

⑫ **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

④ Veröffentlichungstag der Patentschrift :
28.09.88

⑤ Int. Cl.⁴ : **G 05 F 1/56**

⑥ Anmeldenummer : **85107776.8**

⑦ Anmeldetag : **24.06.85**

⑤ Integrierte Konstantstromquelle.

⑩ Priorität : **16.07.84 DE 3426166**

④ Veröffentlichungstag der Anmeldung :
29.01.86 Patentblatt 86/05

④ Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenter-
teilung : **28.09.88 Patentblatt 88/39**

⑧ Benannte Vertragsstaaten :
AT CH DE FR GB IT LI NL

⑥ Entgegenhaltungen :
DE-A- 2 844 745
DE-A- 3 136 780

⑦ Patentinhaber : **Siemens Aktiengesellschaft Berlin
und München**
Wittelsbacherplatz 2
D-8000 München 2 (DE)

⑦ Erfinder : **Lachmann, Ulrich**
Badstrasse 13
D-8000 München 70 (DE)
Erfinder : **Krug, Erwin**
Peter Auzinger-Strasse 9
D-8000 München 90 (DE)

EP 0 169 388 B1

Anmerkung : Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft eine integrierte Konstantstromquelle nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Fig. 1 zeigt ein Prinzipschaltbild einer integrierten Konstantstromquelle der gattungsgemäßen Art. Ein derartige Konstantstromquelle enthält einen Operationsverstärker OP, der eine an seinem invertierenden Eingang eingespeiste Referenzspannung U_{ref} mit einer an einem Referenzwiderstand R_{ref} abfallenden Spannung vergleicht. Zur Erzeugung dieser Spannung ist an den Ausgang des Operationsverstärkers OP eine Transistorstufe T_1 angekoppelt, welche die Ausgangsspannung des Operationsverstärkers in einen entsprechenden Strom überführt. Ein mit I_{c1} bezeichneter Kollektorstrom dieser Transistorstufe T_1 fließt über den Referenzwiderstand R_{ref} , an dem aufgrund des ihn durchfließenden Stromes I_{c1} eine Spannung abfällt, die in den nichtinvertierenden Eingang des Operationsverstärkers OP eingespeist wird. Aufgrund des durch den Operationsverstärker OP durchgeführten Vergleichs wird die Transistorstufe T_1 so angesteuert, daß die Referenzspannung U_{ref} und die am Referenzwiderstand R_{ref} abfallende Spannung gleich sind. Damit ist das Produkt aus dem Kollektorstrom I_{c1} der Transistorstufe T_1 und dem Wert des Referenzwiderstandes R_{ref} gleich der Referenzspannung U_{ref} . Das bedeutet, daß auch der Kollektorstrom I_{c1} konstant ist.

Wie in Fig. 1 schematisch dargestellt, sind der Emitter der Transistorstufe T_1 sowie der Emitter einer im folgenden noch zu erläuternden Transistorstufe T_2 mit weiterer Beschaltung an eine Versorgungsspannung geführt. An der insoweit beschriebenen Konstantstromquelle wäre ein konstanter Strom bezogen auf die Versorgungsspannung abnehmbar. Für viele Anwendungsfälle einer in Rede stehenden Konstantstromquelle ist es jedoch erwünscht, den konstanten Strom gegen Bezugspotential (Masse) abzunehmen.

Zu diesem Zweck ist an den Ausgang des Operationsverstärkers OP die weitere Transistorstufe T_2 angekoppelt, im Kreis von deren Kollektor-Emitter-Strecke ein durch Transistoren T_3 , T_4 gebildeter Stromspiegel gegen Bezugspotential (Masse) liegt. Dieser Stromspiegel wird durch einen im Kollektor-Emitterkreis der Transistorstufe T_2 liegenden, als Diode geschalteten Bezugstransistor T_3 sowie einen von diesem gesteuerten Transistor T_4 gebildet, wobei über den letztgenannten Transistor T_4 und einen Ausgang A der Konstantstromquelle ein konstanter Ausgangsstrom I_a über einen nicht dargestellten, an den Ausgang A angekoppelten Verbraucher fließt.

Für den mit I_{c2} bezeichneten Kollektorstrom der Transistorstufe T_2 und damit — aufgrund der bekannten Funktion des Stromspiegels T_3 , T_4 — für den Ausgangsstrom I_a gelten die gleichen Zusammenhänge, wie dies oben für den Kollektorstrom I_{c1} der Transistorstufe T_1 erläutert wurde.

Die Konstanz der Ströme und insbesondere des

Ausgangsstroms I_a gilt jedoch nur in erster Näherung. Betrachtet man das Stromverhältnis beispielsweise im Promillebereich genauer, so zeigt sich, daß die Konstanz des Ausgangsstroms I_a für viele Anwendungsfälle nicht genau genug ist. Von dem von der Transistorstufe T_2 gelieferten Kollektorstrom I_{c2} geht nämlich ein Anteil verloren, der als Ansteuerstrom in Form von Basisströmen I_{B3} und I_{B4} für die Ansteuerung der Stromspiegel-Transistoren T_3 , T_4 erforderlich ist. Insbesondere hängen die genannten Basisströme von den Stromverstärkungen der Stromspiegel-Transistoren T_3 , T_4 ab, welche stark streuen können, wobei diese Streuung entsprechend in den Ausgangsstrom I_a eingeht. Dieser Effekt verstärkt sich noch, wenn zur Einstellung eines vorgegebenen Ausgangsstroms I_a im Stromspiegel für die Transistoren T_3 und T_4 ein Emitter- und/oder Kollektorflächenverhältnis von $1 : n$ gewählt wird, d. h. die Emitter- und/oder Kollektorfläche des Transistors T_4 n -mal größer als die Emitter- und/oder Kollektorfläche des Transistors T_3 ist.

Weiterhin wird die Ausgangsstromkonstanz auch durch den sogenannten Early-Effekt nachteilig beeinflusst, wobei es sich darum handelt, daß im aktiven Teil des Kennlinienfeldes eines Transistors der Kollektorstrom nicht unabhängig von der Kollektor-Emitter-Spannung ist, d. h. im Kennlinienfeld horizontal verläuft, sondern mit zunehmender Kollektor-Emitter-Spannung ebenfalls ansteigt.

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, bei einer integrierten Konstantstromquelle der vorstehend erläuterten Art eine Schaltung zur Kompensation von durch die Basisströme im Stromspiegel bedingten Schwankungen des Ausgangsstroms anzugeben, wobei diese Schaltung auch gleichzeitig zur Kompensation des Early-Effektes herangezogen werden kann.

Diese Aufgabe wird bei einer integrierten Konstantstromquelle der eingangs genannten Art erfindungsgemäß durch die Merkmale des kennzeichnenden Teils des Patentanspruchs 1 gelöst.

Weiterbildungen der Erfindungsgedankens sind in Unteransprüchen gekennzeichnet.

Die Erfindung wird im folgenden anhand eines in Fig. 2 der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert. Fig. 2 zeigt dabei ein Schaltbild einer erfindungsgemäß erweiterten integrierten Konstantstromquelle nach Fig. 1, wobei in den Figuren 1 und 2 gleiche Elemente mit gleichen Bezugszeichen versehen sind.

Hinsichtlich des Operationsverstärkerteils, des Referenzkreises T_1 , R_{ref} und des Stromspiegelkreises T_2 , T_3 , T_4 stimmt die Schaltungsanordnung nach Fig. 2 mit der Schaltungsanordnung nach Fig. 1 überein, so daß hier auf die entsprechenden Ausführungen zur Schaltungsanordnung nach Fig. 1 verwiesen werden kann.

Die Schaltungsanordnung nach Fig. 2 enthält einen weiteren Stromspiegel T_7 , T_8 , wobei im

Kollektor-Emitterkreis des gesteuerten Transistors T_7 dieses Stromspiegels ein Transistor T_6 liegt, der mit seiner Basis an den Referenzwiderstand R_{ref} angekoppelt ist. Über diesen Transistor T_6 , der die am Widerstand R_{ref} stehende Spannung in einen entsprechenden Strom überführt, « holt » sich der Stromspiegel T_7, T_8 einen Strom, in den ebenfalls der durch die Basisströme der Transistoren T_7, T_8 bedingte Fehler eingeht. Dieser Fehlerstrom ist in Fig. 2 mit I_F bezeichnet. Unter der Voraussetzung, daß sich die Transistoren T_3, T_4 des ersten Stromspiegels und die Transistoren T_7, T_8 in ihren Eigenschaften entsprechen, entsteht also im zweiten Stromspiegel T_7, T_8 der gleiche durch die Basisströme bedingte Fehler, wie dies durch die Basisströme I_{B3}, I_{B4} im ersten Stromspiegel T_3, T_4 bedingt ist. In monolithisch integrierter Technik ist praktisch immer erfüllt, daß die Eigenschaften der genannten Transistoren im wesentlichen miteinander übereinstimmen. Mindestens ist es jedoch mit sehr guter Ausbeute möglich, durch entsprechend schaffe Messungen diejenigen Exemplare auszuschalten, in denen die Transistoren T_3, T_4 des ersten Stromspiegels bzw. T_7, T_8 des zweiten Stromspiegels nicht ausreichend gut « gepaart » sind.

Da also von den über den Referenzwiderstand R_{ref} fließenden Kollektorstrom I_{c1} der Transistorstufe T_1 , d. h., vom Referenzstrom, der Fehlerstrom entsprechend den Basisströmen im Stromspiegel T_7, T_8 subtrahiert wird, ergibt sich, wenn überhaupt, ein sehr kleiner resultierender Fehler im Ausgangsstrom I_a . Aus den vorstehenden Ausführungen folgt, daß für die durch die Basisströme in einem Stromspiegel bedingten Fehler eine Kompensation allein dadurch durchgeführt werden könnte, daß der Transistor T_6 ebenso wie die Transistoren T_1, T_2, T_5 an die Versorgungsspannung geführt würde. Die erfindungsgemäße Schaltungsanordnung nach Fig. 2 besitzt jedoch den weiteren Vorteil, daß mit der Kompensation der genannten, durch die Basisströme in einem Stromspiegel bedingten Fehler in einfacher Weise auch gleichzeitig eine Kompensation von durch den Early-Effekt der Stromspiegel-Transistoren bedingten Fehler möglich ist. Dieser Fehler ergibt sich dadurch, daß die Kollektoren der Transistoren T_3, T_4 des ersten Stromspiegels aufgrund des Early-Effektes unterschiedliche Potentiale haben können.

Um diesen Fehler gleichzeitig zu kompensieren, ist die den konstanten, aber noch mit Fehlern aufgrund der Early-Effektes behafteten Ausgangsstrom I_a führende Transistorstufe T_4 über einen als Spannungsfolger geschalteten weiteren Operationsverstärker OP_1 an die an den Referenzwiderstand R_{ref} angekoppelte Transistorstufe T_6 gekoppelt. Dieser Transistor T_6 liegt dabei mit seiner Kollektor-Emitter-Strecke im Kreis der den gespiegelten Strom führenden Transistorstufe T_7 des zweiten Stromspiegels T_6, T_7 und mit seiner Basis am Referenzwiderstand R_{ref} . Da ein als Spannungsfolger (durch Rückkopplung seines Ausgangs auf den invertierenden Eingang) geschalteter Operationsverstärker die Spannungs-

verstärkung 1 besitzt, liegt am Kollektor des Transistors T_6 die gleiche Spannung wie am Kollektor des den Ausgangsstrom I_a führenden Transistors T_4 des ersten Stromspiegels T_3, T_4 , so daß am Transistor T_6 der gleiche Early-Effekt wirksam ist, wodurch eine Kompensation von durch den Early-Effekt im Ausgangsstrom I_a bedingten Fehlern realisiert ist.

Wenn, wie eingangs anhand der Schaltungsanordnung nach Fig. 1 ausgeführt wurde, zur Einstellung eines vorgegebenen Wertes des Ausgangsstroms I_a ein erster Stromspiegel T_3, T_4 gewählt wird, in dem der als Diode geschaltete Bezugstransistor T_3 und der von diesem gesteuerte, den (gespiegelten) konstanten Ausgangsstrom I_a führende Transistor T_4 ein Emitter- und/oder Kollektorflächenverhältnis von $1 : n$ besitzen, so ist in Weiterbildung der Erfindung zur Berücksichtigung dieses Flächenverhältnisses vorgesehen, daß der an den Referenzwiderstand R_{ref} und den weiteren Operationsverstärker OP_1 gekoppelte Transistor T_6 bezogen auf die Emitter- und/oder Kollektorfläche des Bezugstransistors T_3 des ersten Stromspiegels T_3, T_4 ein n -fache Emitter- und/oder Kollektorfläche und der als Diode geschaltete als Bezugstransistor wirkende Transistor T_8 sowie der den gespiegelten Strom führende Transistor T_7 des zweiten Stromspiegels T_7, T_8 ein Emitter- und/oder Kollektorflächenverhältnis von $1 : (n + 1)$ besitzen. Damit bleibt die kompensierende Wirkung auch für einen durch das Verhältnis n festgelegten Ausgangsstrom I_a erhalten.

Patentansprüche

1. Integrierte Konstantstromquelle mit einem Operationsverstärker (OP), dem an seinem invertierenden Eingang (-) eine Referenzspannung (U_{ref}) führbar ist und an dessen Ausgang ein seine Ausgangsspannung in einen Strom (I_{c1}) überführende erste Stufe (T_1) angekoppelt ist, einem in Kreis der ersten Stufe (T_1) liegenden Referenzwiderstand (R_{ref}), von dem zur Kopplung der an ihm abfallenden Spannung eine Kopplung auf den nichtinvertierenden Eingang (+) des Operationsverstärkers (OP) vorgesehen ist, einer zweiten an den Ausgang des Operationsverstärkers (OP) angekoppelten, dessen Ausgangsspannung in einen Strom (I_{c2}) überführenden Stufe (T_2) und einem ersten, einen in erster Näherung konstanten Ausgangsstrom (I_a) liefernden Stromspiegel (T_3, T_4) im Kreis der zweiten Stufe (T_2), gekennzeichnet durch eine dritte an den Ausgang des Operationsverstärkers (OP) angekoppelte, dessen Ausgangsspannung in einen Strom (I_{c5}) überführende Stufe (T_5), einen zweiten im Kreis der dritten Stufe (T_5) liegenden Stromspiegel (T_7, T_8) und eine an den Referenzwiderstand (R_{ref}) gekoppelte Stufe (T_6), die im Kreis der Stufe (T_7) des zweiten Stromspiegels (T_7, T_8) liegt, welcher den gespiegelten Strom führt.

2. Integrierte Konstantstromquelle nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die den

konstanten Ausgangsstrom (I_a) führende Stufe (T_4) des ersten Stromspiegels (T_3, T_4) über einen als Spannungsfolger geschalteten weiteren Operationsverstärker (OP_1) an die an dem Referenzwiderstand (R_{ref}) angekoppelte Stufe (T_6) gekoppelt ist.

3. Integrierte Konstantstromquelle nach Anspruch 1/oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die an den Referenzwiderstand (R_{ref}) gekoppelte Stufe (T_6) durch einen Transistor gebildet ist, der mit seiner Kollektor-Emitter-Strecke im Kreis der den gespiegelten Strom führenden Stufe (T_7) des zweiten Stromspiegels (T_6, T_7) und mit seiner Basis am Referenzwiderstand (R_{ref}) liegt.

4. Integrierte Konstantstromquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 3, mit einem ersten Stromspiegel (T_3, T_4), in dem ein als Diode geschalteter Bezugstransistor (T_3) und der von diesem gesteuerte, den (gespiegelten) konstanten Ausgangsstrom (I_a) führende Transistor (T_4) ein Emitter- und/oder Flächenverhältnis von $1 : n$ besitzen, dadurch gekennzeichnet, daß der an den Referenzwiderstand (R_{ref}) und den weiteren Operationsverstärker (OP_1) gekoppelte Transistor (T_6) bezogen auf die Emitter- und/oder Kollektorfläche des Bezugstransistors (T_3) des ersten Stromspiegels (T_3, T_4) eine n -fache Emitter- und/oder Kollektorfläche und ein als Diode geschalteter Bezugstransistor (T_8) sowie der den gespiegelten Strom führende Transistor (T_7) des zweiten Stromspiegels (T_7, T_8) ein Emitter- und/oder Kollektorflächenverhältnis von $1 : (n + 1)$ besitzen.

Claims

1. An integrated constant current source comprising : an operational amplifier (OP) which, at its inverting input (-), can be supplied with a reference voltage (U_{ref}), and whose output can be coupled to a first stage (T_1) which converts its output voltage into a current (I_{c1}), a reference resistor (R_{ref}) located in the circuit of the first stage (T_1) and which couples the voltage drop across said resistor to the non-inverting input (+) of the operational amplifier (OP), a second stage (T_2) coupled to the output of the operational amplifier (OP) which converts the output voltage of the operational amplifier into a current (I_{c2}), and a first current reflector (T_3, T_4) which supplies an output current (I_a), constant in first approximation, and located in the circuit of the second stage (T_2), characterised by a third stage (T_5) coupled to the output of the operational amplifier (OP) which converts the output voltage of the operational amplifier into a current (I_{c5}), a second current reflector (T_7, T_8) arranged in the circuit of the third stage (T_5), and a stage (T_6) coupled to the reference resistor (R_{ref}) and located in the circuit of the stage (T_7) of the second current reflector (T_7, T_8) which conducts the reflected current.

2. An integrated constant current source as claimed in Claim 1, characterised in that the stage (T_4) of the first current reflector (T_3, T_4) which

conducts the constant output current (I_a), is coupled via a further operational amplifier (OP_1) connected as a voltage follower to the stage (T_6) which is coupled to the reference resistor (R_{ref}).

3. An integrated constant current source as claimed in Claim 1 and/or 2, characterised in that the stage (T_6) which is coupled to the reference resistor (R_{ref}) is formed by a transistor whose collector-emitter path is located in the circuit of the stage (T_7) of the second current reflector (T_6, T_7) which conducts the reflected current, and whose base is connected to the reference resistor (R_{ref}).

4. An integrated constant current source as claimed in one of Claims 1 to 3, comprising a first current reflector (T_3, T_4) in which a reference transistor (T_3) connected as a diode to control the transistor (T_4) which conducts the (reflected) constant output current (I_a) possess an emitter and/or collector surface area ration of $1 : n$, characterised in that, relative to the emitter and/or collector surface area of the reference transistor (T_3) of the first current reflector (T_3, T_4), the transistor (T_6) coupled to the reference resistor (R_{ref}) and to the further operational amplifier (OP_1) has an n -fold emitter and/or collector surface area, and a reference transistor (T_8) connected as a diode, and the transistor (T_7) of the second current reflector (T_7, T_8), which conducts the reflected current, possesses an emitter and/or collector surface area ratio of $1 : (n + 1)$.

35 Revendications

1. Source de courant constant intégrée, comprenant un amplificateur opérationnel (OP), à l'entrée inverseuse (-) duquel peut être appliquée une tension de référence (U_{ref}) et à la sortie duquel est couplé un premier étage (T_1) qui transforme sa tension de sortie en un courant (I_{c1}), une résistance de référence (R_{ref}) disposée dans le circuit du premier étage (T_1), à partir de laquelle, en vue du couplage de la chute de tension produite sur elle, un couplage est prévu avec l'entrée non inverseuse (+) de l'amplificateur opérationnel (OP), un deuxième étage (T_2) couplé à la sortie de l'amplificateur opérationnel (OP) et transformant la tension de celui-ci en un courant (I_{c2}), de même qu'un premier montage de courant dit à miroir ou montage symétrique de courant (T_3, T_4), prévu dans le circuit du second étage (T_2) et fournissant un courant de sortie (I_a) constant en première approximation, caractérisée par un troisième étage (T_5), couplé à la sortie de l'amplificateur opérationnel (OP) et transformant la tension de sortie de celui-ci en un courant (I_{c5}), un second montage symétrique de courant (T_7, T_8) prévu dans le circuit du troisième étage (T_5), ainsi qu'un étage (T_6), couplé à la résistance de référence (R_{ref}), qui est prévu dans le circuit de l'étage (T_7) du second montage symétrique de courant (T_7, T_8) par lequel passe le courant reflété.

2. Source selon la revendication 1, caractérisée en ce que l'étage (T_4) du premier montage symétrique de courant (T_3 , T_4) par lequel passe le courant de sortie (I_a) constant, est couplé, à travers un amplificateur opérationnel (OP_1) supplémentaire, monté en suiveur de tension, à l'étage (T_6) couplé à la résistance de référence (R_{ref}).

3. Source selon la revendication 1 ou 2, caractérisée en ce que l'étage (T_6) couplé à la résistance de référence (R_{ref}) est formé par un transistor qui est connecté par son trajet collecteur-émetteur dans le circuit de l'étage (T_7) du second montage symétrique de courant (T_6 , T_7) par lequel passe le courant reflété, et qui est connecté par sa base à la résistance de référence (R_{ref}).

4. Source selon une des revendications 1 à 3, comprenant un premier montage symétrique de courant (T_3 , T_4), dans lequel un transistor de

référence (T_3) monté en diode et le transistor (T_4) commandé par celui-ci et par lequel passe le courant de sortie (I_a) constant (reflété), possèdent un rapport d'aires de surface des émetteurs et/ou des collecteurs de $1 : n$, caractérisée en ce que le transistor (T_6), couplé à la résistance de référence (R_{ref}) et à l'amplificateur opérationnel (OP_1) supplémentaire, possède une aire de surface d'émetteur et/ou de collecteur correspondant à n fois l'aire de surface de l'émetteur et/ou du collecteur du transistor de référence (T_3) du premier montage symétrique de courant (T_3 , T_4) et que le transistor (T_8), monté en diode et agissant comme transistor de référence, de même que le transistor (T_7) parcouru par le courant reflété du second montage symétrique de courant (T_7 , T_8), possèdent un rapport d'aires de surface des émetteurs et/ou des collecteurs de $1 : (n + 1)$.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

5

FIG 1

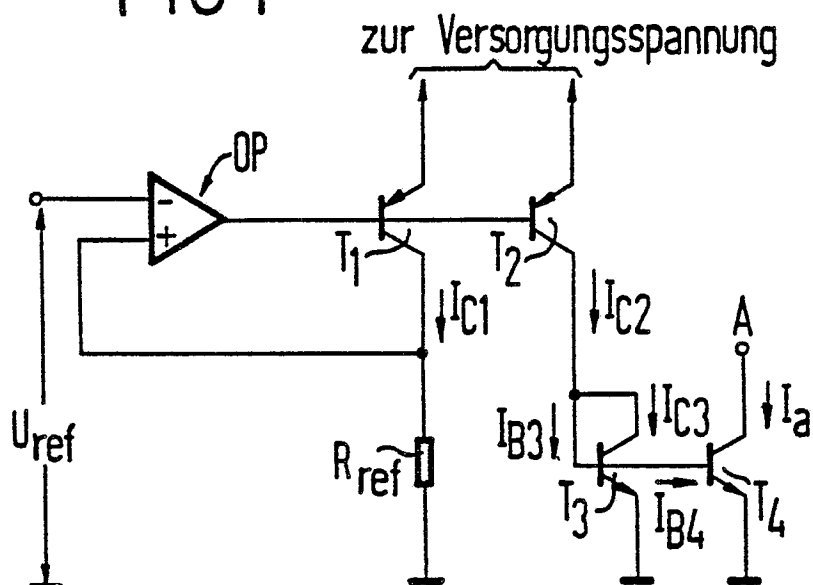


FIG 2

