



(12) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

(19) DD (11) 229 902 A1

4(51) H 03 M 1/66

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21)	WP H 03 M / 271 129 7	(22)	19.12.84	(44)	20.11.85
------	-----------------------	------	----------	------	----------

(71)	Technische Universität Dresden, Direktorat Forschung, 8027 Dresden, Mommsenstraße 13, DD
(72)	Lemke, Klaus, Dr.-Ing.; Kramski, Roland, Dipl.-Phys.; Motz, Mario, Dipl.-Ing., DD

(54) Digital/Analog-Umsetzer mit spezieller Regelung der Bitströme

(57) Digital/Analog-Umsetzer mit spezieller Regelung der Bitströme der zu seinem Betreiben nur eine, vorzugsweise positive Betriebsspannung benötigt. Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, eine Schaltungsanordnung für Digital/Analog-Umsetzer zu schaffen, bei denen speziell für die Erzeugung der Bitströme kein Abgleich von Widerständen erforderlich ist und die nur eine relativ niedrige positive Betriebsspannung benötigt. Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß die im Digital/Analog-Umsetzer enthaltenen Bitstromquellen Ströme entsprechend einem vorgegebenen Gewichtsmuster führen und daß n Schalter, entsprechend der Verarbeitungsbreite des Umsetzers, diese Ströme korrespondierend zu den Bits des digitalen Eingangswortes zwischen zwei Sammelleitungen, einer Ableitung und einer Ausgangssummierleitung, umschalten. Die Stromquellentransistoren und ein Widerstandsnetzwerk erzeugen die gewichteten Bitströme. Es ist eine Stromspiegelschaltung vorgesehen, bestehend aus zwei Transistoren, mit welcher der in der Ausgangssummierleitung fließende Strom I_{ASL} zur Erzeugung einer positiven Ausgangsspannung gespiegelt wird. Der in einer Kollektorleitung eines Transistors der Stromspiegeltransistoren fließende Strom I_{ASL} liefert über einen Bezugswiderstand R_M die Eingangsspannung U_A für einen Ausgangsverstärker. Über zwei weitere Stromspiegelschaltungen, bestehend aus jeweils zwei Transistoren, werden die Ströme I_{ASL} und I_{ABL} gespiegelt. Auf einer weiteren Sammelleitung werden die Ströme I_{ASL} und I_{ABL} summiert und ergeben am Bezugswiderstand R_{BZ} die Eingangsspannung U_{BZ} für die Bandgap-Referenzspannungsquelle. Fig. 1

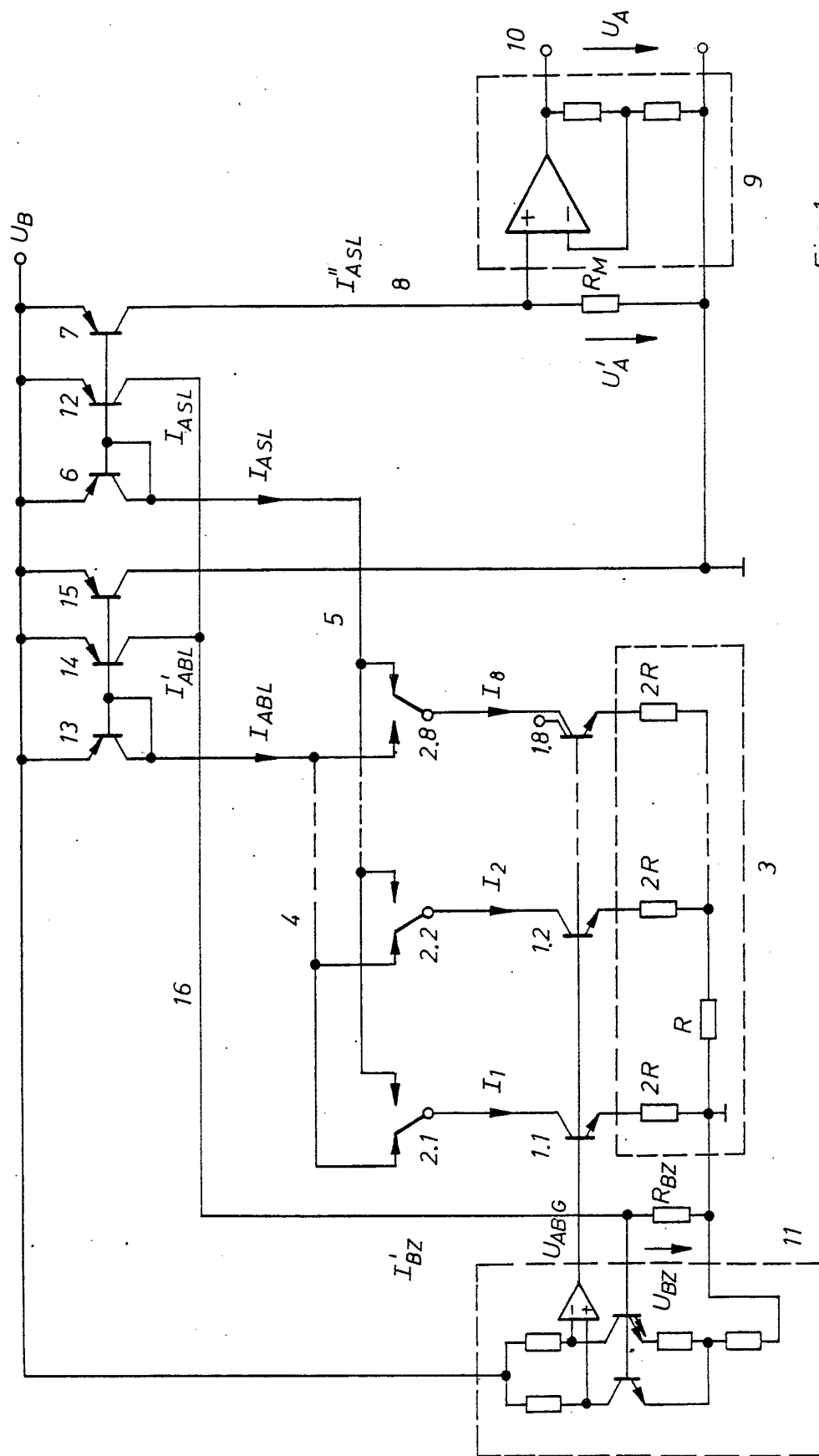


Fig.1

Erfindungsansprüche:

1. Digital/Analog-Umsetzer mit Bitstromquellen, die Ströme entsprechend einem vorgegebenen Gewichtsmuster führen, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Schalter (2.1 ... 2.8) diese Ströme korrespondierend zu den Bits des digitalen Eingangswortes zwischen einer Ableitung (4) und einer Ausgangssummierleitung (5) umschalten, die Stromquellentransistoren (1.1 ... 1.8) und ein Widerstandsnetzwerk (3) gewichtete Bitströme erzeugen, eine Stromspiegelschaltung, bestehend aus den Transistoren (6,7) vorgesehen ist, mit welcher der in der Ausgangssummierleitung (5) fließende Strom I_{ASL} zur Erzeugung einer positiven Ausgangsspannung gespiegelt wird, der in einer Stromspiegel-Ausgangsleitung (8) fließende gespiegelte Strom I_{ASL} über einen Bezugswiderstand R_M die Eingangsspannung U_A für einen Ausgangsverstärker (9) liefert, über zwei weitere Stromspiegelschaltungen, bestehend aus den Transistoren (6, 12) und (13, 14) der Strom I_{ASL} und I_{ABL} gespiegelt und die Ströme I_{ASL} und I_{ABL} auf der Summierleitung (16) zum Strom I_{B2} summiert werden und an dem Bezugswiderstand R_{B2} die Eingangsspannung U_{B2} für die Bandgap-Referenzspannungsquelle (11) ergeben, wodurch mittels der Ausgangsspannung U_{ABG} der Bandgap-Referenzspannungsquelle (11) die Regelung der Basisspannung der Stromquellentransistoren (1.1 ... 1.8) erfolgt.
2. Digital/Analog-Umsetzer mit Bitstromquellen nach Punkt 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Spiegelung der Ströme der Ableitung (4) und der Ausgangssummierleitung (5) in gleichartigen Stromspiegelschaltungen, sogenannten Strombänken, erfolgt.
3. Digital/Analog-Umsetzer mit Bitstromquellen nach Punkt 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein weiterer Stromquellentransistor (17) angeordnet ist, dessen Basis mit den Basen der Stromquellentransistoren (1.1 ... 1.8) und dem Ausgang der Bandgap-Referenzspannungsquelle (11) verbunden ist und der nach der Spiegelung in einem Stromspiegel die gleiche Betriebsspannungsabhängigkeit hat wie der Strom I_{ASL} der Ausgangssummierleitung (5) und der über den Bezugswiderstand R_{B2} die Eingangsspannung U_{B2} für die Bandgap-Referenzspannungsquelle (11) erzeugt.
4. Digital/Analog-Umsetzer mit Bitstromquellen nach Punkt 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Widerstände R_E und R_{B2} durch die Verbindung des Emitters des Stromquellentransistors (12) mit dem Eingang der Bandgap-Referenzspannungsquelle (11) parallelgeschaltet sind und vom Emitter des Stromquellentransistors (12) ein betriebsspannungsunabhängiger Hilfsstrom I_H abgeleitet wird.

Hierzu 3 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Digital/Analog-Umsetzer mit spezieller Regelung der Bitströme der zu seinem Betreiben nur eine, vorzugsweise positive Betriebsspannung benötigt, und der überall dort vorteilhaft eingesetzt werden kann, wo digitale Informationen geeigneter Verarbeitungsbreite in ein analoges Signal umgesetzt werden sollen.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Digital/Analog-Umsetzer für das Betreiben an einer einzelnen Betriebsspannung bestehen im allgemeinen aus einem Widerstandsnetzwerk, in das eine Mehrzahl von gleichgroßen und gleichartig gerichteten Strömen, die sogenannten Bitströme, eingespeist werden können. Die einzelnen Bitströme rufen am Ausgang des Widerstandsnetzwerkes unterschiedlich große, geeignet abgestufte Teilspannungen hervor. Werden die Bitströme entsprechend einem digitalen Eingangswert ein- bzw. ausgeschaltet, entsteht am Ausgang des Widerstandsnetzwerkes durch Superposition der Teilspannungen ein analoges Ausgangssignal.

Bei derartigen Digital/Analog-Umsetzern werden die Bitströme durch Stromquellentransistoren mit Emitterwiderständen erzeugt. Die Basen aller dieser Stromquellentransistoren sind miteinander und mit der Basis eines Bezugs — Stromquellentransistors verbunden und werden durch eine Hilfsschaltung so gesteuert oder geregelt, daß die Bitströme konstant bleiben.

Da bei derartigen Digital/Analog-Umsetzern die Stromquellentransistoren als pnp-Transistoren ausgebildet werden müssen, ist in der Regel wegen der relativ geringen Stromverstärkung und der Toleranz ein Abgleich der Emitterwiderstände dieser Transistoren erforderlich.

Eine bekannte Methode besteht darin, die Emitterwiderstände als Dünnschichtwiderstände zu realisieren und mittels Laserstrahl abzugleichen.

Ein weiterer Lösungsweg verzichtet auf die Verwendung von pnp-Stromquellentransistoren und deren Emitterwiderständen und damit auch auf den Abgleich dieser Widerstände. Entsprechend einer bekannten Methode wird bei dieser Lösung mit geeignet gewichteten Bitströmen gearbeitet. Dabei sind die Stromquellentransistoren mit einem Widerstandsnetzwerk verbunden, mit dem die Bitströme gewichtet werden. Die Bitströme werden über Schalter, die durch das digitale Eingangssignal gesteuert werden, entweder aus einer Spannungsquelle (in der Regel die Betriebsspannung) oder aus einer Ausgangssummierleitung gezogen.

Der in der Ausgangssummierleitung fließende Strom ist das analoge Äquivalent des digitalen Eingangssignals.

Für Digital/Analog-Umsetzer, die das analoge Ausgangssignal in Form einer Spannung abgeben, ist die Erzeugung einer auf Masse bezogenen und dem in der Ausgangssummierleitung fließende Strom proportionalen Spannung erforderlich.

Diese Spannung wird nach einer bekannten Methode dadurch erzeugt, daß man den Strom der Ausgangssummierleitung in einem Stromspiegel spiegelt und diesen gespiegelten Strom durch einen Widerstand nach Masse fließen läßt. Die Spannung über diesem Widerstand liefert nach linearer Verstärkung ein Ausgangsverstärker die Ausgangsspannung als analoges Ausgangssignal.

Für die erforderliche Stromspiegelschaltung muß weitgehende, durch die Genauigkeit der Digital/Analog-Umwandlung bestimmte Unabhängigkeit der Spiegelverhältnisse von der Größe des Stromes und der Betriebsspannung gefordert werden.

Bei Berücksichtigung der mit den Standardtechnologien für pnp-Transistoren erreichbaren Stromverstärkungen und Earlyspannungen ergibt sich die Notwendigkeit, komplexe Stromspiegelschaltungen zu verwenden. Der über diesen

Schaltungen auftretende erhöhte Spannungsabfall hat zur Folge, daß die in vielen digitalen Systemen übliche Betriebsspannung von +5V für das Betreiben derartiger Digital/Analog-Umsetzer nicht ausreicht.

Ziel der Erfindung

Das Ziel der Erfindung besteht darin, den Abgleich der Emittierwiderstände der pnp Stromquellentransistoren zu vermeiden bzw. bei Verwendung von Stromspiegelschaltungen mit geringen Genauigkeitsforderungen auszukommen.

Wesen der Erfindung

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, eine Schaltungsanordnung für Digital/Analog-Umsetzer zu schaffen, bei denen speziell für die Erzeugung der Bitströme kein Abgleich von Widerständen erforderlich ist und die nur eine relativ niedrige positive Betriebsspannung benötigt, die nicht oder nur gering stabilisiert sein muß (typisch $+5V \pm 10\%$).

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß die im Digital/Analog-Umsetzer enthaltenen Bitstromquellen Ströme entsprechend einem vorgegebenen Gewichtsmuster führen und daß n Schalter, entsprechend der Verarbeitungsbreite des Umsetzers, diese Ströme korrespondierend zu den Bits des digitalen Eingangswortes zwischen zwei Sammelleitungen, einer Ableitung und einer Ausgangssummierleitung, umschalten.

Die Stromquellentransistoren und ein Widerstandsnetzwerk erzeugen die gewichteten Bitströme. Es ist eine Stromspiegelschaltung vorgesehen, bestehend aus zwei Transistoren, mit welcher der in der Ausgangssummierleitung fließende Strom I_{ASL} zur Erzeugung einer positiven Ausgangsspannung gespiegelt wird. Der in einer Kollektorleitung eines Transistors der Stromspiegeltransistoren fließende Strom I'_{ASL} liefert über einen Bezugswiderstand R_M die Eingangsspannung U'_A für einen Ausgangsverstärker. Über zwei weitere Stromspiegelschaltungen, bestehend aus jeweils zwei Transistoren, werden die Ströme I_{ASL} und I_{ABL} gespiegelt. Auf einer weiteren Sammelleitung werden die Ströme I_{ASL} und I_{ABL} summiert und ergeben am Bezugswiderstand R_{BZ} die Eingangsspannung U_{BZ} für die Bandgap-Referenzspannungsquelle.

Mittels der Ausgangsspannung U_{ABG} der Bandgap-Referenzspannungsquelle erfolgt die Regelung der Basisspannung der Stromquellentransistoren. Die Basen aller Stromquellentransistoren sind untereinander verbunden.

Für die Spiegelung der Ströme der Ableitung und der Ausgangssummierleitung können gleichartige Stromspiegelschaltungen, sogenannte Strombänke, eingesetzt werden.

Weitere Modifikationen der Schaltungsanordnung ergeben sich dergestalt, daß ein zusätzlicher Stromquellentransistor angeordnet ist, dessen Basis mit den Basen der anderen Stromquellentransistoren und dem Ausgang der Bandgap-Referenzspannungsquelle verbunden ist.

Sein Kollektorstrom wird in einer Stromspiegelschaltung gespiegelt, der gespiegelte Strom erzeugt über einem Bezugswiderstand die Eingangsspannung für die Bandgap-Referenzspannungsquelle.

Mit dieser Regelschaltung werden die durch Änderung der Betriebsspannung, infolge der endlichen Earlyspannung der Transistoren, hervorgerufenen Änderungen des Spiegelverhältnisses der Stromspiegel durch Änderung der Bitströme ausgeregelt.

Eine definierte teilweise Korrektur der Betriebsspannungsabhängigkeit des gespiegelten Stroms I'_{ASL} der Ausgangssummierleitung kann dadurch erreicht werden, daß durch die Verbindung des Emitters des zusätzlichen Stromquellentransistors mit dem Eingang der Bandgap-Referenzspannungsquelle die Widerstände R_E und R_{BZ} parallelgeschaltet werden und vom Emitter dieses Stromquellentransistors ein betriebsspannungsunabhängiger Hilfsstrom abgeleitet wird.

Der Bezugsstrom wird erfindungsgemäß so erzeugt, daß er proportional zur Größe einzelner Bitströme oder zur Summe aller Bitströme ist und weitgehend die gleiche relative Abhängigkeit von der Stromverstärkung der Transistoren und von Betriebsspannungsänderungen aufweist, wie das Spiegelverhältnis des Stromspiegels zur Spiegelung des Stromes der Ausgangssummierleitung. Dadurch können für diesen Stromspiegel einfache Schaltungen mit relativ geringem Spannungsbedarf verwendet werden.

Ausführungsbeispiele

Mit einem Ausführungsbeispiel soll die erfindungsgemäße Lösung näher erläutert werden. In der zugehörigen Zeichnung zeigen:

Fig. 1: Vereinfachte Schaltung des integrierten 8-Bit Digital/Analog-Umsetzers mit Bitstromquellen

Fig. 2: Vereinfachte Schaltung des integrierten 8 Bit Digital/Analog-Umsetzers mit modifizierter Erzeugung des Bezugsstromes I'_{BZ}

Fig. 3: Vereinfachte Schaltung des integrierten 8 Bit Digital/Analog-Umsetzers mit modifizierter Lage der Widerstände R_E und R_{BZ} gemäß Fig. 2

Wie aus Fig. 1 ersichtlich ist, sind die Ströme durch die Stromquellentransistoren 1.1 ... 1.8 durch die Wirkung des Widerstandsnetzwerkes 3 binär gewichtet. Die Bitströme I_1 bis I_8 werden in den hier schematisch gezeichneten Schaltern 2.1 bis 2.8 nach Maßgabe der Bits 1 bis 8 des digitalen Eingangssignals zwischen der Sammelleitung 4 und der Ausgangssummierleitung 5 umgeschaltet. Der in der Ausgangssummierleitung fließende Strom I_{ASL} stellt das primäre erzeugte analoge Signal des Digital/Analog-Umsetzers dar. Zur Erzeugung einer proportionalen positiven Ausgangsspannung wird der Strom I_{ASL} in dem mit den Transistoren 6 und 7 gebildeten Stromspiegel gespiegelt. Der in die Stromspiegel-Ausgangsleitung 8 gespiegelte Strom I_{ASL} erzeugt über dem Bezugswiderstand R_M eine proportionale Spannung U'_A , die im Ausgangsverstärker 9 mit der Verstärkung v' verstärkt wird und am Ausgang 10 die Ausgangsspannung U_A liefert. Erfindungsgemäß werden in dem aus den Transistoren 6 und 12 gebildeten Stromspiegel zusätzlich der Strom I_{ASL} und in dem aus den Transistoren 13 und 14 gebildeten Stromspiegel der Strom I_{ABL} gespiegelt. Die gespiegelten Ströme I'_{AB} und I'_{ASL} werden auf der Summierleitung 16 zum Bezugsstrom I'_{BZ} summiert. Dieser erzeugt am Bezugswiderstand R_{BZ} die Bezugsspannung U_{BZ} , die gleichzeitig Eingangsspannung für die Bandgap-Referenzspannungsquelle 11 ist. Diese regelt über ihre Ausgangsspannung U_{ABG} , die gleichzeitig Basisspannung der Stromquellentransistoren 1.1 bis 1.8 ist, die Bitströme I_1 bis I_8 so, daß die Bezugsspannung U_{BZ} konstant bleibt.

Die Funktion der Schaltung nach Fig. 1 soll unter Verwendung der Spiegelverhältnisse $M'_{ASL} = I'_{ASL}/I_{ASL}$, $M''_{ASL} = I''_{ASL}/I_{ASL}$ und $M'_{ABL} = I'_{ABL}/I_{ABL}$ der Stromspiegel erläutert werden. Dabei wird davon ausgegangen, daß diese Spiegelverhältnisse identisch sind, es gelte $M'_{ABL} = M'_{ASL} = M''_{ASL} = M$. Durch ein gegebenes digitales Eingangssignal werde über die Schalter 2.1 bis 2.8 die Summe der Bitströme $I_{SB} = I_n$ so auf die Ströme I_{ABL} und I_{ASL} aufgeteilt, daß I_{ASL} dem analogen Signalwert entspricht und $I_{SB} = I_{ABL} + I_{ASL}$ gilt. Erhöht sich nun die Betriebsspannung U_B , so kommt es infolge der endlichen Earlyspannung der Transistoren zu einer Erhöhung der Spiegelverhältnisse M aller Stromspiegel. Die Erhöhung von M würde bei konstantem Summenableitstrom I_{ASL} zu einer Erhöhung des Stromes I'_{ASL} und der Ausgangsspannung U_A führen. In der Schaltung wird jedoch der Strom I_{ASL} so geregelt, daß I''_{ASL} in erster Näherung unabhängig von der Betriebsspannung U_B konstant bleibt: Die Summe der gespiegelten Ströme I'_{ABL} und I'_{ASL} , die gleich dem gespiegelten Summenstrom I_{SB} ist, ist in gleicher Weise wie I''_{ASL} von der Betriebsspannung abhängig und damit im hier beschriebenen Fall erhöht. Damit ist auch die Bezugsspannung U_{BZ} erhöht. Die Bandgap-Referenzspannungsquelle 11 verändert nun ihre Ausgangsspannung U_{ABG} so, daß diese Erhöhung der Eingangsspannung wieder rückgängig gemacht wird:

Über eine Verringerung von U_{ABG} werden bei unveränderter Wichtung die Bitströme I_1 bis I_8 und proportional die Ströme I_{ABL} , I_{ASL} , I'_{ASL} und I''_{ASL} so verringert, daß der Bezugsstrom I_{BZ} konstant bleibt.

Da I''_{ASL} und I_{BZ} in gleicher Weise von der Betriebsspannung abhängig sind, wird damit auch I''_{ASL} und die Ausgangsspannung U_A in gleicher Weise wie Bezugsspannung U_{BZ} und Bezugsstrom I_{BZ} unabhängig von der Betriebsspannung.

Der Transistor 15 ist für die Funktion der Schaltung nicht notwendig, er kann u. U. zur Erhöhung der Symmetrie der Stromspiegelanordnung vorgesehen werden. Ebenso können zur Erhöhung der Symmetrie und zur Verringerung der Stromabhängigkeit der Spiegelverhältnisse Stromspiegel mit Emitterwiderständen und komplexere Stromspiegel vorgesehen werden.

Figur 2 zeigt die vereinfachte Schaltung eines integrierten 8-Bit-Digital/Analog-Umsetzers. Er entspricht in der Funktion und der Anordnung der Stromquellentransistoren 1.1 bis 1.8, der Schalter 2.1 bis 2.8, des Widerstandsnetzwerkes 3, der Ausgangssummierleitung 5, der Stromspiegel aus den Transistoren 6 und 7, der Stromspiegel-Ausgangsleitung 8 mit Widerstand R_M , dem Ausgangsverstärker 9, dem Ausgang 10 und der Steuerung der Basen der Stromquellentransistoren durch die Bandgap-Referenzspannungsquelle 11 der Schaltung nach Figur 1. Abweichend davon erfolgt die Erzeugung des betriebsspannungsabhängigen Bezugsstromes I'_{BZ} . Ein zusätzlicher Stromquellentransistor 12, dessen Basis mit den Basen der Stromquellentransistoren 1.1 bis 1.8 und dem Ausgang der Bandgap-Referenzspannungsquelle 11 verbunden ist, erzeugt mit dem Emitterwiderstand R_E den Hilfsstrom I_{BZ} . Dieser wird durch den aus den Transistoren 13 und 14 gebildeten Stromspiegel gespiegelt. Der gespiegelte, betriebsspannungsabhängige Strom I'_{BZ} durchfließt den Widerstand R_{BZ} und erzeugt über diesem die Bezugsspannung U_{BZ} , die gleichzeitig Eingangsspannung der Bandgap-Referenzspannungsquelle 11 ist. Der Strom I_{ASL} wird auch in dieser Schaltung so geregelt, daß der Strom I''_{ASL} unabhängig von Veränderungen der Betriebsspannung U_B wird: Erhöht sich die Betriebsspannung U_B , so erhöhen sich infolge der endlichen Earlyspannung der Transistoren 12 und 14 auch der Bezugsstrom I'_{BZ} und die Bezugsspannung U_{BZ} . Die Bandgap-Referenzspannungsquelle verändert ihre Ausgangsspannung U_{ABG} so, daß diese Erhöhung der Eingangsspannung wieder rückgängig gemacht wird. Über eine Verringerung von U_{ABG} werden die Ströme I_{BZ} und I_1 bis I_8 so verringert, daß der Bezugsstrom I'_{BZ} konstant bleibt. Wenn die Spiegelverhältnisse der aus den Transistoren 6 und 7 bzw. 13 und 14 gebildeten Stromspiegel in der gleichen Weise von der Betriebsspannung abhängen, werden der Strom I''_{ASL} in gleicher Weise wie der Bezugsstrom I_{BZ} und die Spannung U_A in gleicher Weise wie die Bezugsspannung U_{BZ} unabhängig von der Betriebsspannung.

Figur 3 zeigt die vereinfachte Schaltung eines Digital/Analog-Umsetzers, der aus der Schaltung des Digital/Analog-Umsetzers nach Figur 2 dadurch hervorgeht, daß die Widerstände R_E und R_{BZ} durch die Verbindung des Emitters des Stromquellentransistors 12 mit dem Eingang der Bandgap-Referenzspannungsquelle 11 parallelgeschaltet werden und den Bezugswiderstand R'_{BZ} bilden. Dieser wird vom Bezugsstrom I''_{BZ} durchflossen, der sich nun aus dem Emitterstrom des Stromquellentransistors 17 und einem Korrekturstrom zusammensetzt, der hier als Differenz des durch Spiegelung des Kollektorstroms I_o des Stromquellentransistoren 17 in dem aus den Transistoren 13 und 14 gebildeten Stromspiegel gewonnenen Strom I'_o und eines betriebsspannungsunabhängigen konstanten Hilfsstromes I_H gebildet wird. Damit ist nur der dem Korrekturstrom I_{KORR} entsprechende Teil des Bezugsstromes I'_{BZ} von der Betriebsspannung U_B abhängig. Damit wird der Kollektorstrom I_o und die dazu proportionalen Bitströme I_1 bis I_8 in geringerem Maße betriebsspannungsabhängig als zur vollen Kompensation der Betriebsspannungsabhängigkeit des Stromspiegels aus den Transistoren 6 und 7 erforderlich wäre. Damit kann der durch die Betriebsspannungsabhängigkeit der Spiegelverhältnisse bedingte Fehler dann minimiert werden, wenn Stromspiegel mit Emitterwiderständen verwendet werden, bei denen die Betriebsspannungsabhängigkeit des Spiegelverhältnisses einer Funktion des Stromes I_{ASL} der Ausgangssummierleitung 5 ist.

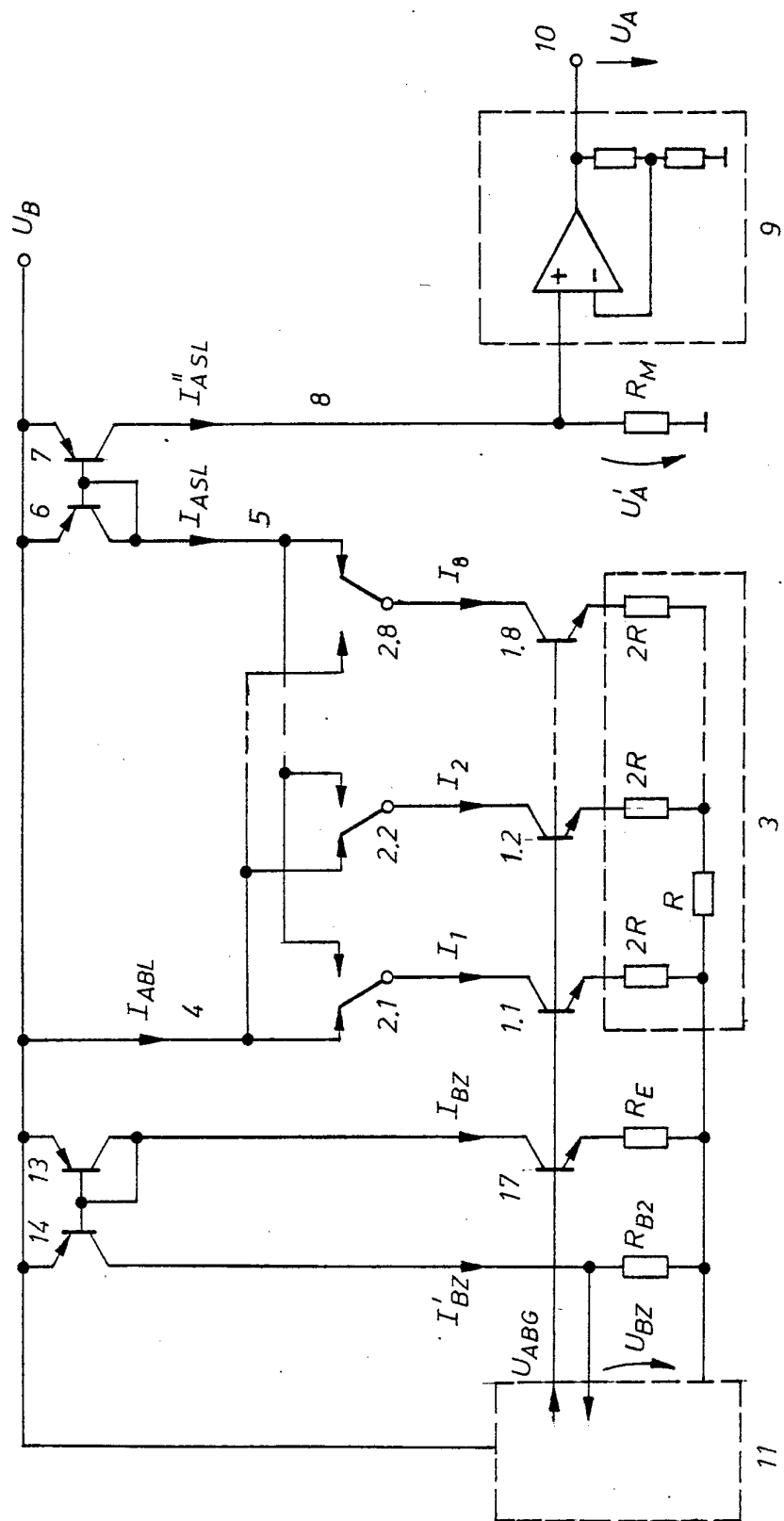


Fig. 2

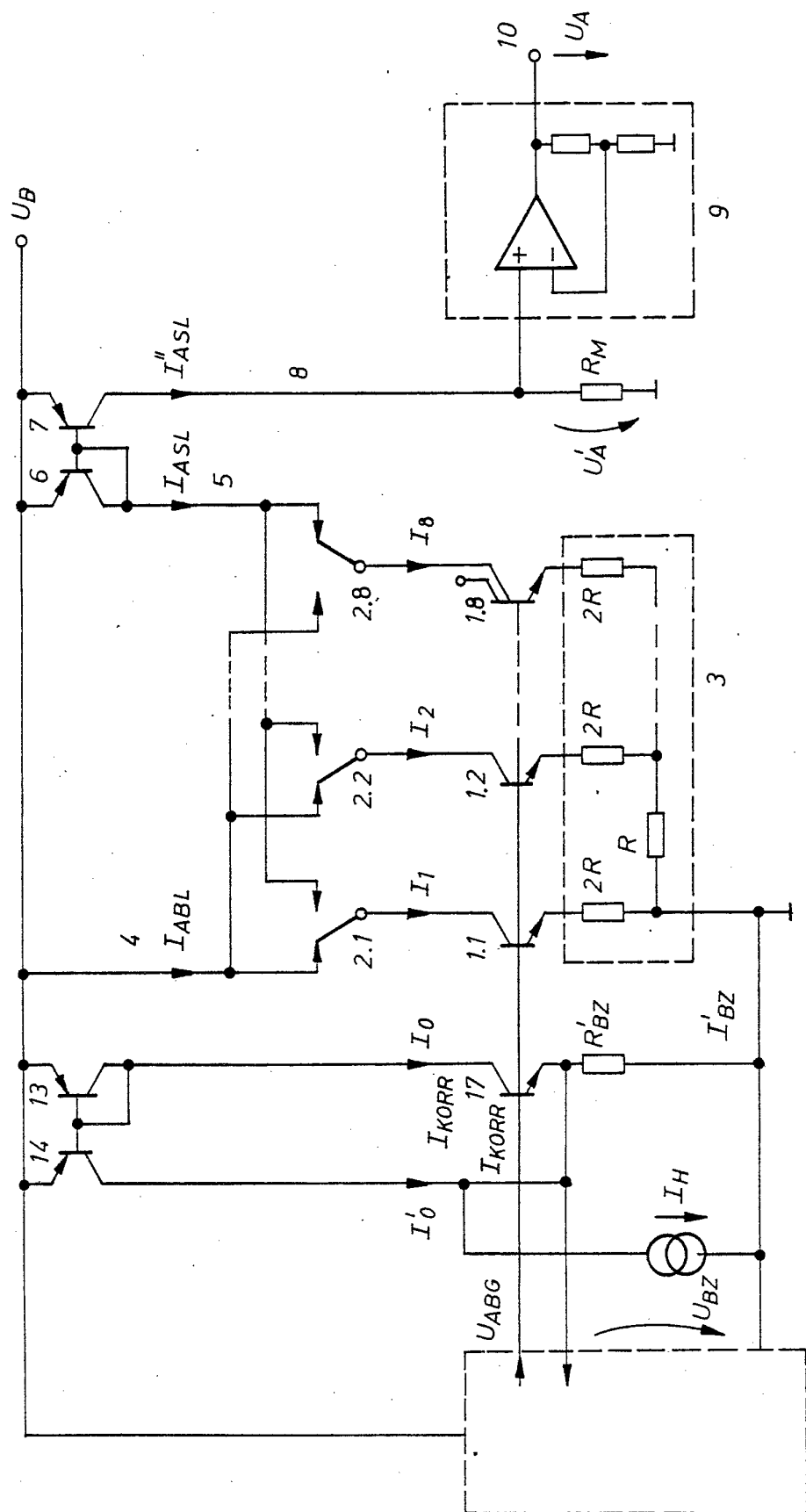


Fig. 3