beispielen ist der Transistor **225** ein P-Kanal-Transistor. Die Source des Transistors **225** ist mit der Versorgungsspannung VC verbunden, und die Drain des Transistors **225** ist mit dem Knoten **203** verbunden. Der Widerstand **210** hat einen ersten Anschluss, der mit dem Knoten **203** verbunden ist, und einen zweiten Anschluss, der mit einem Knoten **205** verbunden ist. Der Knoten **205** kann ein Beispiel des Knotens **105** der Fig. 1 sein. Der Kondensator **213** hat einen ersten Anschluss, der mit dem Knoten **205** und einen zweiten Anschluss, der mit der Masse GND verbunden ist. Der Widerstand **210** und der Kondensator **213** können als RC-Filter bezeichnet werden, der das Rauschen der Referenzspannung V_{REF} filtert.

[0024] Der Transistor **212** und ein Transistor **252** können als Eingänge zur Endstufe **214** oder als Ein-

gänge zum ersten und zweiten Eingang des Spannungsverstärkers **244** dienen. Bei einigen Beispielen ist der Transistor **252** ein NPN BJT. Die Basis des Transistors **212** ist mit dem Knoten **205** verbunden. Der Kollektor des Transistors **212** ist mit dem ersten Eingang des Spannungsverstärkers **244** und mit einem ersten Anschluss eines Widerstands **240** verbunden. Ein zweiter Anschluss des Widerstands **240** ist mit der Versorgungsspannung VC verbunden. Der Emitter des Transistors **212** ist mit dem Emitter eines Transistors **252** verbunden, und die Emitter des Transistors **212** und des Transistors **252** sind mit dem Stromspiegel **255** verbunden, so dass der Kompensationsstrom IB_2 den gleichen Wert wie der Eingangsstrom IB_1 haben kann. Der Kollektor des Transistors **252** ist mit dem zweiten Eingang des Spannungsverstärkers **244** und einem ersten Anschluss eines Widerstands **242** verbunden, und die Basis des Transistors **252** ist mit der Ausgangsspannung V_{OUT} verbunden, z.B. der Drain des Transistors **246**. Ein zweiter Anschluss des Widerstands **242** ist mit der Versorgungsspannung VC verbunden. Der Ausgang des Spannungsverstärkers **244** ist mit dem Gate des Transistors **246** verbunden. Die Source des Transistors **246** ist mit der Versorgungsspannung VC verbunden. Die Drain des Transistors **246** kann mit der Drain des Transistors **266** verbunden sein. Bei einigen Beispielen ist der Transistor **266** ein N-Kanal-Transistor. Das Gate des Transistors **266** ist mit dem Stromspiegel **255** verbunden, und die Source des Transistors **266** ist mit der Masse GND verbunden.

[0025] Wie hier besprochen, verursacht der Eingangsstrom IB_1 der Basis des Transistors **212** einen Spannungsabfall am Widerstand **210**, was dazu führen kann, dass die Referenzspannung V_{REF} nicht gleich der Ausgangsspannung V_{OUT} am Knoten **205** ist. Der LDO-Regler **200** kompensiert jedoch den Eingangsstrom IB_1 , indem er den Kompensationsstrom IB_2 bereitstellt, der einen Spannungsabfall am Widerstand **207** verursacht. Da der Kompensationsstrom IB_2 gleich dem Eingangsstrom IB_1 ist und die Werte Rf_1 und Rf_2 gleich sind, ist der Spannungsabfall am Widerstand **207** gleich dem Spannungsabfall am Widerstand **210** und führt somit zu $V_{REF}=V_{OUT}$ am Knoten **205**.

[0026] Beispielsweise können der Widerstand **220**, der Widerstand **222**, der Transistor **226** und der Transistor **228** einer ähnlichen Anordnung des Widerstands **240**, des Widerstands **242**, des Transistors **212** und des Transistors **252** auf der Eingangsseite der Endstufe **214** entsprechen. Mit anderen Worten, um den gleichen Strom wie den Eingangsstrom IB_1 am Eingang der Basis des Transistors **228** bereitzustellen, sind der Widerstand **220**, der Widerstand **222**, der Transistor **226** und der Transistor **228** in einer ähnlichen Anordnung wie der Widerstand **240**, der Widerstand **242**, der Transistor **212** und der Transis-

tor **252** auf der Eingangsseite der Endstufe **214** angeordnet.

[0027] So ist beispielsweise der Emitter des Transistors **226** mit dem Emitter des Transistors **228** verbunden, und die Emitter des Transistors **226** und des Transistors **228** sind mit dem Stromspiegel **255** verbunden. Der Kollektor des Transistors **226** ist mit einem ersten Anschluss des Widerstands **220** verbunden, und die Basis des Transistors **226** ist mit der Basis des Transistors **252** verbunden. Ein zweiter Anschluss des Widerstands **220** ist mit der Versorgungsspannung VC verbunden. Der Kollektor des Transistors **228** ist mit einem ersten Anschluss des Widerstands **222** verbunden. Ein zweiter Anschluss des Widerstands **222** ist mit der Versorgungsspannung VC verbunden. Die Basis des Transistors **228** ist mit einem ersten Anschluss des Widerstands **207** verbunden, und die Basis des Transistors **228** ist mit dem zweiten Eingang des Vorladungspuffer **204** verbunden. Der zweite Anschluss des Widerstands **207** ist mit dem Knoten **203** verbunden. Die unterschiedliche Anordnung des Transistors **226** und des Transistors **228** in Übereinstimmung mit dem Transistor **212** und dem Transistor **252** kann unter jeglichen Bedingungen identische Basisströme des Transistors **228** und des Transistors **212** gewährleisten.

[0028] Der LDO-Regler **200** beinhaltet auch einen Transistor **224**, einen Transistor **236** und einen Transistor **238** sowie einen Transistor **248**. Bei einigen Beispielen sind der Transistor **224**, der Transistor **236** und der Transistor **238** P-Kanal-Transistoren. Bei einigen Beispielen ist der Transistor **248** ein NPN BJT. Die Source des Transistors **224** ist mit der Versorgungsspannung VC verbunden, und die Drain des Transistors **224** ist mit dem ersten Anschluss des Widerstands **207** verbunden. Die Drain des Transistors **224** ist dazu ausgebildet, einen Kompensationsstrom bereitzustellen, der größer ist als der Eingangsstrom IB_1 (und IB_2 , da IB_2 gleich IB_1 ist). Der Transistor **224**, der Transistor **236** und der Transistor **238** sind in einer Stromspiegelanordnung verbunden. Die Source des Transistors **236** ist mit der Versorgungsspannung VC und die Drain des Transistors **236** mit dem Knoten **205** verbunden. Die Drain des Transistors **236** ist dazu ausgebildet, einen Kompensationsstrom bereitzustellen, der größer ist als der Eingangsstrom IB_1 (und IB_2 , da IB_2 gleich IB_1 ist). Die Source des Transistors **238** ist mit der Versorgungsspannung VC verbunden, und die Drain des Transistors **238** ist mit der Basis des Transistors **248** verbunden. Die Basis des Transistors **248** ist mit dem Transistor **238** verbunden, und die Basis des Transistors **248** ist dazu ausgebildet, einen Strom aufzunehmen, der dem Eingangsstrom IB_1 entspricht. Der Kollektor des Transistors **248** ist mit der Versorgungsspannung VC verbunden und der Emitter des Transistors **248** ist mit dem Stromspiegel **255** verbunden.

[0029] Es wird darauf hingewiesen, dass die Spannung an der Drain des Transistors **225** (z.B. am Knoten **203**) um $IB_1 \cdot RF_1$ höher sein kann als $V_{REF} = V_{OUT}$, was bei Verwendung von Low-Beta-Transistoren problematisch sein kann, und der Spannungsabfall $IB_1 \cdot RF_1$ kann die Leistung des LDO-Reglers **200** negativ beeinflussen (z.B. kann $IB_1 \cdot RF_1$ höher sein als der Dropout). Die Kompensationsströme (die Drainströme des Transistors **236** und des Transistors **224**) werden jedoch aus dem Basisstrom des Transistors **248** abgeleitet (wobei die Ströme identisch zu den Basisströmen des Transistors **228** und des Transistors **212** sind). Die Kompensationsströme können höher sein als IB_1 . Dann ist die Spannung an der Drain des Transistors **225** niedriger als $V_{REF} = V_{OUT}$. Dies ist kein Problem, da zwischen der Drain des Transistors **225** und der Masse GND genügend Platz vorhanden ist. Bei einigen Beispielen ist nicht erforderlich, dass die Drainströme des Transistors **224** und des Transistors **236** mit dem Drainstrom des Transistors **238** identisch sein müssen. Der Drainstrom des Transistors **224** ist jedoch gleich dem Drainstrom des Transistors **236**, der durch eine Anpassung des Transistors **236** und des Transistors **224** und durch den gleichen Zustand (Spannung) an den Drains des Transistors **224** und des Transistors **236** aufrechterhalten wird.

[0030] Fig. 3 stellt ein Diagramm **300** dar, das die Ergebnisse eines Temperaturverlaufs einer Monte-Carlo-Simulation nach einem Aspekt zeigt. Das Diagramm **300** stellt die Änderung des Verhältnisses der Spannung am Eingang des Vorladungspuffers **204** und der Spannung an der Basis des Transistors **212** in Bezug auf die steigende Temperatur dar, was zeigt, dass die Diskrepanz zwischen der Spannung am Eingang des Vorladungspuffers **204** und der Spannung an der Basis des Transistors **212** relativ klein ist. Fig. 4 stellt ein Diagramm **400** dar, das ein Rauschspektrum des LDO-Reglers **200** gemäß einem Aspekt zeigt. Wie in Fig. 4 zu sehen ist, ist das Rauschverhalten des LDO-Reglers **200** relativ gering.

[0031] Fig. 5 stellt ein Ablaufdiagramm **500** dar, das exemplarische Operationen eines LDO-Reglers nach einem Aspekt zeigt. Obwohl das Ablaufdiagramm **500** der Fig. 5 Operationen in sequentieller Reihenfolge veranschaulicht, versteht es sich, dass es sich hierbei lediglich um ein Beispiel handelt und dass zusätzliche oder alternative Operationen einbezogen werden können. Weiterhin können die Operationen der Fig. 5 und zugehörige Operationen in einer anderen Reihenfolge als der dargestellten, oder parallel oder überlappend ausgeführt werden. Die Operationen der Fig. 5 können von jedem der hier beschriebenen LDO-Regulierer ausgeführt werden.

[0032] Die Operation **502** beinhaltet das Herausfiltern von Rauschen aus einer Referenzspannung un-

ter Verwendung eines Rauschfilters, der zwischen einen Vorladungspuffer und eine Endstufe des LDO-Reglers geschaltet ist, wobei der Rauschfilter einen ersten Widerstand aufweist und ein Eingang des Vorladungspuffers mit einem Transistor verbunden ist.

[0033] Die Operation **504** beinhaltet das Bereitstellen eines Kompensationsstroms durch eine Kompensationsschaltung mit einem zweiten Widerstand, um einen ersten Spannungsabfall am zweiten Widerstand zu erzeugen, wobei der erste Spannungsabfall einen zweiten Spannungsabfall kompensiert, der durch einen Eingangsstrom des Transistors am ersten Widerstand erzeugt wird.

[0034] Die Operation **506** beinhaltet das Erzeugen einer Ausgangsspannung in Abhängigkeit von der Referenzspannung.

[0035] Es versteht sich, dass in der vorstehenden Beschreibung, wenn ein Element als mit dem anderen Element verbunden, elektrisch verbunden, gekoppelt, oder elektrisch gekoppelt bezeichnet wird, es direkt mit dem anderen Element verbunden oder mit diesem gekoppelt sein kann, oder ein oder mehrere dazwischenliegende Elemente vorhanden sein können. Im Gegensatz dazu, wenn ein Element als direkt mit einem anderen Element verbunden oder direkt mit diesem gekoppelt bezeichnet wird, so sind keine dazwischenliegenden Elemente vorhanden. Obwohl die Begriffe direkt verbunden oder direkt gekoppelt möglicherweise nicht in der gesamten ausführlichen Beschreibung verwendet werden, können Elemente, die als direkt verbunden oder direkt gekoppelt dargestellt werden, als solche bezeichnet werden. Die Ansprüche der Anmeldung, falls vorhanden, können abgeändert werden, um exemplarische Beziehungen wiederzugeben, die in der Beschreibung beschrieben oder in den Figuren dargestellt sind. Implementierungen der verschiedenen hier beschriebenen Techniken können in digitalen elektronischen Schaltungen oder in Computerhardware, Firmware, Software oder in Kombinationen davon implementiert (z.B. darin einbezogen) werden. Teile von Verfahren können auch von einer speziellen Logikschaltung, z.B. einer FPGA [field programmable gate array (vor Ort programmierbaren (Logik-)Gatter-Anordnung)] oder einer ASIC [application specific integrated circuit (anwendungsspezifischen integrierten Schaltung)] durchgeführt werden, und eine Vorrichtung kann als solche implementiert werden.

[0036] Einige Implementierungen können unter Verwendung verschiedener Halbleiterherstellungs- und/oder Packagingtechniken ausgeführt werden. Einige Implementierungen können unter Verwendung verschiedener Arten von Halbleiterherstellungstechniken ausgeführt werden, die mit Halbleitersubstraten, einschließlich, aber nicht beschränkt auf, beispielsweise Silizium (Si), Galliumarsenid (GaAs), Gallium-

nitrid (GaN), Siliziumkarbid (SiC) und/oder so weiter verbunden sind.

[0037] Gemäß einem Aspekt umfasst ein Low-Dropout (LDO) Regler einen Vorladungspuffer, eine Endstufe und einen Rauschfilter, der zwischen den Vorladungspuffer und die Endstufe des LDO-Reglers geschaltet ist. Der Rauschfilter beinhaltet einen ersten Widerstand. Der LDO-Regler beinhaltet einen Transistor, der als Eingang zur Endstufe ausgebildet ist, und eine Kompensationsschaltung, die mit einem Eingang des Vorladungspuffers verbunden ist. Die Kompensationsschaltung beinhaltet einen zweiten Widerstand. Die Kompensationsschaltung ist dazu ausgebildet, einen Kompensationsstrom bereitzustellen, der einen ersten Spannungsabfall am zweiten Widerstand erzeugt, wobei der erste Spannungsabfall einen zweiten Spannungsabfall am ersten Widerstand kompensiert, der durch einen Eingangsstrom des Transistors erzeugt wird.

[0038] Nach einigen Aspekten ist der Kompensationsstrom gleich dem Eingangsstrom des Transistors, und der zweite Widerstand hat einen Widerstandswert, der gleich einem Widerstandswert des ersten Widerstands ist. Der Transistor ist ein Bipolartransistor (BJT), und der Eingang des Vorladungspuffers ist ein erster Eingang, und der Vorladungspuffer beinhaltet einen zweiten Eingang, der zum Aufnehmen einer Referenzspannung ausgebildet ist. Die Kompensationsschaltung beinhaltet einen mit dem zweiten Widerstand verbundenen Transistor, und der Kompensationsstrom ist ein Eingangsstrom des Transistors der Kompensationsschaltung.

[0039] Nach einem Aspekt umfasst ein LDO-Regler einen Referenzspannungsgenerator, der dazu ausgebildet ist, eine Referenzspannung zu erzeugen, einen Vorladungspuffer mit einem ersten Eingang und einem zweiten Eingang, und der erste Eingang ist dazu ausgebildet, die Referenzspannung aufzunehmen, eine Endstufe, einen zwischen den Vorladungspuffer und die Endstufe des LDO-Reglers geschalteten Rauschfilter, wobei der Rauschfilter einen ersten Widerstand und einen Kondensator beinhaltet, einen als Eingang zur Endstufe ausgebildeten Transistor, und eine mit dem zweiten Eingang des Vorladungspuffer verbundene Kompensationsschaltung. Die Kompensationsschaltung beinhaltet einen zweiten Widerstand. Die Kompensationsschaltung ist dazu ausgebildet, einen Kompensationsstrom bereitzustellen, der einen ersten Spannungsabfall am zweiten Widerstand erzeugt, wobei der erste Spannungsabfall einen zweiten Spannungsabfall kompensiert, der am ersten Widerstand durch einen Eingangsstrom des Transistors erzeugt wird, und die Endstufe dazu ausgebildet ist, eine Ausgangsspannung zu erzeugen, die im Wesentlichen gleich der Referenzspannung ist.

[0040] Nach einigen Aspekten beinhaltet die Kompensationsschaltung einen Transistor und einen Stromspiegel, und der Stromspiegel ist dazu ausgebildet, den Eingangsstrom des Transistors zu spiegeln und den gespiegelten Eingangsstrom als Eingangsstrom des Transistors der Kompensationsschaltung bereitzustellen, und der Eingangsstrom des Transistors der Kompensationsschaltung ist der Kompensationsstrom. Die Endstufe beinhaltet einen Spannungsverstärker und einen Transistor, und der LDO-Regler umfasst ferner einen ersten Schalter, der mit dem ersten Widerstand verbunden ist, einen zweiten Schalter, der mit dem zweiten Widerstand verbunden ist, und einen Vorlade-Timer, der dazu ausgebildet ist, ein Öffnen und ein Schließen des ersten Schalters und des zweiten Schalters als Reaktion auf ein Freigabesignal zu steuern. Der erste Spannungsabfall entspricht dem zweiten Spannungsabfall. Der LDO-Regler beinhaltet einen Transistor, der mit einem Ausgang des Vorladungspuffers verbunden ist, und der Transistor ist mit einem Knoten verbunden, der zwischen dem ersten Widerstand und dem zweiten Widerstand angeordnet ist.

[0041] Nach einem Aspekt beinhaltet ein Verfahren zum Verbessern der Leistung eines Low-Dropout (LDO) Reglers ein Herausfiltern von Rauschen aus einer Referenzspannung unter Verwendung eines Rauschfilters, der zwischen einen Vorladungspuffer und eine Endstufe des LDO-Reglers geschaltet ist, wobei der Rauschfilter einen ersten Widerstand aufweist und ein Eingang des Vorladungspuffers mit einem Transistor verbunden ist, ein Bereitstellen eines Kompensationsstroms durch eine Kompensationsschaltung mit einem zweiten Widerstand, um einen ersten Spannungsabfall am zweiten Widerstand zu erzeugen, wobei der erste Spannungsabfall einen zweiten Spannungsabfall kompensiert, der durch einen Eingangsstrom des Transistors am ersten Widerstand erzeugt wird, und ein Erzeugen einer Ausgangsspannung als Funktion der Referenzspannung.

[0042] Während bestimmte Merkmale der beschriebenen Implementierungen wie hier beschrieben veranschaulicht wurden, werden dem Fachmann nun viele Modifikationen, Substitutionen, Änderungen und Äquivalente einfallen. Es versteht sich daher, dass die beigefügten Ansprüche alle Modifikationen und Änderungen abdecken sollen, die in den Bereich der Ausführungsformen fallen. Es versteht sich, dass diese nur als Beispiel dargestellt wurden, und nicht als Einschränkung, und dass verschiedene Änderungen bezüglich der Form und der Details vorgenommen werden können. Jeder Teil der hier beschriebenen Vorrichtungen und/oder Verfahren kann in jeder beliebigen Kombination kombiniert werden, mit Ausnahme von sich gegenseitig ausschließenden Kombinationen. Die hier beschriebenen Ausführungsformen können verschiedene Kombinationen und/oder Unterkombinationen der Funktionen, Komponenten

und/oder Merkmale der verschiedenen beschriebenen Ausführungsformen beinhalten.

Patentansprüche

1. Low-Dropout (LDO) Regler, der aufweist:
 einen Vorladungspuffer;
 eine Endstufe;
 einen Rauschfilter, der zwischen den Vorladungspuffer und die Endstufe des LDO-Reglers geschaltet ist, wobei der Rauschfilter einen ersten Widerstand beinhaltet;
 einen Transistor, der als Eingang zur Endstufe ausgebildet ist; und
 eine Kompensationsschaltung, die mit einem Eingang des Vorladungspuffers verbunden ist, wobei die Kompensationsschaltung einen zweiten Widerstand beinhaltet, wobei die Kompensationsschaltung dazu ausgebildet, einen Kompensationsstrom bereitzustellen, der einen ersten Spannungsabfall am zweiten Widerstand erzeugt, wobei der erste Spannungsabfall einen zweiten Spannungsabfall kompensiert, der am ersten Widerstand durch einen Eingangsstrom des Transistors erzeugt wird.

2. LDO-Regler nach Anspruch 1, wobei der Kompensationsstrom gleich dem Eingangsstrom des Transistors ist und der zweite Widerstand einen Widerstandswert aufweist, der gleich einem Widerstandswert des ersten Widerstands ist.

3. LDO-Regler nach Anspruch 1, wobei der Transistor ein Bipolartransistor (BJT) ist und der Eingang des Vorladungspuffers ein erster Eingang ist, wobei der Vorladungspuffer einen zweiten Eingang aufweist, der zum Aufnehmen einer Referenzspannung ausgebildet ist.

4. LDO-Regler nach Anspruch 1, wobei die Kompensationsschaltung einen mit dem zweiten Widerstand verbundenen Transistor aufweist, wobei der Kompensationsstrom ein Eingangsstrom des Transistors der Kompensationsschaltung ist.

5. Low-Dropout (LDO) Regler, der aufweist:
 einen Referenzspannungsgenerator, der dazu ausgebildet ist, eine Referenzspannung zu erzeugen;
 einen Vorladungspuffer mit einem ersten Eingang und einem zweiten Eingang, wobei der erste Eingang dazu ausgebildet ist, die Referenzspannung aufzunehmen;
 eine Endstufe;
 einen Rauschfilter, der zwischen den Vorladungspuffer und die Endstufe des LDO-Reglers geschaltet ist, wobei der Rauschfilter einen ersten Widerstand und einen Kondensator beinhaltet;
 einen Transistor, der als Eingang zur Endstufe ausgebildet ist; und
 eine Kompensationsschaltung, die mit dem zweiten Eingang des Vorladungspuffers verbunden ist, wobei

die Kompensationsschaltung einen zweiten Widerstand beinhaltet, wobei die Kompensationsschaltung dazu ausgebildet ist, einen Kompensationsstrom bereitzustellen, der einen ersten Spannungsabfall am zweiten Widerstand erzeugt, wobei der erste Spannungsabfall einen zweiten Spannungsabfall kompensiert, der am ersten Widerstand durch einen Eingangsstrom des Transistors erzeugt wird, wobei die Endstufe dazu ausgebildet ist, eine Ausgangsspannung zu erzeugen, die im Wesentlichen gleich der Referenzspannung ist.

nungsabfall einen zweiten Spannungsabfall kompensiert, der am ersten Widerstand durch einen Eingangsstrom des Transistors erzeugt wird; und Erzeugen einer Ausgangsspannung in Abhängigkeit von der Referenzspannung.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

6. LDO-Regler nach Anspruch 5, wobei die Kompensationsschaltung einen Transistor und einen Stromspiegel beinhaltet, wobei der Stromspiegel dazu ausgebildet ist, den Eingangsstrom des Transistors zu spiegeln und den gespiegelten Eingangsstrom als Eingangsstrom des Transistors der Kompensationsschaltung bereitzustellen, wobei der Eingangsstrom des Transistors der Kompensationsschaltung der Kompensationsstrom ist.

7. LDO-Regler nach Anspruch 5, wobei die Endstufe einen Spannungsverstärker und einen Transistor beinhaltet und der LDO-Regler ferner aufweist: einen ersten Schalter, der mit dem ersten Widerstand verbunden ist; einen zweiten Schalter, der mit dem zweiten Widerstand verbunden ist; und einen Vorlade-Timer, der dazu ausgebildet ist, um ein Öffnen und ein Schließen des ersten Schalters und des zweiten Schalters als Reaktion auf ein Freigabesignal zu steuern.

8. LDO-Regler nach Anspruch 5, wobei der erste Spannungsabfall dem zweiten Spannungsabfall entspricht.

9. LDO-Regler nach Anspruch 5, der ferner aufweist: einen Transistor, der mit einem Ausgang des Vorladungspuffers verbunden ist, wobei der Transistor mit einem Knoten verbunden ist, der zwischen dem ersten Widerstand und dem zweiten Widerstand angeordnet ist.

10. Verfahren zum Verbessern der Leistung eines Low-Dropout (LDO) Reglers, wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:
Herausfiltern von Rauschen aus einer Referenzspannung unter Verwendung eines Rauschfilters, der zwischen einen Vorladungspuffer und eine Endstufe des LDO-Reglers geschaltet ist, wobei der Rauschfilter einen ersten Widerstand aufweist und ein Eingang des Vorladungspuffers mit einem Transistor verbunden ist;
Bereitstellen eines Kompensationsstroms durch eine Kompensationsschaltung mit einem zweiten Widerstand, um einen ersten Spannungsabfall am zweiten Widerstand zu erzeugen, wobei der erste Span-

Anhängende Zeichnungen

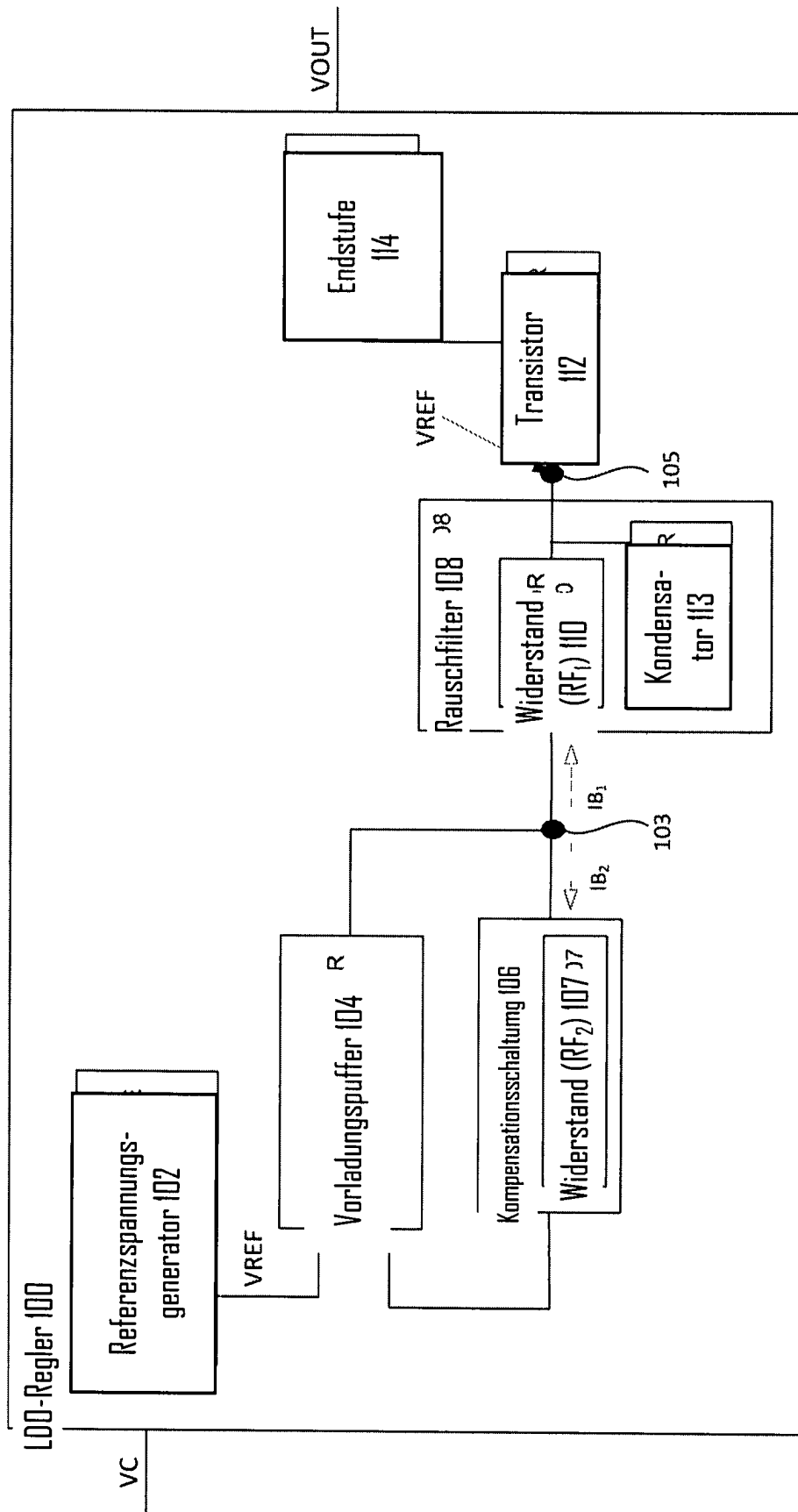


FIG. 1

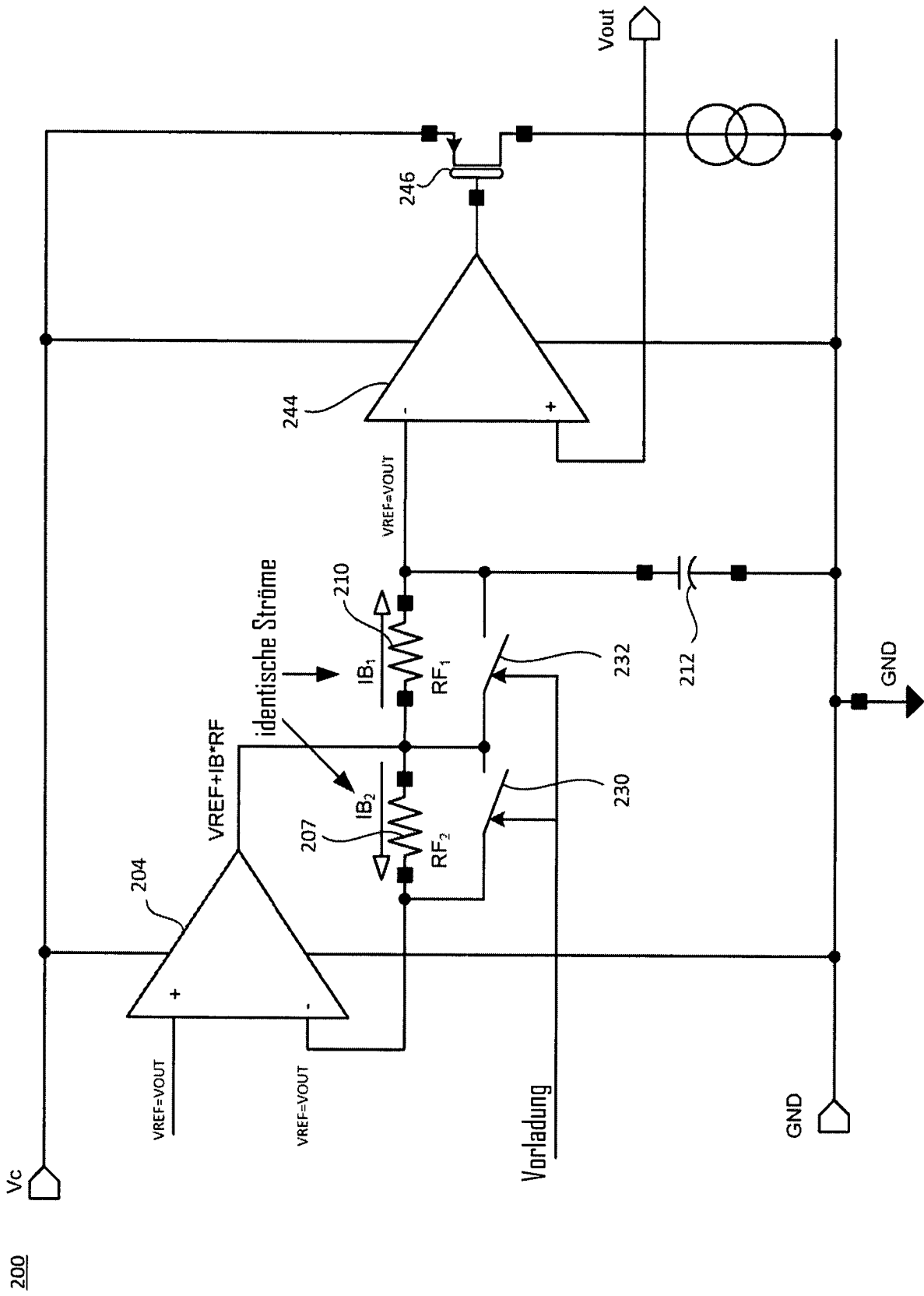
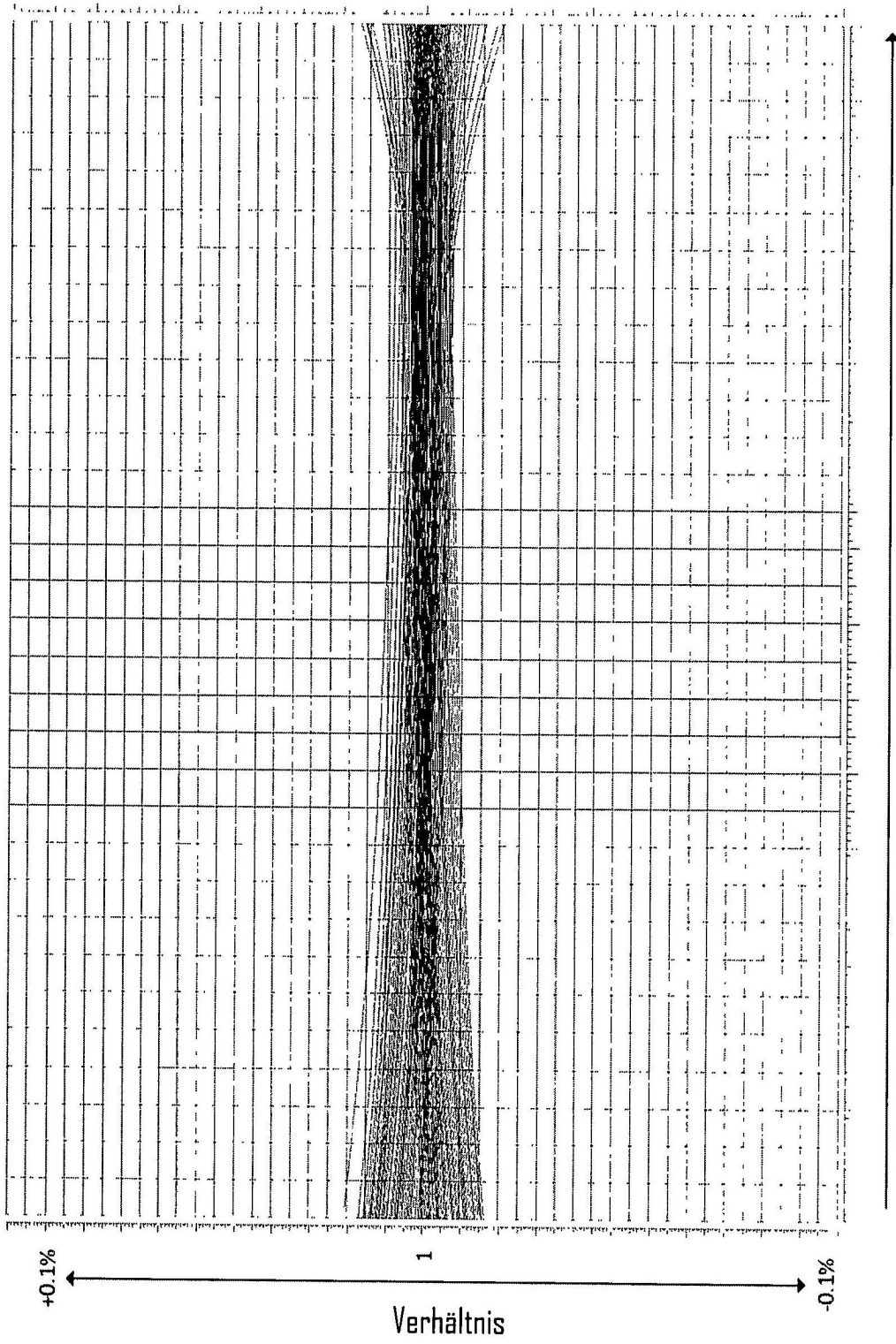


FIG. 2B

300



Temperatur
FIG. 3

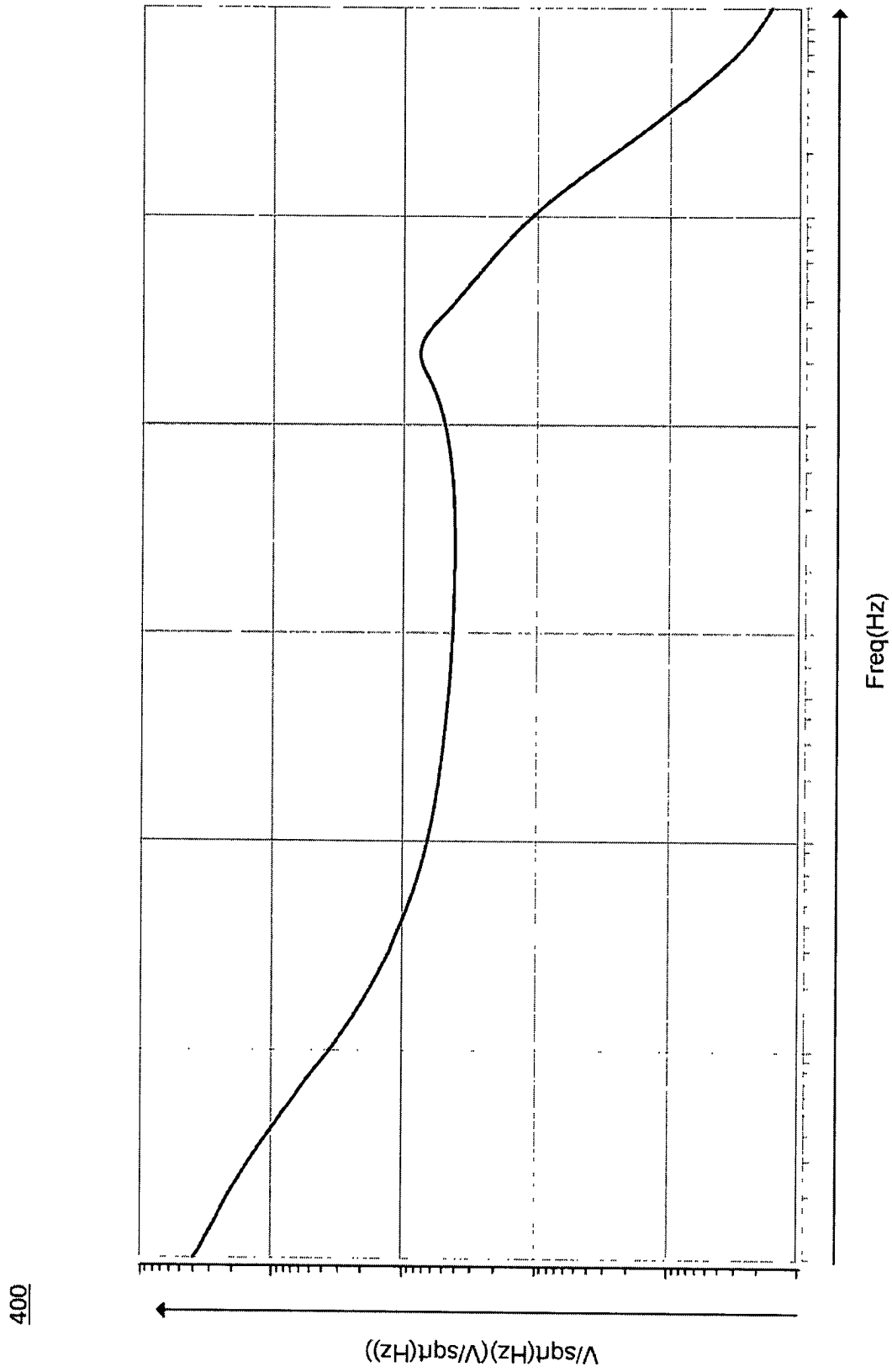


FIG. 4

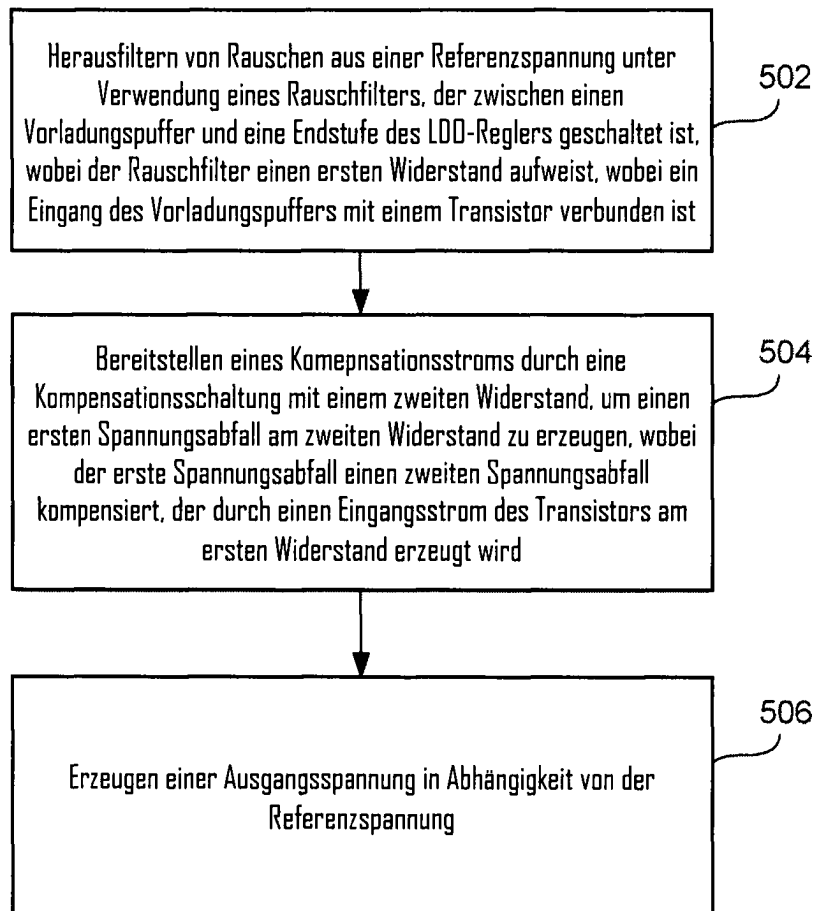
500

FIG. 5