



(10) **DE 10 2015 216 493 B4** 2021.07.08

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2015 216 493.4**  
(22) Anmeldetag: **28.08.2015**  
(43) Offenlegungstag: **02.03.2017**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **08.07.2021**

(51) Int Cl.: **G05F 1/563 (2006.01)**

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:  
**Dialog Semiconductor (UK) Limited, London, GB**

(74) Vertreter:  
**MERH-IP Matias Erny Reichl Hoffmann  
Patentanwälte PartG mbB, 80336 München, DE**

(72) Erfinder:  
**Jefremow, Mihail, 82110 Germering, DE; Ciomaga,  
Dan, 82110 Germering, DE; Yang, Quiao, 82110  
Germering, DE; Drebinger, Stephan, 82110  
Germering, DE; Rigoni, Fabio, 82110 Germering,  
DE**

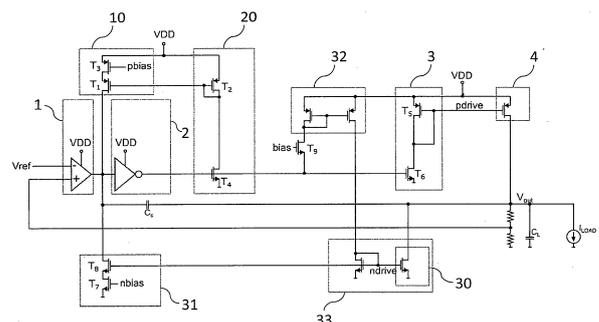
(56) Ermittelter Stand der Technik:

|    |                  |    |
|----|------------------|----|
| DE | 101 19 858       | A1 |
| US | 2013 / 0 147 447 | A1 |
| US | 2015 / 0 015 331 | A1 |

(54) Bezeichnung: **Linearer Regler mit verbesserter Stabilität**

(57) Hauptanspruch: Linearer Regler, der umfasst eine erste Verstärkerstufe (1), die einen Eingang und einen Ausgang aufweist, wobei einer der Eingänge mit dem Ausgang des linearen Reglers gekoppelt ist; eine Zwischenverstärkerstufe (2), die einen Eingang und einen Ausgang aufweist, wobei der Eingang der Zwischenverstärkerstufe (2) an den Ausgang der ersten Verstärkerstufe gekoppelt ist; eine Treiberstufe (3), die einen Eingang und einen Ausgang aufweist; eine Durchgangsvorrichtung (4), die durch den Ausgang der Treiberstufe angesteuert ist, wobei der Ausgang der Durchgangsvorrichtung (4) den Ausgang des linearen Reglers schafft; eine Spannung-zu-Strom-Rückkopplungsschaltung (10), die mit der Treiberstufe (3) und dem Ausgang der ersten Verstärkerstufe (1) gekoppelt ist, zum Regeln des Ausgangswiderstands der ersten Verstärkerstufe (1) in Abhängigkeit von den Lastbedingungen des linearen Reglers, wobei die Spannung-zu-Strom-Rückkopplungsschaltung einen Transistor ( $T_1$ ) und eine Strombegrenzungsschaltung (11) umfasst, um die Regelung des Ausgangswiderstands der ersten Verstärkerstufe (1) auf die Bedingungen einer niedrigen Last des linearen Reglers zu begrenzen; eine Senkenvorrichtung (30), um Strom vom Ausgang des linearen Reglers abzuleiten, eine Senkentreiberstufe (32, 33), um die Senkenvorrichtung anzusteuern, und;

eine Senkenrückkopplungsschaltung (31), die mit der Senkentreiberstufe (32, 33) und dem Ausgang der ersten Verstärkerstufe (1) gekoppelt ist, zum Regeln des Ausgangswiderstands ...



## Beschreibung

### Technisches Gebiet

**[0001]** Das vorliegende Dokument bezieht sich auf lineare Regler und insbesondere auf Regler mit niedrigem Spannungsabfall (LDOs) und schafft eine erhöhte Stabilität und Robustheit der Regelung durch das Begrenzen der Verstärkung einer ersten Verstärkerstufe bei den Bedingungen einer niedrigen Last.

### Hintergrund

**[0002]** Fast jede moderne Leistungsmanagement-IC enthält verschiedene Regler mit niedrigem Spannungsabfall, um stabile und genau geregelte Versorgungsschienen zu schaffen. Die Bauform der LDOs unterscheidet sich stark von der Bauform eines herkömmlichen Reglers, wo die Last des Ausgangsstroms gut definiert ist. Im Gegensatz müssen die LDO-Schaltungen von keinem Laststrom bis zu ihrem spezifizierten maximalen Laststrom stabil sein. Diese Anforderung ändert die Übertragungsfunktion des LDO signifikant und macht ihn zu einer Entwurfsherausforderung, um eine stabile Versorgung über verschiedene Lastbedingungen für die spezifizierte Genauigkeit und Leistungsaufnahme zu schaffen.

**[0003]** Die Kompensationsschemata des Standes der Technik für lineare Regler stützen sich auf eine Miller-Kompensationskapazität, um den dominierenden und den nicht dominierenden Pol zu trennen, um den Regler stabil zu machen. Der Vorstrom der ersten Stufe muss jedoch so niedrig wie möglich sein, um die Poltrennung bei keiner Stromlast (einer Bedingung ohne Last) zu garantieren.

**[0004]** Eine weitere wichtige Anforderung einer LDO-Schaltung ist eine Senkenfähigkeit, die eine Regelung der Versorgungsleitung für schnelle Laständerungen schafft. Die meisten Herangehensweisen des Standes der Technik weisen keine zeitkontinuierliche oder analoge Senkenfähigkeit auf; sie leiten den Strom auf digitale Weise ab, indem sie eine konstante Last ermöglichen, falls die Ausgangsspannung über einen bestimmten Schwellenwert ansteigt, was ein Überschwingen der Spannung an der Versorgungsschiene verursachen und die Leistung der LDO-Schaltung unterbrechen kann.

**[0005]** Es gibt deshalb einen Bedarf, die Stabilität und die Robustheit eines linearen Reglers bei den Bedingungen ohne Last zu verbessern, so dass der Vorstrom der ersten Stufe für eine bessere Leistung unabhängig gewählt werden kann. Außerdem gibt es einen Bedarf, eine zeitkontinuierliche oder analoge Senkenstufe für eine verbesserte Lastübergangsleistung zu erzeugen.

**[0006]** Das vorliegende Dokument behandelt die oben erwähnten technischen Probleme. Insbesondere werden die obigen Probleme durch den beanspruchten Gegenstand gemäß den unabhängigen Ansprüchen gelöst.

**[0007]** US 2015 / 0 015 331 A1 beschreibt einen mehrstufigen Verstärker, der konfiguriert sind, um eine konstante Ausgangsspannung bereitzustellen, die Lasttransienten ausgesetzt ist. Es wird ein mehrstufiger Verstärker beschrieben, der eine Differenzverstärkungsstufe aufweist, die ein Differenztransistorpaar umfasst. Die Differenzverstärkungsstufe ist konfiguriert, um eine Stufenausgangsspannung an einem Stufenausgangsknoten des Differentialtransistorpaars bereitzustellen, basierend auf einer ersten Eingangsspannung an einem Eingangsknoten der ersten Stufe und einer zweiten Eingangsspannung an einem Eingangsknoten der zweiten Stufe.

**[0008]** US 2013 / 0 147 447 A1 beschreibt einen Linearregler. Er umfasst eine erste Verstärkerstufe, wobei einer der Eingänge mit dem Ausgang des Linearreglers gekoppelt ist. Er hat eine Zwischenverstärkerstufe. Der Eingang der Zwischenverstärkerstufe ist mit dem Ausgang der ersten Verstärkerstufe gekoppelt. Er hat eine Treiberstufe mit einer Durchlassvorrichtung, die vom Ausgang der Treiberstufe angesteuert wird. Der Ausgang der Durchlassvorrichtung liefert den Ausgang des Linearreglers. Der Regler hat eine Spannungs-Strom-Rückkopplungsschaltung, die mit der Treiberstufe und dem Ausgang der ersten Verstärkerstufe gekoppelt ist, um den Ausgangswiderstand der ersten Verstärkerstufe in Abhängigkeit von den Lastbedingungen des Linearreglers zu regeln.

**[0009]** DE 101 19 858 A1 beschreibt einen Spannungsregler, dessen Ausgangsspannung von der Ansteuerung eines im Spannungsregler enthaltenen Transistors abhängt. Der beschriebene Spannungsregler zeichnet sich dadurch aus, dass er eine Stabilisierungsschaltung enthält, welche den durch den Transistor fließenden Strom verändern kann.

### Zusammenfassung

**[0010]** Gemäß einem umfassenden Aspekt dieser Offenbarung wird ein linearer Regler geschaffen. Der lineare Regler umfasst eine erste Verstärkerstufe, die einen Eingang und einen Ausgang aufweist, wobei einer der Eingänge mit dem Ausgang des linearen Reglers gekoppelt ist, um eine Haupt-Rückkopplungsschleife zu schaffen. Der Regler umfasst ferner eine Zwischenverstärkerstufe, die einen Eingang und einen Ausgang aufweist. Der Eingang der Zwischenverstärkerstufe ist an den Ausgang der ersten Verstärkerstufe gekoppelt. Die Zwischenverstärkerstufe kann eine oder mehrere Spannungsverstärkungsstufen umfassen, die in Reihe geschaltet sind.

Außerdem ist eine Treiberstufe, die einen Eingang und einen Ausgang aufweist, vorgesehen. Der Regler umfasst ferner eine Durchgangsvorrichtung, die durch den Ausgang der Treiberstufe angesteuert ist. Ein Anschluss der Durchgangsvorrichtung kann mit der Versorgungsspannung verbunden sein, z. B. der Source eines PMOS-Transistors. Der Ausgang der Durchgangsvorrichtung (z. B. der Drain des PMOS-Transistors) schafft den Ausgangsknoten des linearen Reglers, wo eine Last angeschlossen ist, um eine Ausgangsspannung und einen Ausgangsstrom des Reglers zu erhalten. In den Ausführungsformen ist der lineare Regler ein Regler mit niedrigem Spannungsabfall.

**[0011]** Außerdem wird eine Spannung-zu-Strom-Rückkopplungsschaltung (die außerdem als eine Reihennebenschlussrückkopplung bezeichnet wird), die mit der Treiberstufe und dem Ausgang der ersten Verstärkerstufe zum Regeln des Ausgangswiderstands der ersten Verstärkerstufe in Abhängigkeit von den Lastbedingungen des linearen Reglers gekoppelt ist, geschaffen. Die Spannung-zu-Strom-Rückkopplungsschaltung umfasst einen Transistor, der durch eine Zwischenspannung der Treiberstufe angesteuert werden kann, um dem Ausgangsknoten der ersten Verstärkerstufe einen geregelten Strom bereitzustellen. Die Spannung-zu-Strom-Rückkopplungsschaltung umfasst ferner eine Strombegrenzungsschaltung, um den dem Ausgangsknoten der ersten Verstärkerstufe bereitgestellten Strom zu begrenzen. Folglich ist der dem Ausgangsknoten der ersten Verstärkerstufe zugeführte Strom in Abhängigkeit von den Lastbedingungen des linearen Reglers gesteuert, wobei dadurch der Ausgangswiderstand der ersten Verstärkerstufe aktiv geregelt ist. Aufgrund der Strombegrenzungsschaltung ist die Regelung des Ausgangswiderstands der ersten Verstärkerstufe auf die Bedingungen einer niedrigen Last des linearen Reglers begrenzt. Im Fall einer niedrigen Last verringert z. B. die Spannung-zu-Strom-Rückkopplungsschaltung die Verstärkung der ersten Verstärkerstufe.

**[0012]** Die vorgeschlagene Regelung ermöglicht das Erreichen einer Stabilität bei einer Bedingung ohne Last, ohne den Vorstrom der ersten Verstärkerstufe verringern zu müssen, was die Leistung des Reglers signifikant verbessert und infolge der niedrigeren Miller-Kapazität, die für die Stabilität benötigt wird, Chip-Fläche einspart. Die Stabilität bei keiner Last kann eingestellt werden und macht die Schaltung äußerst robust.

**[0013]** Im Fall einer niedrigen Last verringert die Spannung-zu-Strom-Rückkopplungsschaltung die Verstärkung der ersten Verstärkerstufe.

**[0014]** Durch das Begrenzen der Verstärkung der ersten Verstärkerstufe schafft die Spannung-zu-

Strom-Rückkopplungsschaltung eine aktive Poltrennung. Der Vorteil der vorgeschlagenen Verstärkungsregelung ist, dass außer der Verstärkungsverringern außerdem der nicht dominierende Pol in der Gesamtübertragungsfunktion zu höheren Frequenzen verschoben ist, was die Stabilität des Reglers signifikant verbessert. Außerdem weist die Rückkopplungsschleife immer eine Gegenkopplung auf und ist deshalb in jedem Zustand stabil. Gleichzeitig sind die Lastübergangsreaktion und die Ausgangsrauschleistung verbessert. Es ist kein minimaler Reihenwiderstand in Reihe mit der Lastkapazität erforderlich.

**[0015]** Die Strombegrenzungsschaltung kann einen Transistor oder einen Stromspiegel, um den Strom zu begrenzen, der dem Ausgangsknoten der ersten Verstärkerstufe zugeführt werden kann, zum Einschränken der Regelung des Ausgangswiderstands der ersten Verstärkerstufe auf die Bedingungen einer niedrigen Last des linearen Reglers umfassen. Der Transistor oder der Stromspiegel kann z. B. als eine Stromquelle dienen, die einen maximalen Strom zuführt, um den Strom zu begrenzen, den die Spannung-zu-Strom-Rückkopplungsschaltung bereitstellen kann.

**[0016]** Der Eingang der Treiberstufe kann an den Ausgang der Zwischenverstärkerstufe gekoppelt sein. Die Treiberstufe kann einen ersten Transistor, der als ein Inverter arbeitet, und einen zweiten Transistor in Reihe mit dem ersten Transistor umfassen. Der zweite Transistor kann in einer Stromspiegelanordnung mit der Durchgangsvorrichtung konfiguriert sein, wobei das Gate des zweiten Transistors und das Gate der Durchgangsvorrichtung verbunden sind. Das Gate des Transistors der Spannung-zu-Strom-Rückkopplungsschaltung kann mit dem Gate der Durchgangsvorrichtung oder dem Gate des zweiten Transistors gekoppelt sein, wobei dadurch eine weitere Stromspiegelanordnung ausgebildet ist, so dass der Strom durch den Transistor der Spannung-zu-Strom-Rückkopplung (und folglich der dem Ausgangsknoten der ersten Verstärkerstufe zugeführte Strom) von der Last der Durchgangsvorrichtung, d. h., dem Laststrom des Reglers, abhängt. Dieser Strom durch den Transistor der Spannung-zu-Strom-Rückkopplung ist durch die Strombegrenzungsschaltung begrenzt, wie oben beschrieben worden ist.

**[0017]** Der lineare Regler kann eine Treiberstufenkopie umfassen, die zwischen den Ausgang der Zwischenverstärkerstufe und den Eingang der Treiberstufe gekoppelt ist. Die Treiberstufenkopie kann ähnlich zu der Treiberstufe konfiguriert sein, d. h., einen ersten Transistor, der als ein Inverter arbeitet, und einen zweiten Transistor in Reihe mit dem ersten Transistor umfassen. Das Gate des Transistors der Spannung-zu-Strom-Rückkopplungsschaltung kann mit der Treiberstufenkopie gekoppelt sein, insbesondere mit dem Gate des zweiten Transistors der Trei-

berstufenkopie gekoppelt sein, so dass beide Transistoren einen Stromspiegel bilden. Die Kopie der Treiberstufe hat die gleiche Struktur wie die Treiberstufe und den gleichen Eingang, der der Ausgang der Zwischenverstärkerstufe ist. Deshalb hat das Gate des zweiten Transistors der Treiberstufenkopie das gleiche Verhalten hinsichtlich des Laststroms wie das Gate der Durchgangsvorrichtung, was den Betrieb der Spannungs-zu-Strom-Rückkopplungsschaltung unterstützt. Im Ergebnis ist die Spannungs-zu-Strom-Rückkopplungsschaltung durch die Treiberstufenkopie anstatt durch die Treiberstufe selbst gesteuert, wobei jedoch das Ergebnis das gleiche ist, nämlich, dass der dem Ausgang der ersten Verstärkerstufe zugeführte Strom von der Last der Durchgangsvorrichtung abhängig ist.

**[0018]** In den Ausführungsformen befindet sich der Transistor der Spannungs-zu-Strom-Rückkopplungsschaltung mit einem Treibertransistor in der Treiberstufe oder einem Transistor in der Treiberstufenkopie in einer Stromspiegelkonfiguration. Der Treibertransistor ist typischerweise der zweite Transistor der Treiberstufe oder der Treiberstufenkopie. Folglich hängt der Strom durch den Transistor der Spannungs-zu-Strom-Rückkopplung (und folglich der dem Ausgangsknoten der ersten Verstärkerstufe zugeführte Strom) von dem Strom durch die Durchgangsvorrichtung, d. h., dem Laststrom des Reglers, ab. Dieser Strom durch den Transistor der Spannungs-zu-Strom-Rückkopplung ist durch die Strombegrenzungsschaltung begrenzt, wie oben beschrieben worden ist.

**[0019]** Gemäß einem weiteren umfassenden Aspekt kann der lineare Regler eine Senkenvorrichtung umfassen, um den Strom vom Ausgang des linearen Reglers abzuleiten. Die Senkenvorrichtung schafft einen Stromweg zur Masse, um Strom vom Ausgang des Reglers abzuleiten, um die Lastübergangsleistung für schnelle Laständerungen zu verbessern. Dies unterstützt es, ein Überschwingen der Spannung an der Versorgungsschiene zu vermeiden, insbesondere wenn die Senkenvorrichtung, welche auf die gleiche Weise wie die Durchgangsvorrichtung geregelt wird, gesteuert durch die Reglerausgangsspannung, zeitkontinuierlich arbeitet. Dieser analoge Weg einer Implementierung der Senkenstufe erlaubt es dem LDO, sofort auf geringe Überschwinger der Ausgangsspannung zu reagieren, anstatt die Ausgangsspannung nur dann zu entladen, wenn sie eine gewisse Schwelle übersteigt.

**[0020]** Der Regler kann ferner eine Senkentreiberstufe umfassen, um die Senkenvorrichtung anzusteuern, um während eines Überschwingens der Spannung Strom vom Reglerausgang abzuleiten. Die Senkentreiberstufe kann mit dem Ausgang der Zwischenverstärkerstufe oder der Treiberstufenkopie gekoppelt sein. Die Senkentreiberstufe kann eine erste invertierende Stufe, die mit der Versorgungsspannung

gekoppelt ist, und eine zweite invertierende Stufe, die mit Masse gekoppelt ist, umfassen. Die erste invertierende Stufe kann einen Stromspiegel umfassen. Die zweite invertierende Stufe kann einen Transistor umfassen, der in einer Stromspiegelkonfiguration mit der Senkenvorrichtung konfiguriert ist.

**[0021]** Der lineare Regler kann ferner eine Senkenrückkopplungsschaltung, die mit der Senkentreiberstufe und dem Ausgang der ersten Verstärkerstufe gekoppelt ist, zum Regeln des Ausgangswiderstands der ersten Verstärkerstufe in Abhängigkeit von Lastbedingungen des linearen Reglers umfassen. Die Senkenrückkopplungsschaltung kann einen Transistor und eine Strombegrenzungsschaltung umfassen, um die Regelung des Ausgangswiderstands der ersten Verstärkerstufe auf die Bedingungen einer niedrigen Last zu begrenzen. Das Prinzip hinter der Senkenrückkopplungsschaltung und der Verstärkungsbegrenzung für die Senkenstufe ist das gleiche wie für die Quellenstufe (d. h., die Durchgangsvorrichtung). Das heißt, die Senkenrückkopplungsschaltung kann ähnlich zur Spannungs-zu-Strom-Rückkopplungsschaltung konfiguriert sein, wobei aber Versorgungsspannung und Masse getauscht sind. Strom wird aus dem Ausgangsknoten der ersten Verstärkerstufe in Abhängigkeit von den Lastbedingungen des linearen Reglers abgezogen (abgeleitet), wobei dadurch der Ausgangswiderstand der ersten Verstärkerstufe aktiv geregelt wird.

**[0022]** Aufgrund der Strombegrenzungsschaltung in der Senkenrückkopplungsschaltung ist die Regelung des Ausgangswiderstands der ersten Verstärkerstufe auf die Bedingungen einer niedrigen Last des linearen Reglers begrenzt. Die Strombegrenzungsschaltung in der Senkenrückkopplungsschaltung begrenzt z. B. den Betrag des Stroms, der von dem Knoten zwischen der ersten Verstärkerstufe und der Zwischenstufenverstärkerstufe abgezogen werden kann. In Ausführungsformen kann die Strombegrenzungsschaltung einen Transistor oder einen Stromspiegel umfassen, um den Strom, der von dem Ausgangsknoten der ersten Verstärkerstufe abgeleitet werden kann, zu begrenzen. Der Transistor oder der Stromspiegel kann z. B. als eine Stromsenke dienen, die einen maximalen Strom zieht, um den Strom zu begrenzen, den die Senkenrückkopplungsschaltung ableiten kann.

**[0023]** Die Regelung der Verstärkung der ersten Verstärkerstufe durch das Steuern des Ausgangswiderstands der ersten Verstärkerstufe vergrößert die Stabilität bei einer Bedingung ohne Last ohne die Notwendigkeit, den Vorstrom der ersten Verstärkerstufe zu verringern, was die Leistung des Reglers signifikant verbessert.

**[0024]** Gemäß einem weiteren Aspekt wird ein Verfahren zum Betreiben eines linearen Reglers vor-

geschlagen. Der lineare Regler umfasst eine erste Verstärkerstufe, eine Zwischenverstärkerstufe, eine Treiberstufe und eine Durchgangsvorrichtung. Der lineare Regler kann konfiguriert sein, wie oben offenbart worden ist. Das Verfahren umfasst das Begrenzen der Verstärkung der ersten Verstärkerstufe bei den Bedingungen einer niedrigen Last des linearen Reglers durch das Regeln des Ausgangswiderstands der ersten Verstärkerstufe in Abhängigkeit von den Lastbedingungen des linearen Reglers. Folglich ist die Stabilität des Reglers durch die aktive Poltrennung aufgrund der Verstärkungsbegrenzung der ersten Verstärkerstufe verbessert. Durch das Verringern des Ausgangswiderstands der ersten Verstärkerstufe bei den Bedingungen einer niedrigen Last ist der Pol bei höheren Frequenzen der Übertragungsfunktion des Reglers zu höheren Frequenzen verschoben, was den Phasenrand bzw. die Phasenreserve vergrößert und die Regelstabilität verbessert.

**[0025]** Das Begrenzen der Verstärkung der ersten Verstärkerstufe kann das Einspeisen von Strom in einen Knoten zwischen der ersten Verstärkerstufe und der Zwischenspannungsverstärkerstufe umfassen, wobei der eingespeiste Strom von dem durch den linearen Regler bereitgestellten Laststrom abhängt. Das Begrenzen der Verstärkung der ersten Verstärkerstufe ist typischerweise durch das Begrenzen des Betrags des eingespeisten Stroms auf die Bedingungen einer niedrigen Last eingeschränkt.

**[0026]** Der lineare Regler kann ferner eine Senkenvorrichtung umfassen, wie oben offenbart worden ist. In diesem Fall kann das Verfahren ferner das Ableiten von Strom von dem Knoten zwischen der ersten Verstärkerstufe und der Zwischenspannungsverstärkerstufe in Abhängigkeit von dem durch die Senkenvorrichtung abgeleiteten Strom umfassen. Folglich ist die Regelung des Ausgangswiderstands der ersten Verstärkerstufe außerdem durch den Betrieb der Senkenvorrichtung gesteuert, wobei die Verstärkung der ersten Verstärkerstufe während des Quellen- und Senkenmodus des Reglers begrenzt ist.

**[0027]** Es sei angegeben, dass die Verfahren und Systeme einschließlich ihrer bevorzugten Ausführungsformen, wie sie in dem vorliegenden Dokument umrissen sind, selbstständig oder in Kombination mit anderen Verfahren und Systemen, die in diesem Dokument offenbart sind, verwendet werden können.

**[0028]** In dem vorliegenden Dokument beziehen sich die Begriffe „koppeln“, „gekoppelt“, „verbinden“ und „verbunden“ auf Elemente, die miteinander in elektrischer Verbindung stehen, entweder direkt verbunden, z. B. über Drähte, oder in irgendeiner anderen Weise.

## Figurenliste

**Fig. 1** zeigt einen Stromlaufplan eines Reglers mit niedrigem Spannungsabfall (LDO);

**Fig. 2** zeigt eine Gesamtübertragungsfunktion des Reglers nach **Fig. 1**;

**Fig. 3** zeigt einen Stromlaufplan eines Reglers gemäß einer Ausführungsform;

**Fig. 4** zeigt eine weitere Ausführungsform eines Reglers mit einer Treiberstufenkopie;

**Fig. 5** zeigt eine Gesamtübertragungsfunktion eines Reglers gemäß einer Ausführungsform;

**Fig. 6** zeigt einen Stromlaufplan eines Reglers, der eine Senkenvorrichtung umfasst;

**Fig. 7** zeigt ihnen weiteren Stromlaufplan für einen Regler gemäß einer Ausführungsform;

**Fig. 8** zeigt einen Ablaufplan für ein Verfahren zum Betreiben eines linearen Reglers gemäß den Ausführungsformen; und

**Fig. 9** zeigt Simulationsergebnisse für die frequenzabhängige Übertragungsfunktion eines LDO gemäß einer Ausführungsform.

## Ausführliche Beschreibung

**[0029]** **Fig. 1** zeigt einen Regler mit niedrigem Spannungsabfall (LDO), der eine erste Verstärkungsstufe **1**, eine Zwischenverstärkungsstufe **2**, eine Treiberstufe **3** und eine Durchgangsvorrichtung **4** aufweist. Die erste Verstärkungsstufe **1** ist ein Differentialverstärker, wobei ein Eingang an die Bezugsspannung  $V_{ref}$  gekoppelt ist, während der andere Eingang über einen Spannungsteiler **5** an die Reglerausgangsspannung  $V_{out}$  gekoppelt ist. Eine Last **6** ist parallel mit einer Ausgangskapazität  $C_L$  **7** mit dem Reglerausgang gekoppelt. Die Last **6** bezieht einen Laststrom  $I_{LOAD}$  von dem Regler. Die Zwischenverstärkungsstufe **2** kann ein Inverter sein und kann mehrere Unterstufen umfassen. Die Treiberstufe **3** umfasst einen NMOS-Transistor  $T_6$  in Source-Schaltung und einen Treibertransistor  $T_5$ , der ein PMOS-Transistor in Diodenkonfiguration ist. Das Gate des Treibertransistors  $T_5$  ist mit dem Gate der Durchgangsvorrichtung verbunden, die außerdem ein PMOS-Transistor ist, wobei beide Transistoren einen Stromspiegel bilden. Eine Miller-Kapazität  $C_c$  **8** ist zwischen den Reglerausgang und den Knoten zwischen der ersten Verstärkungsstufe und der Zwischenverstärkungsstufe gekoppelt.

**[0030]** Bei einer Bedingung ohne Last ( $I_{LOAD} = 0$  A) ist der Niederfrequenzpol  $p_1$ , während der Hochfrequenzpol  $p_2$  ist, wobei  $R_L$  der am Ausgang  $V_{out}$  gezeichnete Widerstand ist, Am die vom Ausgang der ersten Verstärkerstufe bis zum Ausgang  $V_{out}$  des Reg-

lers gesehene Verstärkung ist und  $R_1$  der Ausgangswiderstand der ersten Verstärkungsstufe ist:

$$p_1 = \frac{1}{2\pi(C_L R_L + A_m C_C R_1)},$$

$$p_2 = \frac{1}{2\pi C_L R_1} + \frac{g_m \text{ passdevice}}{2\pi C_L}.$$

**[0031]** Die Gesamtübertragungsfunktion des Reglers ist in **Fig. 2** gezeigt.  $A_0$  ist die Gesamtfrequenzverstärkung, während  $A_1$  die Verstärkung der ersten Verstärkungsstufe ist:  $A_0 = A_1 \cdot A_m$ .

**[0032]** Ein Problem bei dieser LDO-Schaltung des Standes der Technik ist der niedrige Phasenrand bzw. die niedrige Phasenreserve an dem Punkt der Verstärkungsbandbreite (GBW), an dem die Verstärkung null wird, was zu einer geringen Stabilität und Robustheit bei niedrigen Lasten führt. Als eine Folge muss  $R_1$  für die Stabilität so hoch wie möglich sein. Dies führt jedoch zu einem niedrigen Vorstrom in der ersten Stufe, der eine schlechte Lastübergangsleistung verursacht.

**[0033]** **Fig. 3** zeigt einen Regler, der ein Beispiel für die Verstärkungsbegrenzung der ersten Verstärkungsstufe verkörpert. Die gleichen Bezugszeichen bezeichnen die gleichen Elemente wie in dem in **Fig. 1** gezeigten Regler. Außerdem ist eine Verstärkungsbegrenzungsschaltung **10** zum Regeln des Ausgangswiderstands der ersten Verstärkerstufe **1** und folglich der Verstärkung der ersten Verstärkerstufe **1** in Abhängigkeit von den Lastbedingungen des linearen Reglers vorgesehen.

**[0034]** Die Verstärkungsbegrenzungsschaltung **10** ist als eine Spannung-zu-Strom-Rückkopplungsschaltung (die außerdem als eine Reihenabschlussrückkopplung bezeichnet wird) implementiert, die mit der Treiberstufe **3** und dem Ausgang der ersten Verstärkerstufe **1** gekoppelt ist. Die Verstärkungsbegrenzungsschaltung **10** umfasst einen Transistor  $T_1$ , der durch die Treiberspannung  $p_{drive}$  der Treiberstufe angesteuert ist. Der Transistor  $T_1$  ist zwischen die erste Verstärkerstufe **1** und die Zwischenverstärkungsstufe **2** gekoppelt, um dem Ausgangsknoten der ersten Verstärkerstufe Strom bereitzustellen. Der dem Ausgangsknoten der ersten Verstärkerstufe zugeführte Strom ist in Abhängigkeit von den Lastbedingungen des linearen Reglers gesteuert, wobei dadurch der Ausgangswiderstand der ersten Verstärkerstufe aktiv geregelt ist.

**[0035]** Die Verstärkungsbegrenzungsschaltung **10** umfasst ferner eine Strombegrenzungsschaltung **11**, um den dem Ausgangsknoten der ersten Verstärkerstufe bereitgestellten Strom zu begrenzen und da-

durch die Regelung des Ausgangswiderstands der ersten Verstärkerstufe auf die Bedingungen einer niedrigen Last des linearen Reglers zu begrenzen. In der dargestellten Ausführungsform umfasst die Strombegrenzungsschaltung **11** einen Transistor  $T_3$ , dessen Source mit der Versorgungsspannung VDD gekoppelt ist, wobei der Drain mit der Source des Transistors  $T_1$  gekoppelt ist. Das Gate des Transistors  $T_3$  ist an eine konstante Spannung  $p_{bias}$  gekoppelt, so dass der durch  $T_3$  fließende Strom auf einen maximalen Strom begrenzt ist. Bei den Bedingungen einer hohen Last begrenzt der Transistor  $T_3$  den Strom der Verstärkungsbegrenzungsschaltung **10**, wenn er in den Sättigungsbereich eintritt und der Ausgangswiderstand der ersten Stufe nicht weiter verringert wird. Die Transistoren  $T_1$  und  $T_2$  können beide PMOS-Transistoren sein.

**[0036]** Als eine Alternative kann die Strombegrenzungsschaltung **11** einen Stromspiegel umfassen, wobei ein Zweig von ihm einen Transistor in einer Diodenkonfiguration und eine Stromquelle aufweist. Der andere Zweig des Stromspiegels weist einen zu  $T_3$  ähnlichen Transistor auf, dessen Gate mit dem Gate und dem Drain des als Diode konfigurierten Transistors gekoppelt ist.

**[0037]** Die vorgeschlagene Regelung der Verstärkung der ersten Verstärkerstufe erreicht Stabilität bei der Bedingung ohne Last ohne die Notwendigkeit, den Vorstrom der ersten Verstärkerstufe zu verringern, was die Leistung des Reglers signifikant verbessert. Es wird nur eine kleinere Miller-Kapazität benötigt, um die Stabilität sicherzustellen, was die Fläche und die Kosten des Reglers verringert. Die Rückkopplungsschleife weist immer eine Gegenkopplung auf, wobei kein minimaler Reihenwiderstand in Reihe mit der Lastkapazität erforderlich ist. Durch die Begrenzung der Verstärkung der ersten Verstärkerstufe wird eine aktive Poltrennung erreicht. Außer der Verstärkungsverringern ist außerdem der nicht dominierende Pol in der Gesamtübertragungsfunktion zu höheren Frequenzen verschoben, was die Stabilität signifikant verbessert.

**[0038]** **Fig. 4** zeigt eine weitere Ausführungsform eines Reglers mit einer Verstärkungsbegrenzung für die erste Verstärkerstufe. In dieser Ausführungsform wird eine Treiberstufenkopie **20** zum Steuern der Verstärkungsbegrenzungsschaltung **10**, die zu der obigen ähnlich ist, verwendet. Die Spannung-zu-Strom-Rückkopplungsschaltung umfasst folglich die Verstärkungsbegrenzungsschaltung **10** und die Treiberstufenkopie **20**.

**[0039]** Die Treiberstufenkopie **20** ist zwischen den Ausgang der Zwischenverstärkerstufe **2** und den Eingang der Treiberstufe **3** gekoppelt. Die Treiberstufenkopie **20** ist ähnlich zur Treiberstufe **3** konfiguriert, d. h., sie umfasst einen ersten Transistor  $T_4$ ,

der als ein Inverter arbeitet, und einen zweiten Transistor  $T_2$  in Reihe mit dem ersten Transistor. Das heißt, die Treiberstufenkopie **20** umfasst die Transistoren  $T_2$ ,  $T_4$ , die zu den Transistoren  $T_5$ ,  $T_6$  ähnlich sind. Das Gate des Transistors  $T_1$  der Verstärkungsbegrenzungsschaltung **10** ist mit dem Gate des zweiten Transistors  $T_2$  der Treiberstufenkopie gekoppelt.

**[0040]** Der Transistor  $T_1$  der Verstärkungsbegrenzungsschaltung **10** befindet sich in einer Stromspiegelkonfiguration mit dem Transistor  $T_2$  in der Treiberstufenkopie **20**. Folglich hängt der Strom durch den Transistor  $T_1$  (und folglich der dem Ausgangsknoten der ersten Verstärkerstufe zugeführte Strom) von der Last durch die Durchgangsvorrichtung, d. h., der Last des Reglers, ab. Der Strom durch den Transistor  $T_1$  ist durch die Strombegrenzungsschaltung **11** begrenzt, wie oben beschrieben worden ist.

**[0041]** Die Treiberstufenkopie **20** entkoppelt die große Gate-Kapazität der Durchgangsvorrichtung an dem pdrive-Knoten von der Rückkopplungsschaltung. Außerdem kann für die Durchgangsvorrichtung **4** und die Verstärkungsbegrenzungsschaltung **10** eine separate Versorgungsspannung verwendet werden, um es zu vermeiden, dass Rauschen in die Regelschleife gekoppelt wird, wobei dadurch das Leistungsversorgungs-Unterdrückungsverhältnis (PSSR) erhöht wird. Die Verstärkungsbegrenzungsschaltung  $T_3$  und die Treiberstufenkopie  $T_2$ ,  $T_4$  regeln den Ausgangswiderstand der ersten Verstärkerstufe bei den Bedingungen einer niedrigen Last aktiv, wie oben erklärt worden ist.

**[0042]** Fig. 5 zeigt die Gesamtübertragungsfunktion eines Reglers, der die Verstärkungsbegrenzung der vorliegenden Erfindung verkörpert.  $p_1$  ist der Pool bei niedrigeren Frequenzen

$$p_1 = \frac{1}{2\pi \left( C_L R_L + A_m C_C \frac{R_1}{A_G} \right)},$$

während der Pol  $p_2$  bei höheren Frequenzen

$$p_2 = \frac{1}{2\pi C_C \frac{R_1}{A_G}} + \frac{g_m \text{ passdevice}}{2\pi C_L}$$

ist, wobei  $A_G$  die Gesamtverstärkung vom Ausgang der ersten Verstärkerstufe zum Drain von  $T_1$  ist.

**[0043]** Der Niederfrequenzpol  $p_1$  ist fast unverändert, weil seine Frequenz durch  $C_L R_L$  dominiert ist.

**[0044]** Der Hochfrequenzpol  $p_2$  ist zu höheren Frequenzen verschoben und ist nun hauptsächlich durch

$$p \frac{g_m \text{ passdevice}}{2\pi C_L} \text{ dominiert.}$$

**[0045]** Die Gesamtverstärkung ist nun zu

$$A_0 = \frac{A_1 A_m}{A_G} \text{ verringert.}$$

**[0046]** Wie aus der graphischen Darstellung ersichtlich ist, ist die Phasenreserve der Übertragungsfunktion bei  $p_2$ , der zu höheren Frequenzen verschoben ist, viel größer als vorher, wobei folglich mehr Stabilität für die Rückkopplungsschleife geschaffen wird. Ferner kann die Phasenreserve unabhängig von der Vorspannung der ersten Verstärkerstufe eingestellt werden. Im Ergebnis schafft die vorgeschlagene aktive Verstärkungsbegrenzung im Vergleich zu den Reglern des Standes der Technik eine höhere Robustheit und eine bessere Leistung.

**[0047]** Um die Regelung für schnelle Lastübergänge zu verbessern, kann der Regler eine Senkenfähigkeit aufweisen, um Strom abzuleiten, falls die Ausgangsspannung über die Zielausgangsspannung ansteigt, um das Überschwingen der Spannung zu verringern.

Fig. 6 zeigt einen Regler, der eine Senkenvorrichtung **30** umfasst, die mit dem Ausgangsknoten des Reglers gekoppelt ist. Die Senkenstufe ermöglicht eine bessere Lastübergangsleistung für schnelle Laständerungen.

**[0048]** Der Regler umfasst eine Senkentreiberstufe, um die Senkenvorrichtung **30** anzusteuern, um während eines Überschwingens der Spannung Strom vom Reglerausgang abzuleiten. Die Senkentreiberstufe ist mit dem Ausgang der Zwischenverstärkerstufe oder der Treiberstufenkopie gekoppelt. Die Senkentreiberstufe umfasst eine erste invertierende Stufe **32**, die mit der Versorgungsspannung gekoppelt ist, und eine zweite invertierende Stufe **33**, die mit Masse gekoppelt ist. Die erste invertierende Stufe umfasst einen Stromspiegel. Die zweite invertierende Stufe umfasst einen Transistor, der in einer Stromspiegelkonfiguration mit der Senkenvorrichtung **30** konfiguriert ist. Die Senkentreiberstufe wird aktiviert sobald der Ausgang der Zwischenverstärkerstufe niedriger wird als die Vorspannung minus der Schwellenspannung von NMOS  $T_g$ . Diese Situation tritt nur in Überspannungsbedingungen auf, da der Ausgang der Zwischenverstärkerstufe unter die Schwellenspannung von  $T_6$  geht, um die Quellenstufe abzuschalten.

**[0049]** Die obige Verstärkungsbegrenzung für die erste Verstärkerstufe kann außerdem für die Senkenstufe des linearen Reglers implementiert sein. Das Prinzip hinter der Verstärkungsbegrenzung für die Senkenstufe ist das gleiche wie für die oben erklärte

Quellenstufe. Die Übergabe zwischen Senken- und Quellenbetriebe kann mittels des Vorspannungsspegels und der Schwellenspannung von  $T_9$  abgepasst werden.

**[0050]** Der Regler umfasst ferner eine Verstärkungsbegrenzungsschaltung **31** für die Senkenstufe, die mit der Senkentreiberstufe und dem Ausgang der ersten Verstärkerstufe **1** zum Regeln des Ausgangswiderstands der ersten Verstärkerstufe in Abhängigkeit von den Lastbedingungen des linearen Reglers gekoppelt ist. Dies implementiert eine Senkenrückkopplungsschaltung, die einen Transistor  $T_8$  und eine Strombegrenzungsschaltung umfasst, um die Regelung des Ausgangswiderstands der ersten Verstärkerstufe auf die Bedingungen einer niedrigen Last zu begrenzen. Die Strombegrenzungsschaltung kann als ein Transistor  $T_7$  in Reihe mit dem Transistor  $T_8$  verwirklicht sein. Das Gate des Transistors  $T_7$  ist mit einer konstanten Spannung  $v_{bias}$  versehen, während seine Source mit Masse gekoppelt ist. Der Transistor  $T_7$  und der Transistor  $T_8$  können NMOS-Transistoren sein.

**[0051]** Das Prinzip hinter der Senkenrückkopplungsschaltung und der Verstärkungsbegrenzung für die Senkenstufe ist das gleiche wie für die Quellenstufe (d. h., die Durchgangsvorrichtung). Das heißt, die Verstärkungsbegrenzungsschaltung **31** für die Senkenstufe ist ähnlich zur Verstärkungsbegrenzungsschaltung **10** für die Quellenstufe konfiguriert, wobei aber die Versorgungsspannung und Masse getauscht sind. Der Strom wird von dem Ausgangsknoten der ersten Verstärkerstufe in Abhängigkeit von den Lastbedingungen des linearen Reglers abgezogen (abgeleitet), wobei dadurch der Ausgangswiderstand der ersten Verstärkerstufe aktiv geregelt ist.

**[0052]** Aufgrund der Strombegrenzungsschaltung  $T_7$  in der Verstärkungsbegrenzungsschaltung **31** ist die Regelung des Ausgangswiderstands der ersten Verstärkerstufe auf die Bedingungen einer niedrigen Last des linearen Reglers begrenzt. Die Strombegrenzungsschaltung begrenzt den Betrag des Stroms, der von dem Knoten zwischen der ersten Verstärkerstufe und der Zwischenspannungsverstärkerstufe abgeleitet werden kann. Die Strombegrenzungsschaltung kann außerdem einen Stromspiegel umfassen, um den Strom zu begrenzen, der vom Ausgangsknoten der ersten Verstärkerstufe abgeleitet werden kann. Der Transistor oder der Stromspiegel können als eine Stromsenke dienen, die einem maximalen Strom zieht, um den Strom zu begrenzen, den die Senkenrückkopplungsschaltung ableiten kann.

**[0053]** Fig. 7 zeigt ein weiteres Schema für einen Regler gemäß einer Ausführungsform. Die Schaltung enthält eine Treiberstufenkopie **20**, eine Verstärkungsbegrenzungsschaltung für die Quellenstufe **10**, eine Durchgangsvorrichtung **4**, eine Senkenvorrich-

tung **30**, eine Senkentreiberstufe **32, 33** und eine Verstärkungsbegrenzungsschaltung für die Senkenstufe **31**. Die gleichen Bezugszeichen bezeichnen die gleichen Elemente wie in den obigen Reglern.

**[0054]** Die erste Verstärkerstufe **1** ist als ein herkömmlicher Operationstranskonduktanzverstärker (OTA) hergestellt, wobei er aber außerdem irgendeine andere Verstärkerkonfiguration aufweisen kann, z. B. eine gefaltete Kascod oder eine vollständig symmetrische Konfiguration. Die Zwischenverstärkerstufe **2** ist als ein Verstärker in Source-Schaltung implementiert. Der Regler ist ein Regler mit niedrigem Spannungsabfall.

**[0055]** Fig. 8 veranschaulicht ein beispielhaftes Verfahren zum Betreiben eines linearen Reglers. Der lineare Regler umfasst eine erste Verstärkerstufe, eine Zwischenverstärkerstufe, eine Treiberstufe und eine Durchgangsvorrichtung. Der lineare Regler kann konfiguriert sein, wie oben offenbart worden ist, und kann ferner eine Senkenvorrichtung umfassen.

**[0056]** Das Verfahren umfasst einen Schritt **S1** des Vorsehens eines linearen Reglers und einen Schritt **S2** des Begrenzens der Verstärkung der ersten Verstärkerstufe bei den Bedingungen einer niedrigen Last des linearen Reglers durch das Regeln des Ausgangswiderstands der ersten Verstärkerstufe in Abhängigkeit von den Lastbedingungen des linearen Reglers. Die Stabilität des Reglers ist durch die aktive Poltrennung aufgrund der Verstärkungsbegrenzung der ersten Verstärkerstufe verbessert. Durch das Verringern des Ausgangswiderstands der ersten Verstärkerstufe bei Bedingungen einer niedrigen Last wird der Pol bei höheren Frequenzen der Übertragungsfunktion des Reglers zu höheren Frequenzen verschoben, was den Phasenrand vergrößert und die Stabilität der Regelung verbessert. Das Begrenzen der Verstärkung der ersten Verstärkerstufe umfasst das Einspeisen von Strom in einen Knoten zwischen der ersten Verstärkerstufe und der Zwischenspannungsverstärkerstufe, wobei der eingespeiste Strom von dem durch den linearen Regler bereitgestellten Laststrom abhängt. Das Begrenzen der Verstärkung der ersten Verstärkerstufe ist durch das Begrenzen des Betrags des eingespeisten Stroms auf die Bedingungen einer niedrigen Last eingeschränkt.

**[0057]** Das Verfahren umfasst ferner einen Schritt **S3** des Ableitens von Strom von dem Knoten zwischen der ersten Verstärkerstufe und der Zwischenspannungsverstärkerstufe in Abhängigkeit von dem durch die Senkenvorrichtung abgeleiteten Strom. Das Ableiten von Strom ist auf die Bedingungen einer niedrigen Last des linearen Reglers begrenzt. Folglich ist die Regelung des Ausgangswiderstands der ersten Verstärkerstufe außerdem durch den Betrieb der Senkenvorrichtung gesteuert, wobei die Verstär-

kung der ersten Verstärkerstufe während des Quellen- und des Senkenmodus des Reglers begrenzt ist.

**[0058] Fig. 9** zeigt Simulationsergebnisse für die frequenzabhängige Übertragungsfunktion eines LDO unter Verwendung der vorgeschlagenen aktiven Verstärkungsregelung gegen einen Regler des Standes der Technik. Die Kurve **40** zeigt die Verstärkung des Reglers unter Verwendung der vorgeschlagenen aktiven Verstärkungsregelung, während die Kurve **42** die Verstärkung eines Reglers des Standes der Technik zeigt. Die Kurve **44** zeigt die Phase des Reglers unter Verwendung der vorgeschlagenen aktiven Verstärkungsregelung, während die Kurve **46** die Phase eines Reglers des Standes der Technik zeigt.

**[0059]** Wie aus den graphischen Darstellungen ersichtlich ist, ist die Verstärkung für den vorgeschlagenen Regler von 88dB (M5) auf 73DB (M4) verringert. Ferner ist der erste nicht dominierende Pool zu höheren Frequenzen verschoben, wodurch die Phasenreserve, welche die Stabilität des Reglers definiert, bei der vorliegenden Erfindung bei einer Bedingung ohne Last größer als 60 Grad ist (siehe M1 mit 77 Grad bei Frequenz **V1**), während die Phasenreserve eines Reglers des Standes der Technik viel kleiner ist (siehe M3 mit 5 Grad bei etwas höherer Frequenz **V2**). Dies zeigt die Robustheit der vorgeschlagenen Herangehensweise.

### Patentansprüche

1. Linearer Regler, der umfasst  
 eine erste Verstärkerstufe (1), die einen Eingang und einen Ausgang aufweist, wobei einer der Eingänge mit dem Ausgang des linearen Reglers gekoppelt ist;  
 eine Zwischenverstärkerstufe (2), die einen Eingang und einen Ausgang aufweist, wobei der Eingang der Zwischenverstärkerstufe (2) an den Ausgang der ersten Verstärkerstufe gekoppelt ist;  
 eine Treiberstufe (3), die einen Eingang und einen Ausgang aufweist;  
 eine Durchgangsvorrichtung (4), die durch den Ausgang der Treiberstufe angesteuert ist, wobei der Ausgang der Durchgangsvorrichtung (4) den Ausgang des linearen Reglers schafft;  
 eine Spannung-zu-Strom-Rückkopplungsschaltung (10), die mit der Treiberstufe (3) und dem Ausgang der ersten Verstärkerstufe (1) gekoppelt ist, zum Regeln des Ausgangswiderstands der ersten Verstärkerstufe (1) in Abhängigkeit von den Lastbedingungen des linearen Reglers, wobei die Spannung-zu-Strom-Rückkopplungsschaltung einen Transistor ( $T_1$ ) und eine Strombegrenzungsschaltung (11) umfasst, um die Regelung des Ausgangswiderstands der ersten Verstärkerstufe (1) auf die Bedingungen einer niedrigen Last des linearen Reglers zu begrenzen;  
 eine Senkenvorrichtung (30), um Strom vom Ausgang des linearen Reglers abzuleiten,

eine Senkentreiberstufe (32, 33), um die Senkenvorrichtung anzusteuern, und;  
 eine Senkenrückkopplungsschaltung (31), die mit der Senkentreiberstufe (32, 33) und dem Ausgang der ersten Verstärkerstufe (1) gekoppelt ist, zum Regeln des Ausgangswiderstands der ersten Verstärkerstufe (1) in Abhängigkeit von den Lastbedingungen des linearen Reglers, wobei die Senkenrückkopplungsschaltung (31) einen Transistor ( $T_8$ ) und eine Strombegrenzungsschaltung ( $T_7$ ) umfasst, um die Regelung des Ausgangswiderstands der ersten Verstärkerstufe (1) auf die Bedingungen einer niedrigen Last zu begrenzen.

2. Linearer Regler nach Anspruch 1, wobei die Spannung-zu-Strom-Rückkopplungsschaltung (10) durch die Verstärkungsbegrenzung der ersten Verstärkerstufe (1) eine aktive Poltrennung schafft.

3. Linearer Regler nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Strombegrenzungsschaltung (10) einen Transistor ( $T_8$ ) oder einen Stromspiegel umfasst.

4. Linearer Regler nach einem vorhergehenden Anspruch, wobei der Eingang der Treiberstufe (3) an den Ausgang der Zwischenverstärkerstufe (2) gekoppelt ist und das Gate des Transistors ( $T_1$ ) der Spannung-zu-Strom-Rückkopplungsschaltung (10) mit dem Gate der Durchgangsvorrichtung (4) gekoppelt ist.

5. Linearer Regler nach einem der Ansprüche 1 bis 3, der ferner eine Treiberstufenkopie (20) umfasst, die zwischen den Ausgang der Zwischenverstärkerstufe (2) und den Eingang der Treiberstufe (3) gekoppelt ist, wobei das Gate des Transistors ( $T_1$ ) der Spannung-zu-Strom-Rückkopplungsschaltung (10) mit der Treiberstufenkopie (20) gekoppelt ist.

6. Linearer Regler nach einem vorhergehenden Anspruch, wobei sich der Transistor ( $T_1$ ) der Spannung-zu-Strom-Rückkopplungsschaltung (10) in einer Stromspiegelkonfiguration mit einem Treibertransistor ( $T_8$ ) in der Treiberstufe (3) oder einem Transistor ( $T_2$ ) in der Treiberstufenkopie (20) befindet.

7. Linearer Regler nach Anspruch 1, wobei die Strombegrenzungsschaltung ( $T_7$ ) in der Senkenrückkopplungsschaltung den Betrag des Stroms begrenzt, der von dem Knoten zwischen der ersten Verstärkerstufe und der Zwischenspannungsverstärkerstufe abgeleitet wird.

8. Linearer Regler nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Senkentreiberstufe mit dem Ausgang der Zwischenverstärkerstufe (2) oder der Treiberstufenkopie (20) gekoppelt ist.

9. Linearer Regler nach einem vorhergehenden Anspruch, wobei der lineare Regler ein Regler mit niedrigem Spannungsabfall ist.

10. Verfahren zum Betreiben eines linearen Reglers, der eine erste Verstärkerstufe (1); eine Zwischenverstärkerstufe (2); eine Treiberstufe (3); eine Durchgangsvorrichtung (4) und eine Senkenvorrichtung (30) umfasst, wobei das Verfahren umfasst Begrenzen der Verstärkung der ersten Verstärkerstufe bei den Bedingungen einer niedrigen Last des linearen Reglers durch das Regeln des Ausgangswiderstands der ersten Verstärkerstufe in Abhängigkeit von den Lastbedingungen des linearen Reglers, und Ableiten von Strom von dem Knoten zwischen der ersten Verstärkerstufe und der Zwischenstärkerstufe in Abhängigkeit von dem durch die Senkenvorrichtung abgeleiteten Strom.

11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei das Begrenzen der Verstärkung der ersten Verstärkerstufe das Einspeisen von Strom in einen Knoten zwischen der ersten Verstärkerstufe und der Zwischenstärkerstufe umfasst, wobei der eingespeiste Strom von dem durch den linearen Regler bereitgestellten Laststrom abhängig ist.

12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei das Begrenzen der Verstärkung der ersten Verstärkerstufe durch das Begrenzen des Betrags des eingespeisten Stroms auf die Bedingungen einer niedrigen Last eingeschränkt ist.

Es folgen 9 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

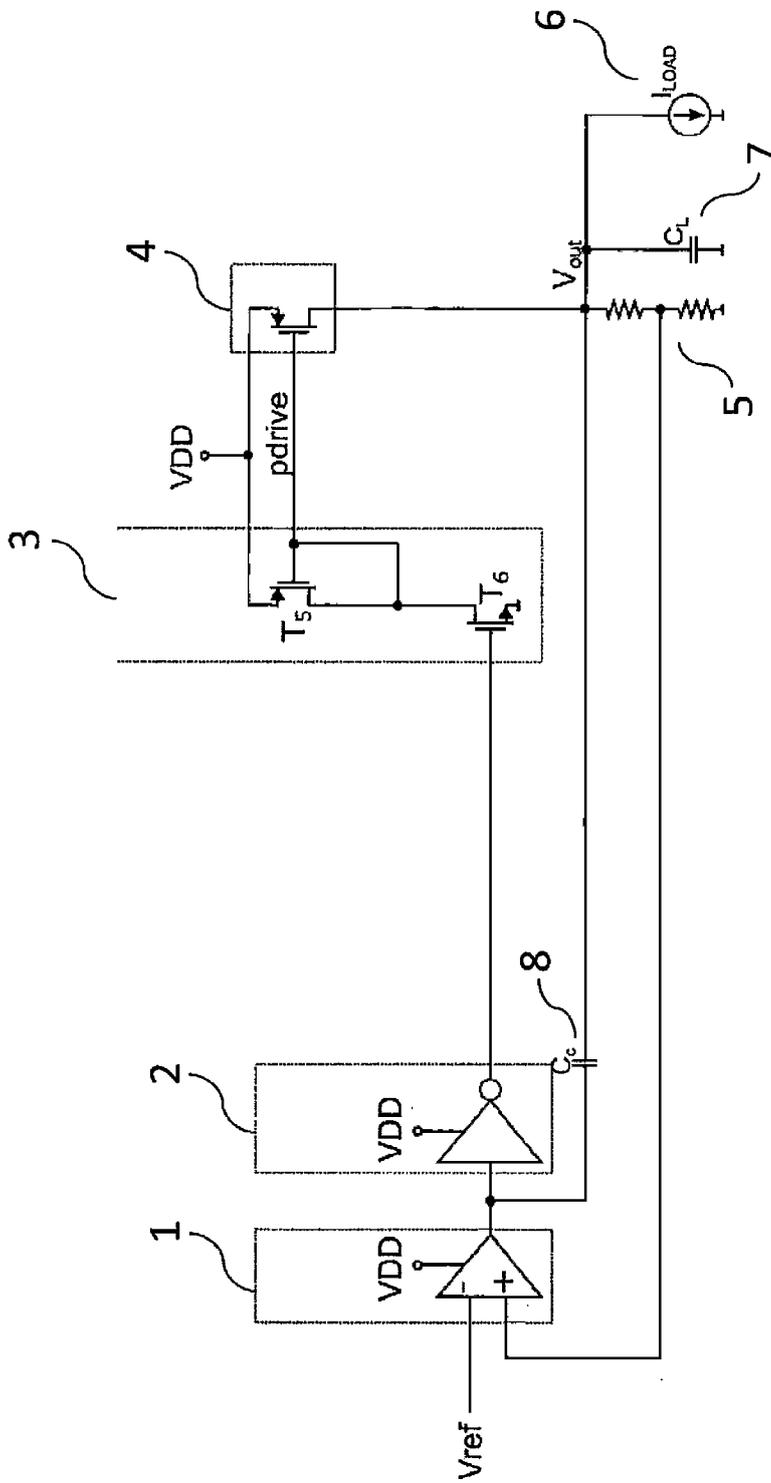


Fig. 1

(Stand der Technik)

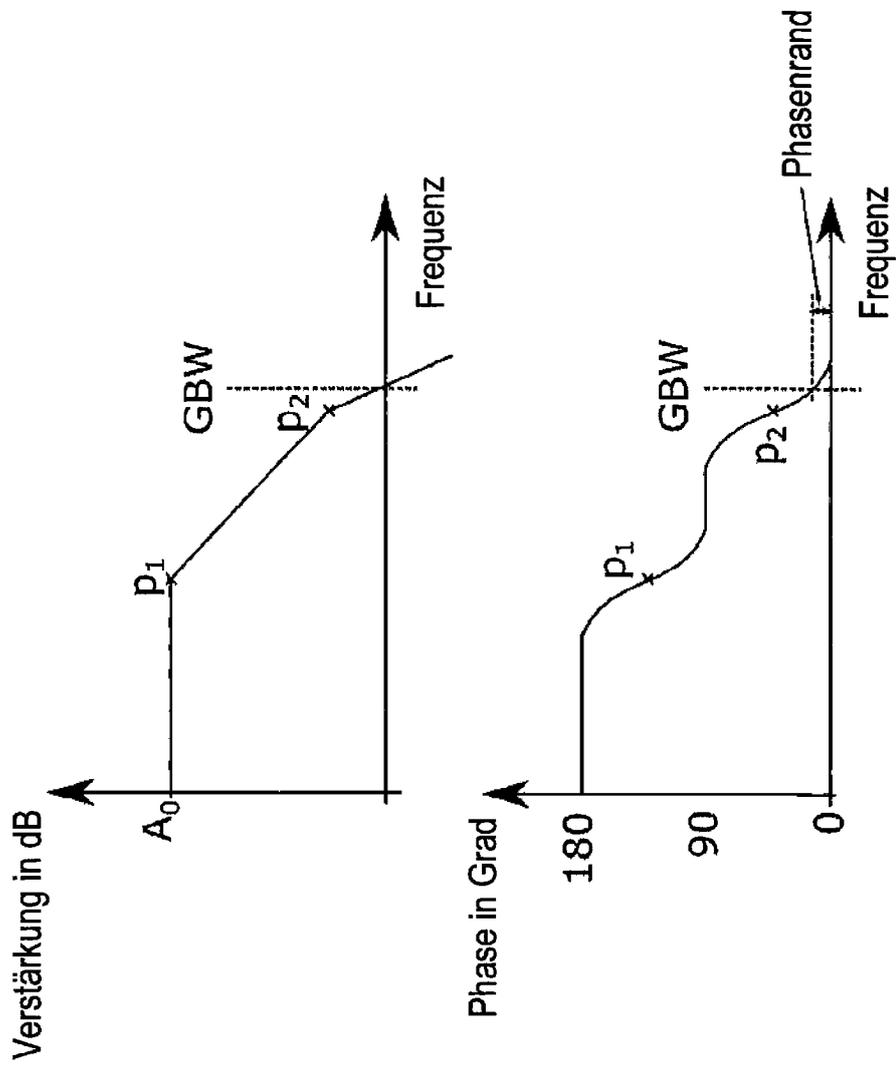


Fig. 2

(Stand der Technik)

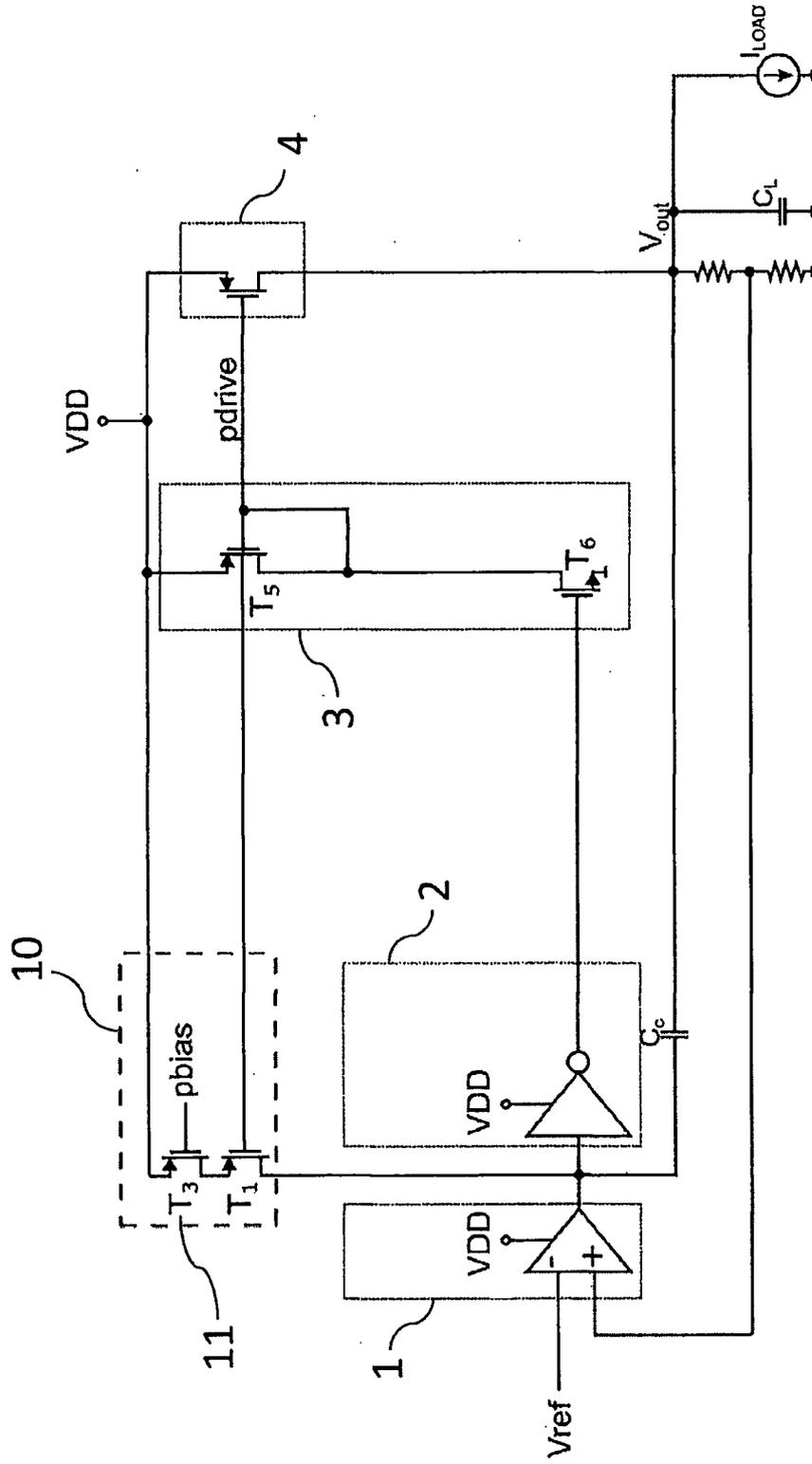


Fig. 3

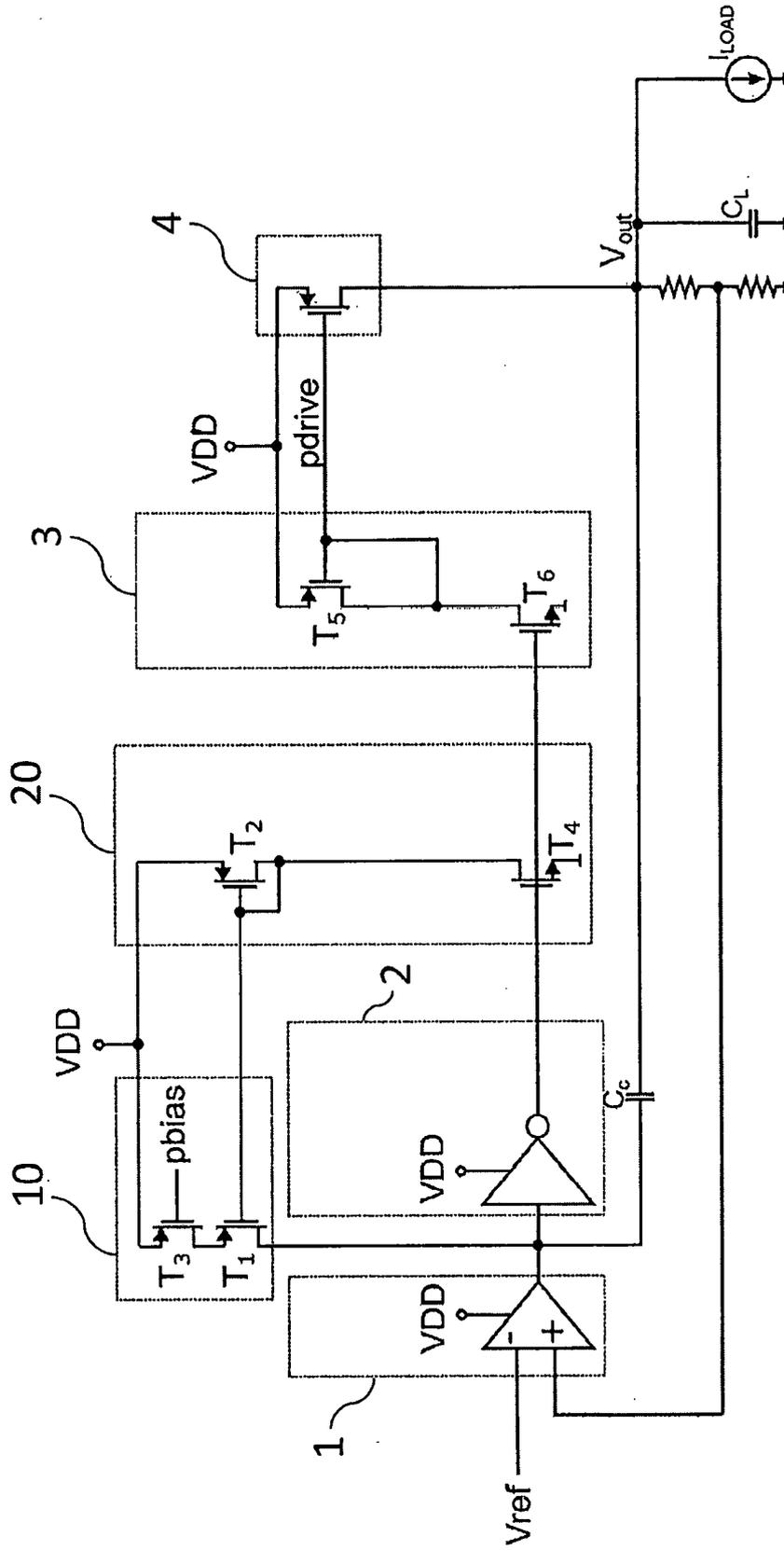


Fig. 4

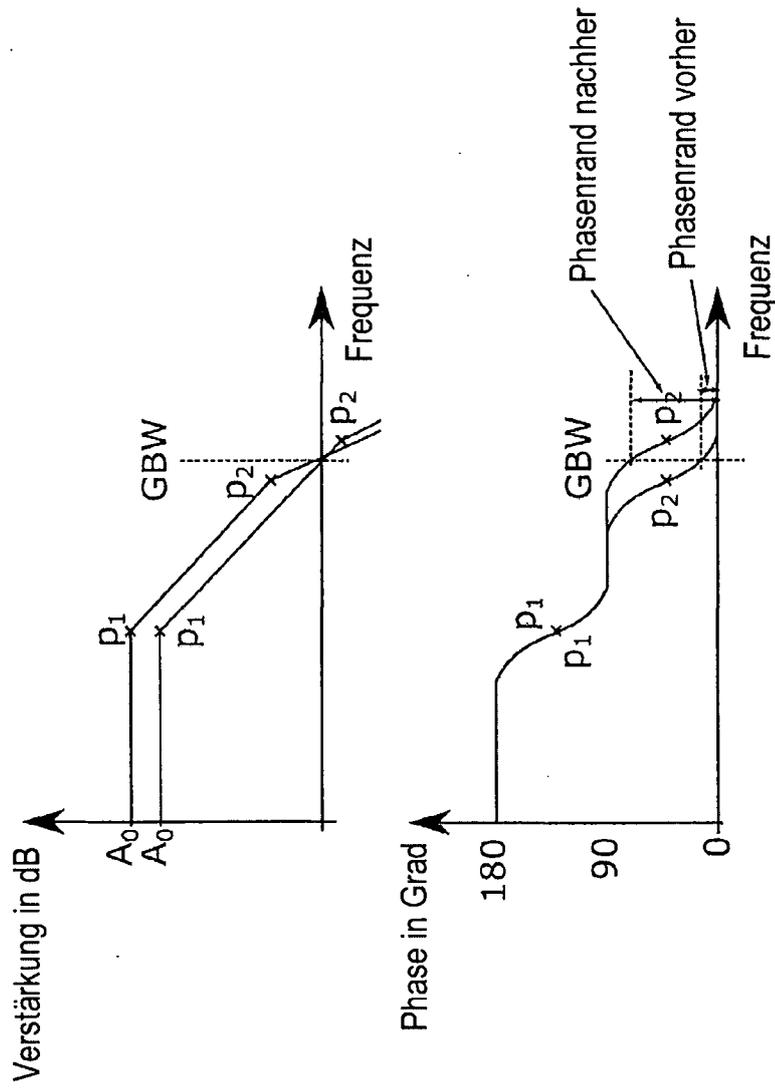


Fig. 5

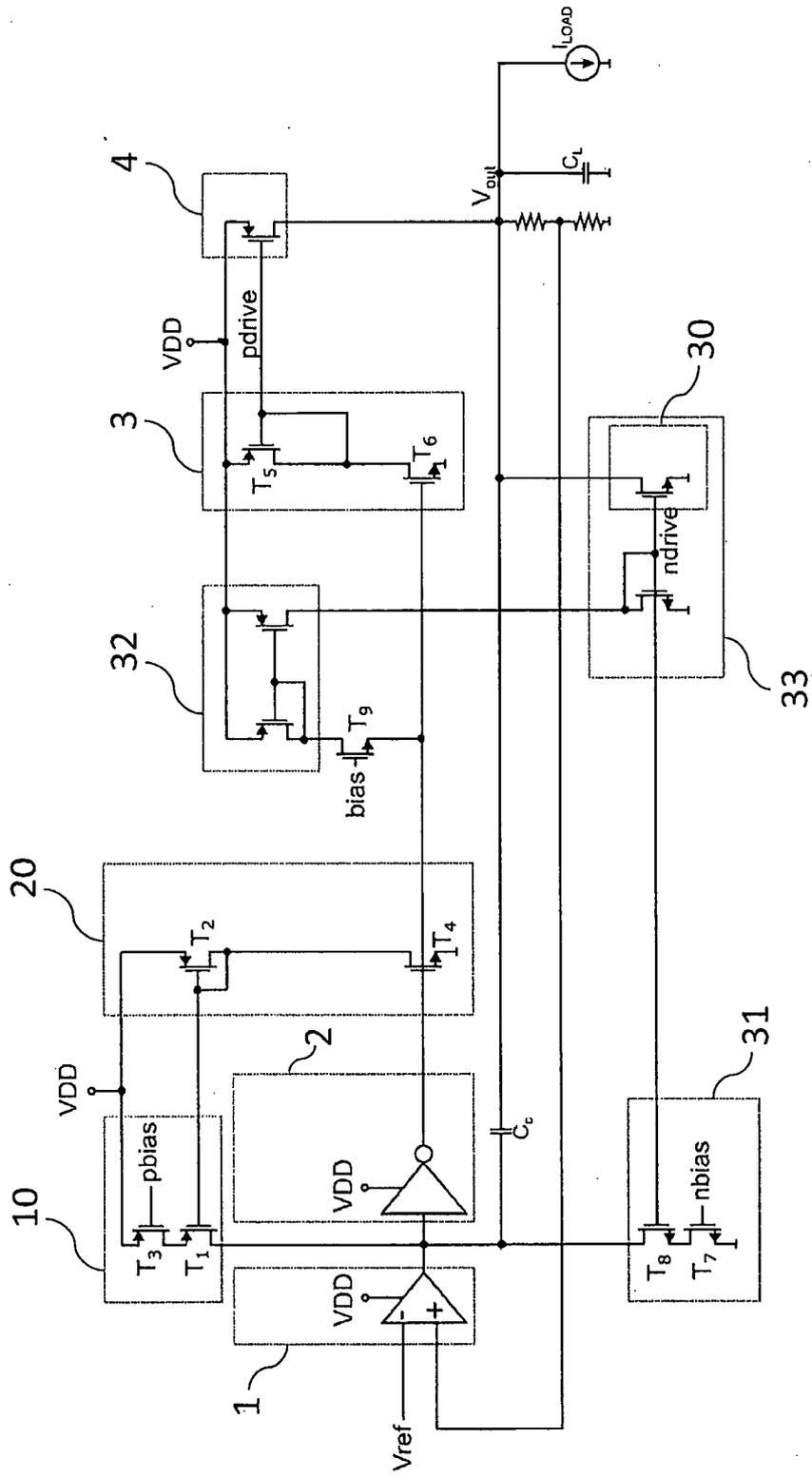


Fig. 6

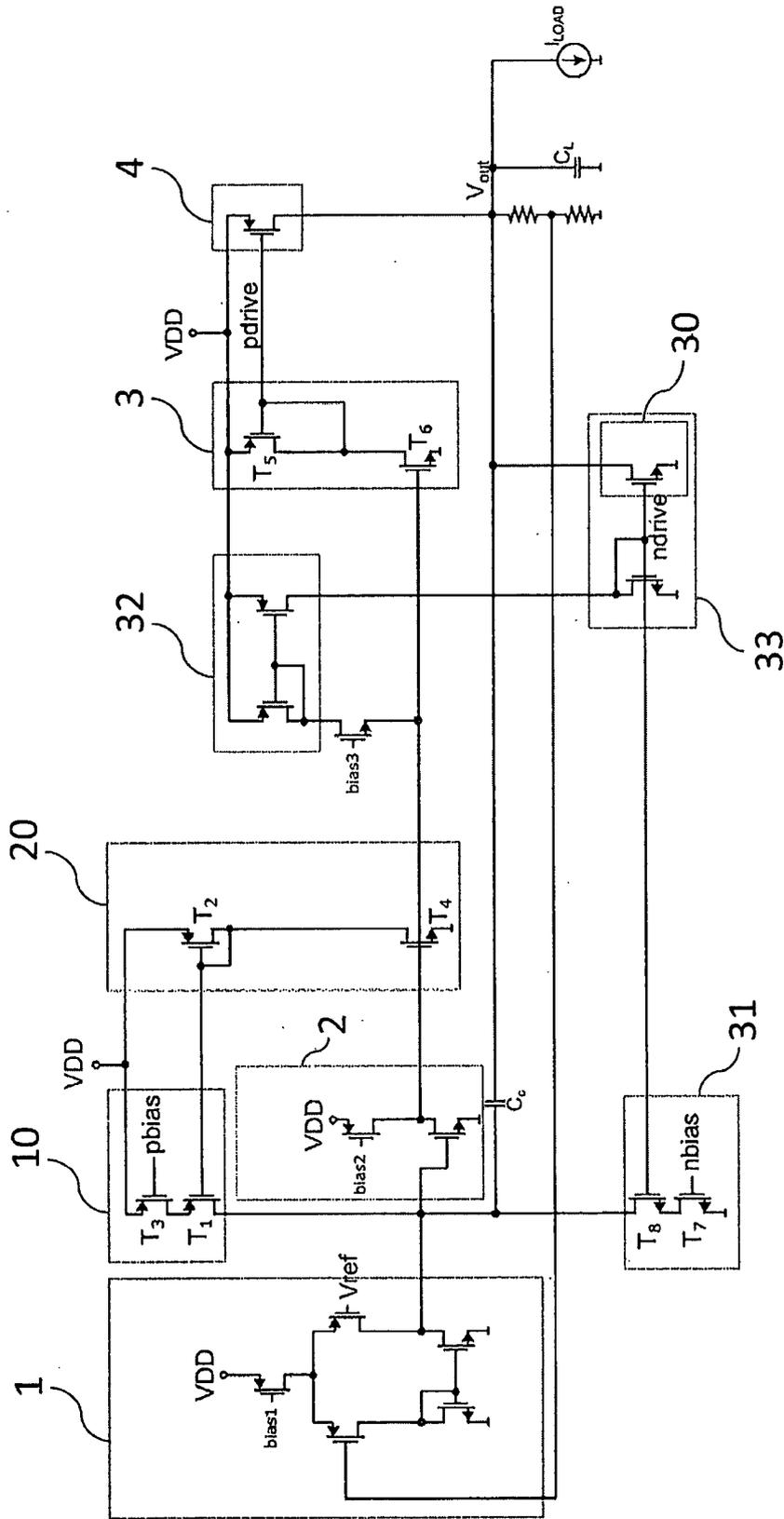


Fig. 7

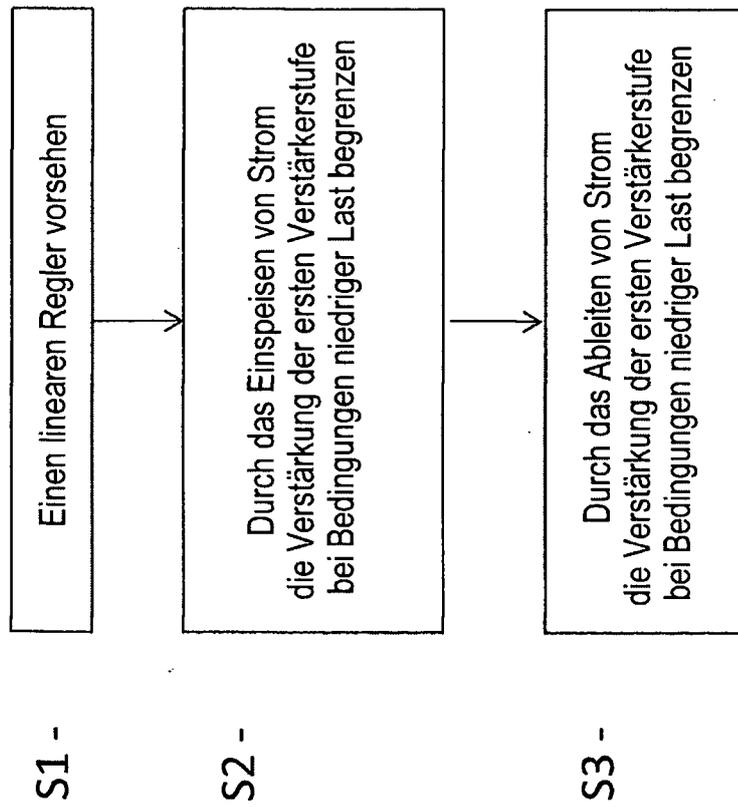


Fig. 8

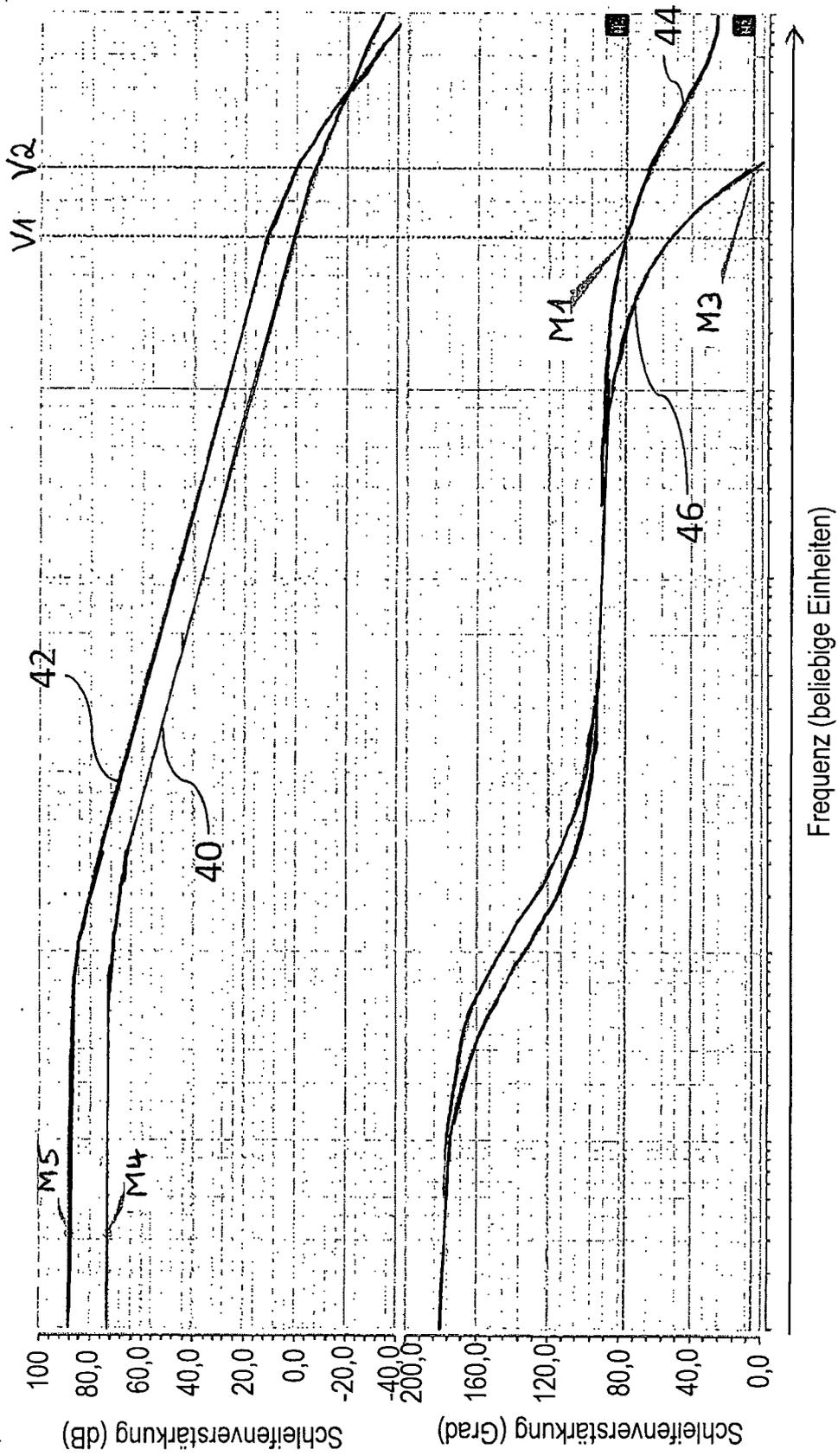


Fig. 9