

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine frequenzgangkompensierte Schaltung in Regelschleifen.

Die Gleichspannungsverstärkung eines Operationsverstärkers, der gemäß Fig. 1 beschaltet ist, ergibt sich zur $V_{out} = V_{in} * R_1 / R_0$. Intern besteht ein solcher integrierter Operationsverstärker hauptsächlich aus Transistoren und Widerständen. Zwischen den Verbindungsleitungen und Basis, Kollektor, Emitter der Transistoren und dem Substrat (= Masse) bestehen kapazitive Kopplungen, sogenannte parasitäre Kapazitäten.

Diese parasitären Kapazitäten bewirken in Richtung höherer Frequenzen eine zunehmende Gegenkopplung, so daß die Verstärkung gegenüber der Gleichspannungsverstärkung immer mehr abnimmt. Entsprechend ändert sich mit zunehmender Frequenz auch der Phasengang. Ab einer bestimmten Frequenz, z.B. 10 MHz, ist die Phasenverschiebung größer als 180° . Weil die Verstärkung aber immer noch größer als 1 ist, kommt es dann zu unkontrollierten Schwingungen.

Um diese Schwingungen zu verhindern, fügt man an geeigneter Stelle im Operationsverstärker einen Kondensator zur Frequenzgangkompensation ein. Dadurch bleibt die Phasenverschiebung innerhalb eines bestimmten Frequenzbereiches bei -90° , während die Verstärkung mit größerer Steilheit abnimmt. Wenn die Phasenverschiebung bei höheren Frequenzen schließlich -180° erreicht, ist die Verstärkung bereits kleiner als 1 und es treten keine störenden Schwingungen mehr auf.

Je größer die Verstärkung ist, desto stärker muß der Frequenzgang kompensiert werden. In integrierten Schaltungen benötigt ein Kondensator (zur Frequenzgangkompensation) aber eine relativ große Chipfläche, z.B. $0,001 \text{ mm}^2/\text{pF}$. Für einen Kondensator von 1000 pF wäre demnach eine Fläche von 1 mm^2 notwendig.

In US-A-3,984,780 ist eine mit einem Kondensator frequenzgangkompensierte Regelschaltung angegeben. Um eine hohe Regelgenauigkeit zu erreichen, muß die interne Verstärkung und damit auch der Kondensator groß sein.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, durch eine Regelschaltung genaue Ströme zu erzeugen und die erforderliche Kapazität des Frequenzgang-Kompensations-Kondensators in der Regelschaltung zu verkleinern.

Diese Aufgabe wird durch die in Anspruch 1 angegebenen Merkmale gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

Anhand der Zeichnungen wird im folgenden ein Ausführungsbeispiel der Erfindung erläutert. Es zeigt:

- Fig. 1 Beschaltung eines Operationsverstärkers (bekannt)
- Fig. 2 Beschaltung eines Operationsverstärkers mit reduzierter Gegenkopplung (bekannt)
- Fig. 3 Schaltung zur Erzeugung eines genauen Stromes mit einem Operationsverstärker in der Regelschleife (bekannt)
- Fig. 4 Schaltung zur Erzeugung eines näherungsweise genauen Stromes (bekannt)
- Fig. 5 erfindungsgemäße Schaltung zur Erzeugung eines genauen Stromes
- Fig. 6 Darstellung eines Regelkreises (bekannt)
- Fig. 7 Darstellung eines erfindungsgemäßen Regelkreises
- Fig. 8 Schaltbild einer temperaturkompensierten Stromversorgung.

In Fig. 1 ist die Beschaltung eines gegengekoppelten Operationsverstärkers dargestellt. Die Verstärkung ergibt sich zu $V_{out} = V_{in} * R_1 / R_0$.

In Fig. 2 ist die Beschaltung eines gegengekoppelten Operationsverstärkers mit reduzierter Gegenkopplung dargestellt. C ist jeweils der Kondensator für die Frequenzgangkompensation.

In Fig. 3 haben R_{30} und R_{31} den gleichen Widerstandswert. Weil der daran angeschlossene, nicht invertierende Eingang des Operationsverstärkers OP_{30} im Vergleich dazu hochohmig ist, entsteht über R_{30} und R_{31} jeweils die halbe Versorgungsspannung V_{CC} . R_{32} ist ein Referenzwiderstand mit einem Widerstandswert von z.B. 50 kOhm. Transistor T_{30} bildet einen Stromspiegel. Der Verbindungspunkt von R_{32} , Kollektor von Transistor T_{32} ist an den invertierenden Eingang von Operationsverstärker OP_{30} angeschlossen. Dadurch fließt in den Kollektor von T_{32} ein Referenzstrom $I_{30} = (V_{CC} / 2) / R_{32}$. An Kollektor von Transistor T_{33} bildet sich der gleiche Strom $I_{31} = I_{30}$. Durch die Stromspiegelfunktion von T_{30} und den Widerstand R_{35} bildet sich durch R_{35} ein Strom $I_{32} = (R_{35} / R_{32}) * (V_{CC} / 2) / R_{32}$.

Der Kondensator C_{30} am Operationsverstärker OP_{30} dient zur Frequenzgangkompensation der Regelung des Referenzstromes I_{30} . C_{30} muß einen relativ großen Wert haben und benötigt darum viel Chip-Fläche. Die Ströme I_{30} , I_{31} , I_{32} sind abhängig von der Versorgungsspannung V_{CC} . Weil V_{CC} sehr genau sein kann, sind auch die Ströme I_{30} bis I_{32} entsprechend genau.

Fig. 4 zeigt eine weitere Schaltung, die genaue Ströme erzeugen soll. R_{42} ist ein entsprechender Referenzwiderstand und T_{40} ein Stromspiegel. Der Strom I_{43} ergibt sich zu $I_{43} = (V_{CC} - 2 * V_{BE}) / R_{42}$. Weil die Basis-Emitter-Spannung V_{BE} temperaturabhängig ist, ist der Strom I_{40} ebenfalls temperaturabhängig. Im Bereich von $0 \dots 100^\circ \text{ C}$ ändert sich V_{BE} um etwa 200 mV. Andererseits ist aber der Schaltungsaufwand gegenüber Fig. 3

deutlich geringer. Insbesondere wird die relativ große Chip-Fläche für den Kondensator C_{30} eingespart.

Fig. 5 zeigt nun eine Schaltung, die genaue Ströme erzeugt, bei der aber die Chipfläche für einen Frequenzgangkompensations-Kondensator deutlich reduziert ist. An die Anschlußpunkte A und B wird die in Fig. 3 links von A und B liegende Schaltung, bestehend aus den Widerständen R_{30} und R_{31} , dem Operationsverstärker OP_{30} und dem Kondensator C_{30} , angeschlossen. R_{51} und R_{54} haben den gleichen Wert und sind Referenzwiderstände. T_{50} ist ein Stromspiegel. I_{53} ist der Referenzstrom. An weiteren Transistoren, z.B. T_{59} , deren Basisanschlüsse an die Basis von T_{53} angeschlossen sind, bilden sich weitere, exakt gleiche Referenzströme, z.B. I_{59} . In Fig. 5 entsprechen die Widerstände R_{51} , R_{53} , R_{55} den Widerständen R_{42} , R_{43} , R_{44} aus Fig. 4 und die Transistoren T_{50} , T_{52} , T_{53} den Transistoren T_{40} , T_{42} , T_{43} aus Fig. 4. Dadurch wird der Referenzstrom I_{53} praktisch entsprechend dem Referenzstrom I_{43} vorgeregelt. Die Feinregelung übernimmt der an den Anschlußpunkten A und B angeschlossene Operationsverstärker OP_{30} . OP_{30} muß nur noch die durch V_{BE} bedingten temperaturabhängigen Schwankungen nachregeln. Entsprechend kann der Regelbereich von OP_{30} und damit die Gegenkopplung (wie für Fig. 2 beschrieben) verringert werden. Dies geschieht dadurch, daß der Ausgang von OP_{30} nicht direkt an den Emitter von T_{52} angeschlossen wird, sondern über den Emitterfolger T_{51} und einen Widerstand R_{52} . Der Widerstand R_{52} hat z.B. den Wert $R_{52} = 10 \cdot R_{53}$. Entsprechend kann C_{30} um den Faktor 10 verkleinert werden und z.B. statt 50 pF einen Wert von 5 pF haben.

Drei Transistoren und drei Widerstände benötigen z.B. eine Chip-Fläche, die der Fläche für einen 2 pF-Kondensator entsprechen würde. Man erkennt, daß durch die Reduktion von 50 pF auf 5 pF trotz der gegenüber Fig. 3 erhöhten Anzahl von Bauelementen eine deutliche Reduktion der benötigten Chip-Fläche für die gesamte Regelschaltung erfolgt, obwohl die Genauigkeit des Referenzstroms I_{53} dem von I_{30} entspricht.

In Fig. 6 und Fig. 7 ist das Prinzip der Erfindung nochmals verdeutlicht. Fig. 6 zeigt einen bekannten Regelkreis. Der Sollwert 69 wird einem Subtraktionspunkt 60 zugeführt. Vom Sollwert 69 wird der Istwert 63 abgezogen. Das Ergebnis wird über einen Fehlerverstärker 61 der Regelstrecke 62 zugeführt, die als Ausgangssignal den Istwert liefert.

Fig. 7 zeigt einen Regelkreis gemäß der Erfindung. Der Sollwert 79 wird einem Subtraktionspunkt 70 zugeführt. Vom Sollwert 79 wird der Istwert 73 abgezogen. Das Ergebnis wird über einen Fehlerverstärker 71 und einen Multiplizierer 74 einem Additionspunkt 75 zugeführt. Dort wird ein Voreinstellungs-Steuerwert 76 addiert und die Summe der Regelstrecke 72 zugeführt, die als Ausgangssignal wieder den Istwert liefert. Durch die Addition des Voreinstellungssteuerwertes 76 kann die Fehlerverstärkung 71 reduziert werden. Dies geschieht durch Multiplikation mit einem Übertragungswert k , $k < 1$, z.B. $k = 0,1 \dots 0,5$, im Multiplizierer 74. Durch die Reduktion der Fehlerverstärkung kann vorteilhaft die Frequenzgangkompensation im Fehlerverstärker 71 um den Faktor $1/k$ verringert werden.

Die Schaltung nach Fig. 8 liefert an den Ausgängen 80_1V, 80U_2V und 80U_3V jeweils einen Strom von 80 μ A, am Ausgang 50UV einen Strom von 50 μ A und am Ausgang 30UV einen Strom von 30 μ A.

Zwischen den Anschlüssen VCCV und IREFV wird ein Referenzwiderstand angeschlossen. Wenn dieser Widerstand nicht integriert ist, muß die Temperaturkompensation für die V_{BE} -Schwankungen etwas verstärkt werden. Der Übertragungswert k wird dann auch entsprechend etwas größer. Q_{12} entspricht T_{51} , R_6 entspricht R_{52} , R_8/R_9 entsprechen R_{51} , Q_{16} entspricht T_{50} , Q_{14} entspricht T_{52} , R_7 entspricht R_{53} , der Referenzwiderstand entspricht R_{54} , Q_{18} entspricht T_{53} , R_{12} entspricht R_{55} , Q_{24} und R_{18} entsprechen T_{59} und R_{56} .

Die Basisanschlüsse von Q_4 und Q_7 entsprechen den Eingängen von OP_{30} , die Kollektoranschlüsse von Q_{10} und Q_{11} dem Ausgang von OP_{30} und der Kondensator C_1 dem Kondensator C_{30} .

Anschluß GNDI ist der Masseanschluß. An Anschluß VBGV wird eine Referenzspannung von 1,2 V angeschlossen und mit Anschluß OFFV werden die obengenannten Ausgänge geschaltet.

Q_{12} , Q_{14} , Q_{16} , R_6 , R_8 und R_9 sind gegenüber einer Schaltung entsprechend Fig. 3 zusätzlich vorhanden. Insgesamt wird aber durch die Verkleinerung von C_1 eine deutlich größere Chip-Fläche eingespart, wie oben beschrieben.

Patentansprüche

1. Frequenzgangkompensierte Schaltung mit einem der Schaltung zugeführten Sollwert (79) und mit einem in der Schaltung erzeugten Istwert (73), die eine gegengekoppelte Verstärkung (71, OP_{30}) mit mindestens einem Kondensator (C_1 , C_{30}) beinhaltet, wobei diese Verstärkung kleiner als eins ist, wenn der entsprechende Phasengang den Betrag von 180° erreicht, und wobei dieser Verstärkung ein Steuerwert (IREF, Basis Q_7 ; 73-70) als zweite Gegenkopplung aufgeschlagen wird, der von dem Istwert abgeleitet ist, dadurch gekennzeichnet, daß dem Ausgangssignal (Strom durch R_6) der gegengekoppelten Verstärkung zusätzlich ein unregelter Steuerwert (76, Emitterstrom von Q_{14}) aufgeschlagen wird, wobei ein reduzierter Anteil (74; R_6 , R_7 ; R_{52} , R_{53}) des mit dem unregelten Steuerwert kombinierten Ausgangssignals



deutlich geringer. Insbesondere wird die relativ große Chip-Fläche für den Kondensator C_{30} eingespart.

Fig. 5 zeigt nun eine Schaltung, die genaue Ströme erzeugt, bei der aber die Chipfläche für einen Frequenzgangkompensations-Kondensator deutlich reduziert ist. An die Anschlußpunkte A und B wird die in Fig. 3 links von A und B liegende Schaltung, bestehend aus den Widerständen R_{30} und R_{31} , dem Operationsverstärker OP_{30} und dem Kondensator C_{30} , angeschlossen. R_{51} und R_{54} haben den gleichen Wert und sind Referenzwiderstände. T_{50} ist ein Stromspiegel. I_{53} ist der Referenzstrom. An weiteren Transistoren, z.B. T_{59} , deren Basisanschlüsse an die Basis von T_{53} angeschlossen sind, bilden sich weitere, exakt gleiche Referenzströme, z.B. I_{59} . In Fig. 5 entsprechen die Widerstände R_{51} , R_{53} , R_{55} den Widerständen R_{42} , R_{43} , R_{44} aus Fig. 4 und die Transistoren T_{50} , T_{52} , T_{53} den Transistoren T_{40} , T_{42} , T_{43} aus Fig. 4. Dadurch wird der Referenzstrom I_{53} praktisch entsprechend dem Referenzstrom I_{43} vorgeregelt. Die Feinregelung übernimmt der an den Anschlußpunkten A und B angeschlossene Operationsverstärker OP_{30} . OP_{30} muß nur noch die durch V_{BE} bedingten temperaturabhängigen Schwankungen nachregeln. Entsprechend kann der Regelbereich von OP_{30} und damit die Gegenkopplung (wie für Fig. 2 beschrieben) verringert werden. Dies geschieht dadurch, daß der Ausgang von OP_{30} nicht direkt an den Emitter von T_{52} angeschlossen wird, sondern über den Emitterfolger T_{51} und einen Widerstand R_{52} . Der Widerstand R_{52} hat z.B. den Wert $R_{52} = 10 \cdot R_{53}$. Entsprechend kann C_{30} um den Faktor 10 verkleinert werden und z.B. statt 50 pF einen Wert von 5 pF haben.

Drei Transistoren und drei Widerstände benötigen z.B. eine Chip-Fläche, die der Fläche für einen 2 pF-Kondensator entsprechen würde. Man erkennt, daß durch die Reduktion von 50 pF auf 5 pF trotz der gegenüber Fig. 3 erhöhten Anzahl von Bauelementen eine deutliche Reduktion der benötigten Chip-Fläche für die gesamte Regelschaltung erfolgt, obwohl die Genauigkeit des Referenzstroms I_{53} dem von I_{30} entspricht.

In Fig. 6 und Fig. 7 ist das Prinzip der Erfindung nochmals verdeutlicht. Fig. 6 zeigt einen bekannten Regelkreis. Der Sollwert 69 wird einem Subtraktionspunkt 60 zugeführt. Vom Sollwert 69 wird der Istwert 63 abgezogen. Das Ergebnis wird über einen Fehlerverstärker 61 der Regelstrecke 62 zugeführt, die als Ausgangssignal den Istwert liefert.

Fig. 7 zeigt einen Regelkreis gemäß der Erfindung. Der Sollwert 79 wird einem Subtraktionspunkt 70 zugeführt. Vom Sollwert 79 wird der Istwert 73 abgezogen. Das Ergebnis wird über einen Fehlerverstärker 71 und einen Multiplizierer 74 einem Additionspunkt 75 zugeführt. Dort wird ein Voreinstellungs-Steuerwert 76 addiert und die Summe der Regelstrecke 72 zugeführt, die als Ausgangssignal wieder den Istwert liefert. Durch die Addition des Voreinstellungssteuerwertes 76 kann die Fehlerverstärkung 71 reduziert werden. Dies geschieht durch Multiplikation mit einem Übertragungswert k , $k < 1$, z.B. $k = 0,1 \dots 0,5$, im Multiplizierer 74. Durch die Reduktion der Fehlerverstärkung kann vorteilhaft die Frequenzgangkompensation im Fehlerverstärker 71 um den Faktor $1/k$ verringert werden.

Die Schaltung nach Fig. 8 liefert an den Ausgängen 80U_1V, 80U_2V und 80U_3V jeweils einen Strom von 80 μ A, am Ausgang 50UV einen Strom von 50 μ A und am Ausgang 30UV einen Strom von 30 μ A.

Zwischen den Anschlüssen VCCV und IREFV wird ein Referenzwiderstand angeschlossen. Wenn dieser Widerstand nicht mitintegriert ist, muß die Temperaturkompensation für die V_{BE} -Schwankungen etwas verstärkt werden. Der Übertragungswert k wird dann auch entsprechend etwas größer. Q_{12} entspricht T_{51} , R_6 entspricht R_{52} , R_6/R_9 entsprechen R_{51} , Q_{16} entspricht T_{50} , Q_{14} entspricht T_{52} , R_7 entspricht R_{53} , der Referenzwiderstand entspricht R_{54} , Q_{18} entspricht T_{53} , R_{12} entspricht R_{55} , Q_{24} und R_{18} entsprechen T_{59} und R_{56} . Die Basisanschlüsse von Q_4 und Q_7 entsprechen den Eingängen von OP_{30} , die Kollektoranschlüsse von Q_{10} und Q_{11} dem Ausgang von OP_{30} und der Kondensator C_1 dem Kondensator C_{30} .

Anschluß GNDV ist der Masseanschluß. An Anschluß VBGV wird eine Referenzspannung von 1,2 V angeschlossen und mit Anschluß OFFV werden die obengenannten Ausgänge geschaltet.

Q_{12} , Q_{14} , Q_{16} , R_6 , R_8 und R_9 sind gegenüber einer Schaltung entsprechend Fig. 3 zusätzlich vorhanden. Insgesamt wird aber durch die Verkleinerung von C_1 eine deutlich größere Chip-Fläche eingespart, wie oben beschrieben.

Patentansprüche

50

1. Frequenzgangkompensierte Schaltung mit einem der Schaltung zugeführten Sollwert (79) und mit einem in der Schaltung erzeugten Istwert (73), die eine gegengekoppelte Verstärkung (71, OP_{30}) mit mindestens einem Kondensator (C_1 , C_{30}) beinhaltet, wobei diese Verstärkung kleiner als eins ist, wenn der entsprechende Phasengang den Betrag von 180° erreicht, und wobei dieser Verstärkung ein Steuerwert (IREF, Basis Q_7 ; 73-70) als zweite Gegenkopplung aufgeschlagen wird, der von dem Istwert abgeleitet ist, dadurch gekennzeichnet, daß dem Ausgangssignal (Strom durch R_6) der gegengekoppelten Verstärkung zusätzlich ein unregelter Steuerwert (76, Emitterstrom von Q_{14}) aufgeschlagen wird, wobei ein reduzierter Anteil (74; R_6 , R_7 ; R_{52} , R_{53}) des mit dem unregelten Steuerwert kombinierten Ausgangssignals

55



der gegengekoppelten Verstärkung den Istwert (73) bildet.

2. Frequenzgangkompensierte Schaltung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß der unregelte Steuerwert (76) abgeleitet ist von mindestens einer Versorgungsspannung (V_{CC} , V_{CCII}) der Schaltung, von mindestens einem Referenzwiderstand (R_{51} , R_{54} ; R_6 , R_9) und von mindestens einer Basis-Emitter-Spannung (V_{BE}).
3. Frequenzgangkompensierte Schaltung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die gegengekoppelte Verstärkung (71) einen Operationsverstärker zur Fehlersignal-Verstärkung enthält.
4. Frequenzgangkompensierte Schaltung nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Operationsverstärker den Kondensator (C_1) zur Phasengang-Änderung enthält.

Claims

1. A frequency-response-compensated circuit with a desired value (79) which is supplied to the circuit and with an actual value (73) which is produced in the circuit, which circuit comprises a negative feedback amplification stage (71, OP30) with at least one capacitor (C_1 , C30), where this amplification is smaller than one when the corresponding phase response attains 180° , and where a control value (IREF, base Q_7 ; 73-70) derived from the actual value is added to this amplification as a second negative feedback, characterised in that an unregulated control value (76, emitter current of Q_{14}) is added to the output signal (current through R_6) of the negative feedback amplification stage, where a reduced component (74; R_6 , R_7 ; R_{52} , R_{53}) of the output signal of the negative feedback amplification stage, combined with the unregulated control value, forms the actual value (73).
2. A frequency-response-compensated circuit as claimed in Claim 1, characterised in that the unregulated control value (76) is derived from at least one supply voltage (V_{CC} , V_{CCII}) of the circuit, from at least one reference resistance (R_{51} , R_{54} ; R_6 , R_9) and from at least one base-emitter voltage (V_{BE}).
3. A frequency-response-compensated circuit as claimed in Claim 1 or 2, characterised in that the negative feedback amplification stage (7) contains an operational amplifier for error signal amplification.
4. A frequency-response-compensated circuit as claimed in Claim 3, characterised in that the operational amplifier contains the capacitor (C_1) for changing the phase response.

Revendications

1. Circuit à compensation de réponse fréquentielle avec une valeur de consigne (79) amenée au circuit et avec une valeur effective (73) produite dans le circuit qui comprend une amplification à contre-réaction (71, OP30) avec au moins un condensateur (C_1 , C30), cette amplification étant inférieure à un lorsque la réponse phase correspondante atteint la valeur de 180° et une valeur de commande (IREP, base Q_7 ; 73-70) étant amenée à cette amplification comme seconde contre-réaction, cette valeur étant dérivée de la valeur effective, **caractérisé en ce** qu'une valeur de commande non réglée (76, courant d'émetteur de Q_{14}) est amenée en plus au signal de sortie (courant par R_6) de l'amplification à contre-réaction, une partie réduite (74; R_6 , R_7 ; R_{52} , R_{53}) du signal de sortie combiné à la valeur de commande non réglée de l'amplification à contre-réaction formant la valeur effective (73).
2. Circuit à compensation de réponse fréquentielle selon la revendication 1, **caractérisé en ce** que la valeur de commande non réglée (76) est dérivée d'au moins une tension d'alimentation (V_{CC} , V_{CCII}) du circuit, d'au moins une résistance de référence (R_{51} , R_{54} ; R_6 , R_9) et d'au moins une tension base-émetteur (V_{BE}).
3. Circuit à compensation de réponse fréquentielle selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce** que l'amplification à contre-réaction (71) contient un amplificateur opérationnel pour l'amplification du signal d'erreur.
4. Circuit à compensation de réponse fréquentielle selon la revendication 3, **caractérisé en ce** que l'amplificateur opérationnel contient le condensateur (C_1) pour le changement de la réponse phase.