



Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 18 Absatz 2 Patentgesetz

ISSN 0433-6461

(11)

215 222

Int.Cl.³ 3(51) H 03 F 1/30
H 03 F 3/45

AMT FUER ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

(21) WP H 03 F/ 2422 746

(22) 05.08.82

(45) 31.10.84

(71) VE KOMBINAT PRAECITRONIC; DRESDEN, DD
(72) PRUCHNIK, HELMUT; DD;

(54) SCHALTUNGSANORDNUNG ZUR STROM-SPANNUNGS-WANDLUNG

(57) Die Erfindung betrifft eine Schaltungsanordnung zur Strom-Spannungs-Wandlung eines sich über mehrere Zehnerpotenzen ändernden elektrischen Stromes, insbesondere zur Messung von Photoströmen. Wünschenswert ist im Falle von Pegelmessungen eine streng logarithmische Abhängigkeit der Ausgangsspannung vom Eingangsstrom. Ziel der Erfindung ist eine Schaltung, die eine geringe Temperaturabhängigkeit und einen genauen logarithmischen Kennlinienverlauf über viele Dekaden aufweist, ohne daß Abgleicharbeiten notwendig sind. Die Schaltung soll außerdem integrationsfreundlich sein. Die erfindungsgemäße Schaltungsanordnung verbessert bekannte Schaltungsanordnungen mit nichtlinearem Bauelement im Gegenkopplungsweig eines Operationsverstärkers, indem zwei weitere gleichartige nichtlineare Bauelemente, die mit dem ersten auf einem Halbleiterchip integriert sind zur Temperaturkompensation eingesetzt werden und indem die Kennlinie nach kleinen Strömen durch Einsatz eines Zerhackerverstärkers und nach großen Strömen durch Kompensation des linearen Anteils der Kennlinie des nichtlinearen Bauelementes erweitert wird. Fig. 5

Schaltungsanordnung zur Strom-Spannungs-Wandlung

ANWENDUNGSGEBIET

Die Erfindung betrifft eine Schaltungsanordnung zur Strom-Spannungs-Wandlung eines sich über mehrere Zehnerpotenzen ändernden elektrischen Stromes, insbesondere zur Messung von Photoströmen in der optischen Nachrichtentechnik oder bei der Belichtungsmessung.

CHARAKTERISTIK BEKANNTER TECHNISCHER LÖSUNGEN

Die Lichtleistung, die bei optischen Nachrichtensystemen z. B. zur Bestimmung der Dämpfung des Lichtleitkabels gemessen wird, ändert sich je nach Länge und Qualität der Übertragungsstrecke um mehrere Zehnerpotenzen. In gleicher Weise ändert sich der zur Messung dienende Photostrom von Photodioden, da dieser im Kurzschlußbetrieb über 8 und mehr Zehnerpotenzen proportional zur empfangenen Lichtleistung ist.

Die Ausgangsspannung eines Verstärkers kann aber kaum mehr als 4 Zehnerpotenzen überstreichen, da sie nach oben durch die Betriebsspannung und nach unten durch das Rauschen begrenzt wird.

Um einen größeren Dynamikbereich des Eingangsstromes zu lassen zu können, verwendet man Verstärker mit

nichtlinearen Übertragungskennlinien, durch die eine Dynamikkompression erfolgt. Bewirkt die Übertragungskennlinie, daß die Größe der Ausgangsspannung des Verstärkers proportional dem Logarithmus des Eingangsstromes ist, so
 5 kann die Lichtleistung vorteilhafterweise direkt in der international üblichen Maßeinheit dBm angezeigt werden.

Es sind Anordnungen bekannt (Balcke/Krause: Grundlagen der analogen Schaltungstechnik, VEB Verlag Technik 1981, S. 245), die im Rückkopplungsweig eines Operationsver-
 10 stärkers mit Elementen mit nichtlinearer, vorzugsweise exponentieller Kennlinie arbeiten. Dafür eignen sich vorzugsweise Dioden oder als Diode geschaltete bipolare Transistoren, da der Durchlaßstrom einer Halbleiterdiode über viele Zehnerpotenzen exponentiell von der anliegenden
 15 Spannung abhängig ist. Leider ist aber diese Diodenkennlinie sehr stark temperaturabhängig. So bewirkt beispielsweise eine Temperaturänderung von 30 K die gleiche Änderung der Durchlaßspannung einer Diode wie ein 10fach höherer Durchlaßstrom. Bekanntlich lassen sich solche Tempe-
 20 raturabhängigkeiten durch Kompensationsschaltungen unter Verwendung eines oder mehrerer Elemente mit möglichst gleichen physikalischen Eigenschaften mehr oder weniger gut kompensieren.

So wird bekanntermaßen (s. DD-PS 146 730), die Temperatur-
 25 abhängigkeit der oben beschriebenen Schaltung verbessert, indem an den Ausgang des Operationsverstärkers eine gleichartige Diode angeschaltet wird, die von einem konstanten Strom durchflossen wird, dessen Größe innerhalb des Bereichs des Meßstromes liegt.

30 Nachteilig bei dieser Schaltung ist, daß die Kompensation nur für einen bestimmten Wert des Meßstromes exakt ist. Bei einer Abweichung des Meßstromes um eine Zehnerpotenz von diesem Wert ergibt sich bei einer Temperaturänderung von 30 K bereits ein Meßfehler von 10 % und bei einer Meßstromänderung um mehrere Zehnerpotenzen sind Meßfehler

bis zu einer Größenordnung real, was den Einsatz der Schaltung für Meßgeräte mit hohem Dynamikumfang verbietet.

Zur weiteren Reduzierung der Temperaturabhängigkeit werden bekanntermaßen (s. DD-PS 146 730 oder ATM vom März 5 1976 S. 89) Spannungsteiler mit temperaturabhängigen Widerständen verwendet. Letztere haben aber den Nachteil, daß sie sehr große Exemplarstreuungen der Werte des Temperaturkoeffizienten aufweisen, wodurch individuelle Abgleicharbeiten nötig werden. Außerdem lassen sie sich 10 nicht in Festkörperschaltkreise integrieren. In einer weiteren Lösung des Problems (DE-OS 25 52 863) wird eine Temperaturkompensation mittels eines temperaturabhängigen Zusatzstromes der in einen Spannungsteiler am Ausgang des Operationsverstärkers mit nichtlinearem Halbleiterbauele- 15 ment gespeist wird, erreicht. Dieser Strom wird von einem Transistorverstärker erzeugt. Nachteilig ist auch bei dieser Schaltung, daß die optimale Temperaturkompensation nur durch Abgleich (des Basisstromes, des Transistorverstärkers) zu erreichen ist.

20 ZIEL DER ERFINDUNG

Ziel der Erfindung ist eine Schaltungsanordnung zur Strom-Spannungs-Wandlung eines sich über mehrere Zehnerpotenzen 25 ändernden elektrischen Stromes, die trotz Verwendung stark temperaturabhängiger Bauelemente mit nichtlinearer Kennlinie, ohne Abgleicharbeiten zu erfordern, eine sehr geringe Temperaturabhängigkeit der Ausgangsgröße besitzt. Die Schaltung soll außerdem integrationsfreudig sein.

WESEN DER ERFINDUNG

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Schaltung mit einem Bauelement mit nichtlinearer Kennlinie im Gegenkopplungszweig eines Operationsverstärkers mit geeigneten Mitteln so zu erweitern, daß die Temperaturabhängigkeit dieses Bauelementes weitgehendst kompensiert wird.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß am Ausgang des Operationsverstärkers zwei Bauelemente gleichen Typs, wie das im Gegenkopplungszweig liegende, parallel angeschaltet sind, die beide von Konstantstrom-
 5 quellen gespeist werden und daß eines dieser Bauelemente mit dem invertierenden Eingang eines weiteren Operationsverstärkers, in dessen Gegenkopplungszweig ein ohmscher Widerstand liegt, verbunden ist, während das andere Bauelement über ein lineares Dämpfungsglied mit dem nicht-
 10 invertierenden Eingang dieses Operationsverstärkers verbunden ist.

Die Temperaturabhängigkeit der Ausgangsspannung dieser Schaltungsanordnung ist über viele Zehnerpotenzen des Eingangsstromes vernachlässigbar klein. Die Schaltung läßt
 15 sich aber erfindungsgemäß noch weiter verbessern, indem vor dem Dämpfungsglied ein von einem Rechteckgenerator gesteuerter Schalter, vor dem invertierenden Eingang ein Kondensator und am Ausgang des Operationsverstärkers ein weiterer Kondensator und dahinter eine Gleichrichterschaltung
 20 angeordnet werden. Der Ausgang der Gleichrichterschaltung stellt den Spannungsausgang der Wandlerschaltung dar.

Durch diese weitere Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Schaltung werden störende Drifterscheinungen des zweiten
 25 Operationsverstärkers unwirksam, wodurch die Genauigkeit weiter erhöht wird. Eine, im Hinblick auf die konkrete Realisierung und die Integrationsfreudigkeit der Schaltung, positive Veränderung, besteht erfindungsgemäß darin, daß eines der Bauelemente mit nichtlinearer Kennlinie nicht
 30 zwischen dem Ausgang des ersten Operationsverstärkers und dem Schalter, sondern, einschließlich der dazugehörenden Konstantstromquelle, mit umgekehrter Polung zwischen Fußpunkt des Spannungsteilers und Bezugspotential (Masse) liegt. In dieser Schaltungsanordnung ist es möglich, das Bauelement mit nichtlinearer Kennlinie und die Konstantstromquelle durch eine Anordnung zu ersetzen, die

aus einem Operationsverstärker besteht, mit dem gleichen Bauelement im Gegenkopplungszweig und einem Widerstand vor dem invertierenden Eingang, an dem eine Konstantspannung anliegt und dessen nichtinvertierender Eingang 5 an Masse liegt.

Die Rauscheigenschaften der Schaltung und damit die Dynamik werden erfindungsgemäß weiter verbessert, wenn für den Gleichrichter am Ausgang ein phasenempfindlicher Gleichrichter verwendet wird, dessen Steuereingang an 10 den bereits vorhandenen Rechteckgenerator angeschlossen ist.

Die Realisierung des Schalters erfolgt zweckmäßig durch einen Transistor, da sich dieser einfach integrieren läßt. Als Bauelemente mit nichtlinearer Kennlinie eignen 15 sich wegen des exponentiellen Kennlinienverlaufs insbesondere Halbleiterbauelemente mit pn-Strukturen, wie Dioden oder als Diode geschaltete bipolare Transistoren. Die Strom-Spannungs-Kennlinie dieser Bauelemente hat bei kleinen Strömen einen guten exponentiellen Verlauf. Erst 20 bei Strömen von einigen mA, wenn der Bahnwiderstand wirksam wird, weicht der Verlauf davon ab. Der Einfluß des Bahnwiderstandes läßt sich erfindungsgemäß dadurch stark reduzieren, daß an den Gegenkopplungszweig des ersten Operationsverstärkers in Reihe mit dem Halbleiterbauelement, 25 ausgangsseitig ein ohmscher Widerstand geschaltet wird und daß zwischen dem Ausgang des ersten Operationsverstärkers und dem nachfolgenden Schalter ein Differenzverstärker mit linearer Übertragungskennlinie eingefügt wird.

30 Der Differenzverstärker wird so eingefügt, daß sein invertierender Eingang am Ausgang des Operationsverstärkers, sein nichtinvertierender Eingang am Verbindungspunkt von Widerstand und Halbleiterbauelement und sein Ausgang am Schalter liegt.

Die besten Eigenschaften der Schaltung bzgl. ihres Temperaturverhaltens ergeben sich, wenn alle 3 Bauelemente mit nichtlinearer Kennlinie gleiche Kennlinienverläufe haben und untereinander die gleiche Temperatur aufweisen. Das ist am besten zu erreichen, wenn alle 3 Bauelemente in integrierter Technik auf einem Substrat hergestellt sind. Besonders kostengünstig ist die Schaltung, wenn sie insgesamt auf einem oder auch mehreren Substraten in integrierter Technik hergestellt wird, wo-
 5 zu sie sich durch den überwiegenden Bestand aus Halbleiterbauelementen bestens eignet.

AUSFÜHRUNGSBEISPIEL

Die Erfindung wird anhand der in der Zeichnung wiedergegebenen Ausführungsbeispiele näher erläutert. In der
 15 Zeichnung zeigen

- Fig. 1 Die grundsätzliche erfinderische Schaltung
- Fig. 2 Eine verbesserte Ausführung der grundsätzlichen erfinderischen Schaltung
- Fig. 3 Eine veränderte Ausführung der Schaltung nach
 20 Fig. 2
- Fig. 4 Die zweckmäßige Realisierung eines Bauelementes mit nichtlinearer Kennlinie mit Konstantstromquelle
- Fig. 5 Eine zweckmäßige Realisierung der Gesamtschaltung nach Fig. 3
 25
- Fig. 6 Eine Teilschaltung zur Verbesserung des exponentiellen Verlaufs der Kennlinie

In Fig. 1 ist zunächst die bekannte Anordnung eines Operationsverstärkers 2, in dessen Gegenkopplungszweig sich
 30 ein Bauelement mit nichtlinearer Kennlinie 1 befindet dargestellt. Dem Ausgang des Operationsverstärkers sind gemäß der Erfindung zwei Bauelemente mit der gleichen nichtlinearen Kennlinie 3 und 4 nachgeschaltet, die von

getrennten Konstantstromquellen 5 und 6 gespeist werden. Das Bauelement 3 ist außerdem mit einem Spannungsteiler 7 verbunden, an dessen Ausgang der nichtinvertierende Eingang eines weiteren Operationsverstärkers 9 liegt. Das Bauelement 4 ist außer mit der Konstantstromquelle noch mit dem nichtinvertierenden Eingang des Operationsverstärkers 9 verbunden. Im Gegenkopplungszweig dieses Operationsverstärkers liegt ein linearer Widerstand 8.

Am Ausgang des Operationsverstärkers 2 steht eine Spannung U_{a1} , die in gleicher Weise von dem in den Eingang E der Schaltung fließenden Meßstrom I_x abhängt, wie die Strom-Spannungs-Kennlinie des Bauelementes 1. Eingangs- und Ausgangswiderstand dieser Schaltung sind nahe Null. Die Temperaturabhängigkeit der Schaltung kann nicht geringer sein, als die des Bauelementes 1. Die Spannung U_{a2} , die hinter dem Bauelement 3 entsteht hat bereits eine geringere Temperaturabhängigkeit, die Null wird für den Fall, daß der Meßstrom I_x gleichgroß ist dem Konstantstrom I_{01} , weil in diesem Fall exakt $U_{a2} = 0$ gilt. Die lineare Temperaturabhängigkeit der Spannung U_{a2} für $I_x \neq I_{01}$ wird durch den erfindungsgemäßen Schaltungsteil kompensiert. Das geschieht dadurch, daß die Verstärkung des Operationsverstärkers 9 in gleicher Weise temperaturabhängig ist, wie das Bauelement 4. Sie ergibt sich aus dem Quotienten des linearen Widerstandes 8 und dem durch den Konstantstrom I_{02} festgelegten, temperaturabhängigen Widerstand des Bauelementes 4. Die Ausgangsspannung U_{a3} , die durch temperaturabhängige Verstärkung der mittels des Dämpfungsgliedes 7 reduzierten Spannung U_{a2} , entsteht, ist (bei richtiger Dimensionierung) nicht mehr von der Temperatur abhängig.

Der Widerstand 8 wird zweckmäßigerweise so groß gewählt, daß die Verstärkung des Operationsverstärkers 9 größer ist, als die Dämpfung des Dämpfungsgliedes 7, so daß insgesamt noch eine Verstärkung der Ausgangsspannung U_{a2}

des Operationsverstärkers 2 erfolgt.

Der Konstantstrom I_{o2} wird vorzugsweise so gewählt, daß die Ausgangsspannung U_{a3} Null wird, wenn die Spannung U_{a2} Null ist, d. h. für $I_x \approx I_{o1}$.

5 In Fig. 2 ist die Schaltung nach Fig. 1 durch einen Schalter 10 vor dem Dämpfungsglied 7 und einen Kondensator 13 und eine Gleichrichterschaltung 14 am Ausgang des Operationsverstärkers 9, sowie einen Kondensator 12 vor dessen nichtinvertierendem Eingang erweitert. Außerdem 10 enthält sie einen Rechteckgenerator 11, der den Schalter 10 steuert.

Durch diese Erweiterung wird aus dem vorher als reiner Gleichstromverstärker arbeitenden Operationsverstärker 9 ein Zerkhackerverstärker mit dessen bekannten Vorteilen, 15 insbesondere, wenn der Gleichrichter, wie in Fig. 5 gezeigt ein von dem Rechteckgenerator 11 gesteuerter phasenabhängiger Gleichrichter ist.

Als reiner Wechselspannungsverstärker betrieben, braucht das Bauelement 4 nicht mehr am Ausgang des Operationsver- 20 stärkers 2, sondern kann an Masse liegen.

Die weiterentwickelte Schaltung nach Fig. 3, bei der das Bauelement 3 mit seiner Konstantstromquelle 5 nicht mehr zwischen dem Ausgang des Operationsverstärkers 2 und dem Eingang des Schalters 10, sondern zwischen dem Fußpunkt 25 des Dämpfungsgliedes 7 und Masse liegt, hat die gleichen physikalischen Eigenschaften wie die Schaltung nach Fig. 2, ermöglicht aber eine bequeme und exakte Realisierung der Funktion, die bisher durch Reihenschaltung des Bauelementes 3 mit der Referenzspannungsquelle 5 erzielt wurde. 30 Diese Realisierung ist in Fig. 4 dargestellt und ergibt sich durch Verwendung eines weiteren Operationsverstärkers 16 in dessen Gegenkopplungszweig das Bauelement 3 liegt, an dessen invertierendem Eingang ein Widerstand 15

liegt und dessen nichtinvertierender Eingang an Masse liegt. Der Strom durch das Bauelement 3 wird bestimmt durch die Größe des Widerstandes 15 und der an ihm anliegenden Konstantspannung U_0 .

- 5 Die in Fig. 5 der Zeichnung dargestellte zweckmäßige Realisierung der Schaltung zeigt, wie gering der Aufwand insgesamt ist und daß es problemlos möglich ist, alle erforderlichen Bauelemente auf einem Substrat zu integrieren.
- 10 Hierbei sind die Bauelemente 1, 3 und 4 zweckmäßig durch Dioden 1', 3' und 4' oder durch, als Dioden geschaltete, Transistoren realisiert. Als Schalter 10 ist zweckmäßig ein Transistor, vorzugsweise ein MOS-Feldeffekttransistor 10' zu verwenden. Der Gleichrichter 14 wird vorteilhaft
- 15 als phasenempfindlicher Gleichrichter 14' mittels zweier Feldeffekttransistoren 20 und 21, eines Negators 19, zweier Widerstände 22 und 23 und eines Kondensators 24, wie bekannt, aufgebaut. Er läßt sich so mit der gleichen Schaltspannung ansteuern, wie der Schalttransistor 10'.
- 20 Die Referenzstromquelle 6 läßt sich mit ausreichender Genauigkeit mittels einer Konstantspannungsquelle 17, genügend großer Spannung und einem Vorwiderstand 18 realisieren; sie kann aber auch gemäß Fig. 5 aufgebaut werden. Das Dämpfungsglied 7 wird als Spannungsteiler mittels
- 25 zweier Widerstände realisiert. Für den Rechteckgenerator 11 sind ausreichend Lösungen bekannt.

Falls die Schaltung in diskreter Technik aufgebaut wird, empfiehlt es sich, wenigstens die 3 Dioden 1', 3' und 4' in integrierter Technik zu realisieren, wofür genügend

30 Bauelemente in Form integrierter Transistorarrays auf dem Markt sind.

Fig. 6 zeigt eine Teilschaltung zur Verbesserung der exponentiellen Abhängigkeit zwischen Eingangsstrom und Ausgangsspannung.

In Reihe mit dem Halbleiterbauelement 1' im Gegenkopplungszweig des Operationsverstärkers 2 ist ausgangsseitig ein ohmscher Widerstand 25 geschaltet. An diesen Widerstand sind die beiden Eingänge eines Differenzverstärkers 26 angeschlossen, wobei der invertierende Eingang an der, dem Ausgang zugeordneten Seite des Widerstandes liegt. An den Ausgang des Differenzverstärkers wird der Schalter 10 angeschlossen. Alle übrigen Schaltungsteile sind die gleichen wie in Fig. 5.

- 10 Die Schaltung wirkt so, daß bei kleinen Eingangsströmen (Spannung über Widerstand 25 $\rightarrow$ 0) die Ausgangsspannung des Differenzverstärkers 26 mit der Ausgangsspannung des Operationsverstärkers 2 übereinstimmt. Bei großen Eingangsströmen ergibt sich aufgrund des am Widerstand 25
- 15 entstehenden Spannungsabfalles am Ausgang des Differenzverstärkers 26 eine vom Ausgang des Operationsverstärkers derart abweichende Spannung, daß dem auf den Kennlinienverlauf ungünstig wirkenden Einfluß des Bahnwiderstandes des Halbleiterbauelementes 1' entgegen gewirkt wird. Der
- 20 Fehler im exponentiellen Verlauf der Kennlinie wird dadurch wesentlich reduziert.

PATENTANSPRUCH

1. Schaltungsanordnung zur Strom-Spannungs-Wandlung mit Hilfe eines Operationsverstärkers, der in seinem Rückkopplungsweig ein elektrisches Bauelement mit nichtlinearer Kennlinie enthält, dadurch gekennzeichnet, daß am Ausgang des Operationsverstärkers (2) zwei Bauelemente (3 und 4) gleichen Typs, wie das im Gegenkopplungsweig liegende (1), parallel angeschaltet sind, die beide von Konstantstromquellen (5 und 6) gespeist werden und daß eines dieser Bauelemente (4) mit dem invertierenden Eingang eines weiteren Operationsverstärkers (9), in dessen Gegenkopplungsweig ein ohmscher Widerstand (8) liegt, verbunden ist, während das andere Bauelement (3) über ein lineares Dämpfungsglied (7) mit dem nichtinvertierenden Eingang dieses Operationsverstärkers (9) verbunden ist.
2. Schaltungsanordnung nach Punkt 1, dadurch gekennzeichnet, daß zusätzlich ein von einem Rechteckgenerator (11) gesteuerter Schalter vor dem Dämpfungsglied (7), ein Kondensator (12) vor dem invertierenden Eingang des zweiten Operationsverstärkers (9), ein Kondensator (13) am Ausgang des Operationsverstärkers und hinter dem Kondensator (13) eine Gleichrichterschaltung (14), deren Ausgang den Ausgang der Schaltungsanordnung darstellt, vorhanden sind.
3. Schaltungsanordnung nach Punkt 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Bauelement (3) mit nichtlinearer Kennlinie mit seiner Konstantstromquelle (5) nicht zwischen den Ausgang des ersten Operationsverstärkers (2) und dem Schalter (10) liegt, sondern mit umgekehrter Polung am Fußpunkt des Dämpfungsgliedes (7) liegt und gegen Masse geschaltet ist.

4. Schaltungsanordnung nach Punkt 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Bauelement mit nichtlinearer Kennlinie (3) sowie dessen Konstantstromquelle (5) durch eine Schaltungsanordnung ersetzt werden, die aus einem Operationsverstärker (17) besteht, mit dem Bauelement (3) im Gegenkopplungszweig und einem Widerstand (15) vor dem invertierenden Eingang, an dem eine Konstantspannung anliegt und dessen nichtinvertierender Eingang an Masse liegt.
- 10 5. Schaltungsanordnung nach Punkt 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß als Gleichrichter (14) ein phasempfindlicher Gleichrichter verwendet wird, dessen Steuereingang an den bereits vorhandenen Rechteckgenerator (11) angeschlossen ist.
- 15 6. Schaltungsanordnung nach einem der Punkte 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß als Schalter (10) ein Transistor verwendet wird.
7. Schaltungsanordnung nach einem der Punkte 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die 3 Bauelemente (1, 3 und 4), mit nichtlinearer Kennlinie bipolare Halbleiterbauelemente sind.
- 20 8. Schaltungsanordnung nach Punkt 7, dadurch gekennzeichnet, daß in den Gegenkopplungszweig des ersten Operationsverstärkers (2) in Reihe mit dem Halbleiterbauelement (1') ausgangsseitig ein ohmscher Widerstand (25) geschaltet ist und daß zwischen dem Ausgang des Operationsverstärkers (2) und dem Schalter (10), ein Differenzverstärker (26) mit linearer Übertragungskennlinie so eingefügt ist, daß sein invertierender Eingang am Ausgang des Operationsverstärkers (2), sein nichtinvertierender Eingang am Verbindungspunkt von Widerstand (25) und Halbleiterbauelement (1') und sein Ausgang am Schalter (10) liegt.
- 25
- 30

9. Schaltungsanordnung nach Punkt 8, dadurch gekennzeichnet, daß alle 3 Halbleiterbauelemente auf einem Substrat in integrierter Technik hergestellt sind.
10. Schaltungsanordnung nach einem der Punkte 1 bis 8,
5 dadurch gekennzeichnet, daß die gesamte Schaltung auf einem oder mehreren Substraten in integrierter Technik hergestellt ist.

Hierzu 2 Seiten Zeichnungen.

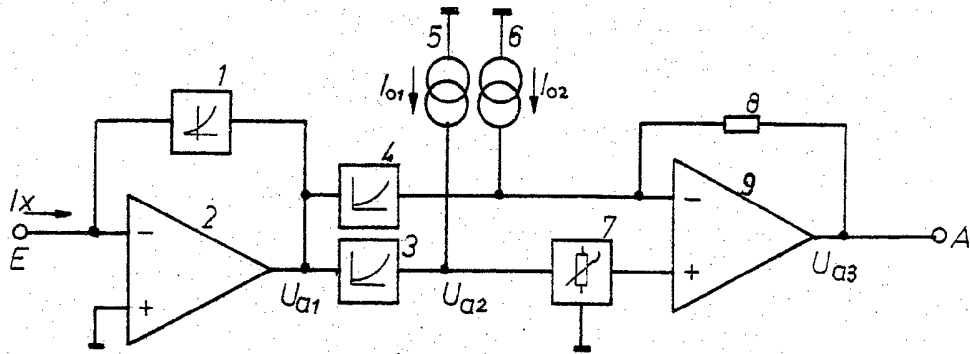


Fig. 1

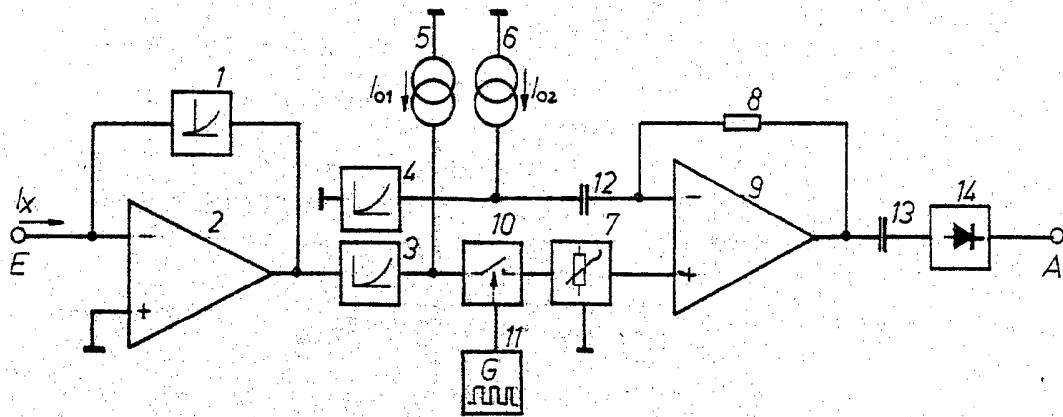


Fig. 2

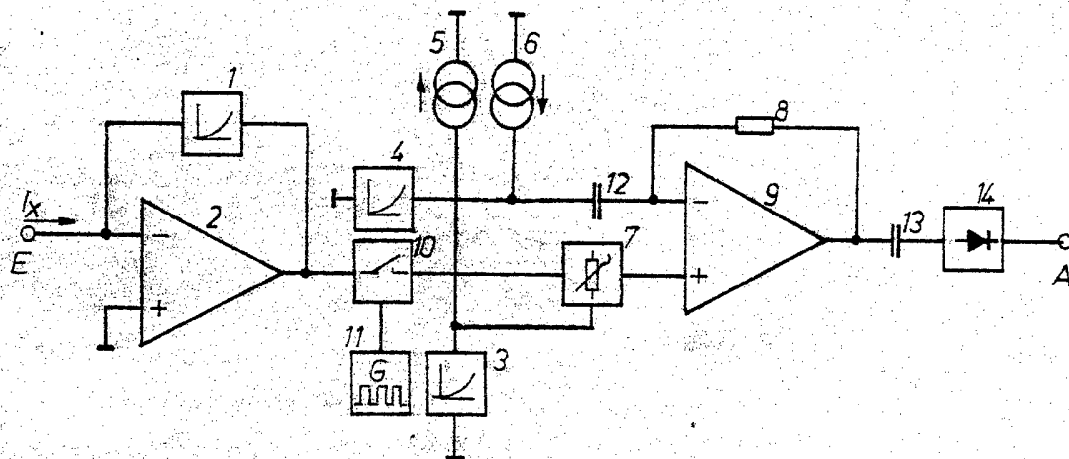


Fig. 3

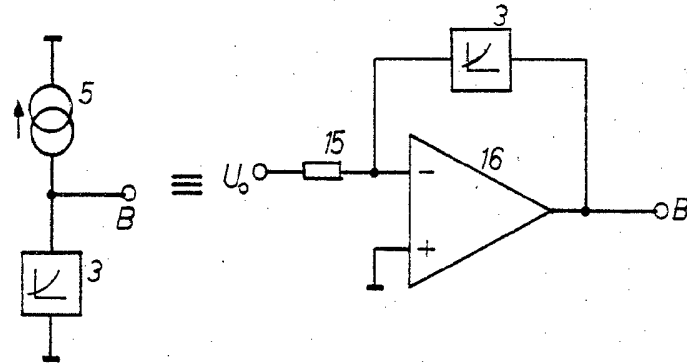


Fig. 4

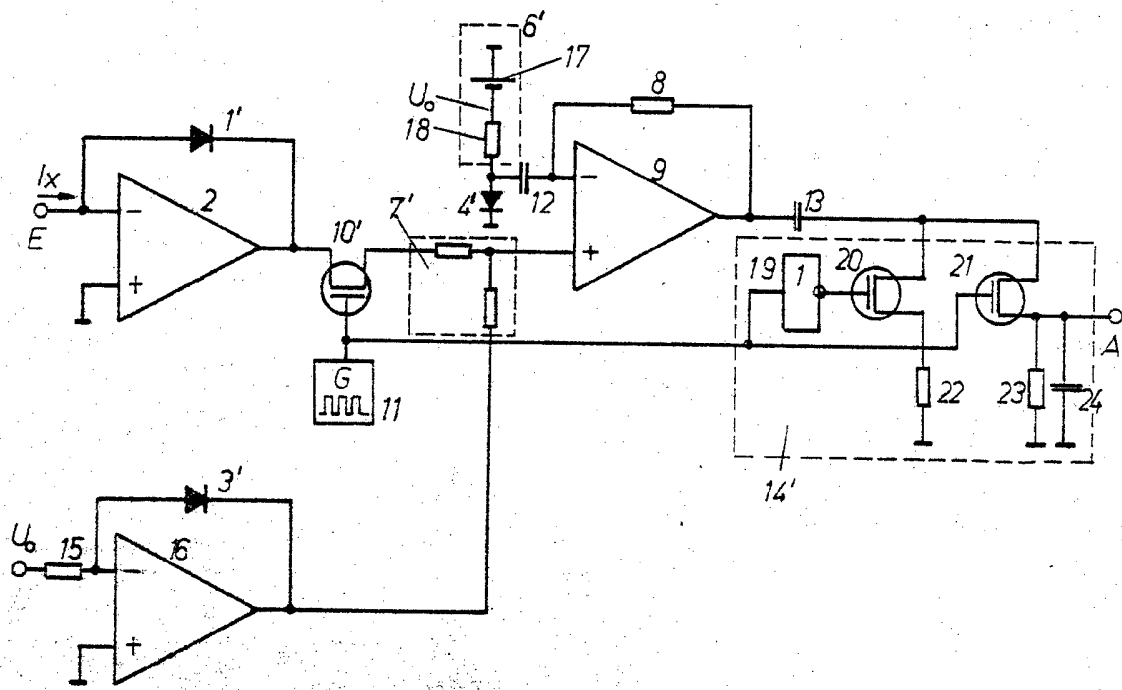


Fig. 5

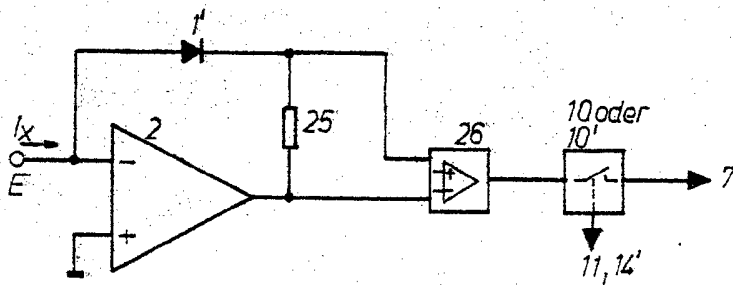


Fig. 6