

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum

28. November 2013 (28.11.2013)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer

WO 2013/174476 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
H03F 3/217 (2006.01) *H03F 1/30* (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2013/001323
- (22) Internationales Anmeldedatum:
3. Mai 2013 (03.05.2013)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2012 104 488.0 24. Mai 2012 (24.05.2012) DE
- (71) Anmelder: HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN MÜNCHEN [DE/DE]; Lothstrasse 34, 80335 München (DE).
- (72) Erfinder: KLUGBAUER-HEILMEIER, Josef; Platschkyberg 13, 85356 Freising (DE).
- (74) Anwälte: LUCKE, Andreas et al.; Boehmert & Boehmert, Pettenkoflerstrasse 20-22, 80336 München (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,

GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

(54) Title: SWITCHED AMPLIFIER FOR VARIABLE SUPPLY VOLTAGE

(54) Bezeichnung : GESCHALTETER VERSTÄRKER FÜR VARIABLE VERSORGUNGSSPANNUNG

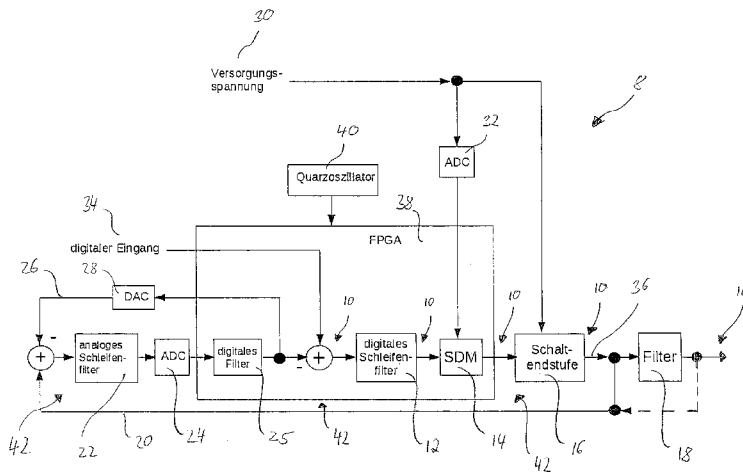


Fig. 1

- 12 Digital loop filter
- 16 Final switching stage
- 22 Analog loop filter
- 25 Digital filter
- 30 Supply voltage
- 34 Digital input
- 40 Quartz oscillator

(57) Abstract: The invention relates to an amplifier for amplifying an input signal to an output signal, comprising a signal path and a negative feedback connection. The signal path comprises modulating means which are suitable for receiving the input signal and generating a switching signal in response to the received input signal. Furthermore, the signal path comprises a final switching stage which is connected to a supply voltage. The final switching stage contains switching means which are switched in accordance with the switching signal generated by the modulating means and generates an output signal, the amplitude of which depends on the supply voltage. The negative feedback connection is suitable for feeding back the output signal from the final switching stage in order to be combined with the input signal. The signal path and the negative feedback connection form a loop having a loop gain. The amplifier is characterized in that it comprises compensating means which receive the supply voltage of the final switching stage or a signal derived from the latter and which are suitable for at least partly compensating for changes in the loop gain which result from a variation in the supply voltage.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



Verstärker zur Verstärkung eines Eingangssignals zu einem Ausgangssignal, der einen Signalpfad und eine Gegenkopplungsverbindung umfasst. Dabei umfasst der Signalpfad Modulationsmittel, die geeignet sind, das Eingangssignal zu empfangen und in Antwort auf das empfangene Eingangssignal ein Schaltsignal zu erzeugen. Weiterhin umfasst der Signalpfad eine Schaltendstufe, die mit einer Versorgungsspannung verbunden ist. Die Schaltendstufe enthält Schaltmittel, die entsprechend dem von den Modulationsmitteln erzeugten Schaltsignal geschaltet werden, und erzeugt ein Ausgangssignal, dessen Amplitude von der Versorgungsspannung abhängt. Die Gegenkopplungsverbindung ist geeignet, das Ausgangssignal der Schaltendstufe zurückzuführen, um mit dem Eingangssignal kombiniert zu werden. Der Signalpfad und die Gegenkopplungsverbindung bilden eine Schleife mit einer Schleifenverstärkung. Der Verstärker ist dadurch gekennzeichnet, dass er Kompensationsmittel umfasst, welche die Versorgungsspannung der Schaltendstufe oder ein aus dieser abgeleitetes Signal empfangen, und die geeignet sind, Änderungen in der Schleifenverstärkung, die sich aufgrund einer Variation der Versorgungsspannung ergeben, zumindest teilweise zu kompensieren.

Geschalteter Verstärker für variable Versorgungsspannung

5

GEBIET DER ERFINDUNG

Die vorliegende Erfindung liegt auf dem Gebiet der Audiotechnik. Genauer betrifft sie einen geschalteten Verstärker, der für einen energieeffizienten Betrieb geeignet ist, sowie ein
10 Verfahren zur energieeffizienten Verstärkung von Audiosignalen.

VERWANDTER STAND DER TECHNIK

Zur Verstärkung von Audiosignalen werden in der Audiotechnik elektronische
15 Leistungsverstärker eingesetzt. Die verstärkten Audiosignale werden mithilfe eines Lautsprechers in ein Schallsignal umgewandelt, welches dann vom Nutzer wahrgenommen werden kann. Solche elektronischen Leistungsverstärker werden in üblichen Geräten der Konsumelektronik, wie beispielsweise in CD-Playern und Fernsehgeräten verwendet.

20 Eine weit verbreitete Klasse von Verstärkern sind sogenannte Class-D Verstärker, die einen Modulator und eine geschaltete Schaltendstufe umfassen. Solche Class-D Verstärker zeichnen sich dadurch aus, dass die Schaltendstufe Schalter enthält, die nur zwei diskrete Schaltzustände annehmen und nicht - wie es bei anderen Verstärkerarten üblich ist - kontinuierlich angesteuert werden. Dadurch weisen diese geschalteten Verstärker einen
25 vergleichsweise hohen Wirkungsgrad auf. Aufgrund ihres hohen Wirkungsgrades werden geschaltete Verstärker besonders im professionellen Bereich verwendet, in dem oft höhere Leistungen gefordert werden. Ein Beispiel sind elektroakustische Anlagen, wie sie beispielsweise an Flughäfen oder in Einkaufszentren für Lautsprecherdurchsagen verwendet werden.

30

Die Ansteuerung der Schalter der Schaltendstufe erfolgt über ein Schaltsignal, welches von dem Modulator in Antwort auf das zu verstärkende Audiosignal bereitgestellt wird. Als Modulationsverfahren für solche Class-D Verstärker wird häufig die Sigma-Delta-Modulation

verwendet, mit der aus einem analogen oder digitalen Eingangssignal ein Schaltsignal erzeugt wird, das beispielsweise ein binäres oder ternäres Signal ist.

Ein Beispiel für einen solchen Class-D Verstärker wird in der Patentschrift US 2008/0042746
5 A1 angegeben. Dieser umfasst einen Sigma-Delta-Modulator, eine Schaltendstufe sowie eine
Gegenkopplungsverbindung, mit der Störungen im Signalpfad unterdrückt werden können.
Das Ausgangssignal der Schaltendstufe wird dabei aufgrund der Schaltvorgänge in der
Schaltendstufe erzeugt. Schaltverluste die sich in der Schaltendstufe ergeben sind dabei
10 proportional zum Quadrat der an der Schaltendstufe anliegenden Versorgungsspannung. Je
nach Höhe der anliegenden Versorgungsspannung ergeben sich dabei entsprechend hohe
Schaltverluste. Dies wirkt sich besonders bei schwachen Eingangssignalen negativ auf die
Energieeffizienz des Verstärkers aus.

Ein weiteres Beispiel für einen Class-D Verstärker wird in der Patentschrift US2006/0091945
15 A1 angegeben. Dieser Class-D Verstärker arbeitet nach dem Prinzip der Fehlerkorrektur.
Dabei werden Fehler, die sich in der Schaltendstufe aufgrund von Fehlern in der
Versorgungsspannung ergeben, dadurch minimiert, dass das Signal im Signalpfad außerhalb
einer Gegenkopplungsverbindung durch einen digitalen Versorgungsspannungswert dividiert
wird.

20

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Verstärker nach dem
25 Oberbegriff des Anspruchs 1 anzugeben, der energieeffizienter arbeiten kann als im Stand der
Technik üblich. Weiterhin soll ein Verfahren zur Verfügung gestellt werden, mit dem
Audiosignale energieeffizient verstärkt werden können.

Diese Aufgabe wird durch einen Verstärker nach Anspruch 1 sowie durch ein Verfahren nach
30 Anspruch 21 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den abhängigen Ansprüchen
angegeben.

Der erfindungsgemäße Verstärker dient zur Verstärkung eines Eingangssignals zu einem Ausgangssignal und umfasst einen Signalpfad und eine Gegenkopplungsverbindung. Der Signalpfad

- 5 - umfasst Modulationsmittel, die geeignet sind, das Eingangssignal zu empfangen und in Antwort auf das empfangene Eingangssignal ein Schaltsignal zu erzeugen, und
- umfasst eine Schaltendstufe, die mit einer Versorgungsspannung verbunden ist, wobei die Schaltendstufe Schaltmittel enthält, die entsprechend dem von den
10 Modulationsmitteln erzeugten Schaltsignal geschaltet werden, wobei die Schaltendstufe ein Ausgangssignal erzeugt, dessen Amplitude von der Versorgungsspannung abhängt.

Die Gegenkopplungsverbindung ist geeignet, das Ausgangssignal der Schaltendstufe
15 zurückzuführen, um mit dem Eingangssignal kombiniert zu werden. Der Signalpfad und die Gegenkopplungsverbindung bilden eine Schleife mit einer Schleifenverstärkung.

Schließlich umfasst der Verstärker Kompensationsmittel, welche die Versorgungsspannung der Schaltendstufe oder ein aus dieser abgeleitetes Signal empfangen, und die geeignet sind,
20 Änderungen in der Schleifenverstärkung, die sich aufgrund einer Variation der Versorgungsspannung ergeben, zumindest teilweise zu kompensieren.

Bekannte Verstärker, die eine Schaltendstufe, Modulationsmittel und eine Gegenkopplungsverbindung umfassen, werden mit einer konstanten oder im Wesentlichen
25 konstanten Versorgungsspannung betrieben. Auch bei kleinen Amplituden des Eingangssignals liegt die gesamte Versorgungsspannung an der Schaltendstufe an, deren Schaltmittel weiterhin mit einer bestimmten Schaltfrequenz geschaltet werden. Die mittlere Amplitude des Ausgangssignals wird dabei von der Abfolge und dem Vorzeichen der Pulse im Ausgangssignal bestimmt. Die Amplitude der Pulse im Ausgangssignal ist dabei im
30 Wesentlichen konstant und von der Versorgungsspannung abhängig, jedoch unabhängig von der Amplitude des Eingangssignals. Schaltverluste, die sich aus der Schaltung der Schaltmittel ergeben und die quadratisch mit der Versorgungsspannung ansteigen, sind bei bekannten Verstärkern somit im Wesentlichen unabhängig von der Amplitude des Eingangssignals. Somit ergeben sich selbst im Leerlaufbetrieb oder im Standby-Betrieb, d.h.

wenn kein Eingangssignal anliegt oder ein Eingangssignal anliegt, dessen Amplitude im Wesentlichen Null entspricht, Schaltverluste, die denjenigen Schaltverlusten entsprechen, die bei Eingangssignalen mit maximaler Amplitude vorliegen. Bei kleinen Amplituden des Eingangssignals sind daher die Effizienzverluste dieser Verstärker relativ hoch.

5

Wenn bei bekannten geschalteten Verstärkern, die eine Gegenkopplungsverbindung und somit eine Schleife mit einer Schleifenverstärkung umfassen, die Versorgungsspannung variiert wird, kann die Gesamtverstärkung aufgrund der Gegenkopplungsverbindung unter gewissen Umständen im Wesentlichen konstant gehalten werden. Allerdings führt die
10 Veränderung der Versorgungsspannung auch zu einer Veränderung der Schleifenverstärkung, die je nach Betriebszustand des Verstärkers eine Instabilität zur Folge haben kann. Somit können bekannte geschaltete Verstärker nur mit einer im Wesentlichen konstanten Versorgungsspannung stabil betrieben werden.

15 Im Gegensatz dazu ist der erfindungsgemäße Verstärker für den Betrieb mit einer variablen Versorgungsspannung geeignet, und ist insbesondere für einen energieeffizienteren Betrieb geeignet als er im Stand der Technik üblich ist. Der erfindungsgemäße Verstärker löst die oben genannte Aufgabe mithilfe von Kompensationsmitteln, welche die Versorgungsspannung der Schaltendstufe oder ein aus dieser abgeleitetes Signal empfangen,
20 und die geeignet sind, Änderungen in der Schleifenverstärkung, die sich aufgrund einer Variation der Versorgungsspannung ergeben, zumindest teilweise zu kompensieren.

Aufgrund der Kompensationsmittel wird in dem erfindungsgemäßen Verstärker somit auch bei einer Variation der Versorgungsspannung die Schleifenverstärkung im Wesentlichen
25 konstant gehalten. Dadurch kann der Verstärker unabhängig von der an der Schaltendstufe anliegenden Versorgungsspannung stabil mit hoher Schleifenverstärkung betrieben werden.

Der erfindungsgemäße Verstärker ist damit für den Betrieb mit einer Versorgungsspannung geeignet, die an die Amplitude des Eingangssignals angepasst ist. Beispielsweise kann bei
30 maximalen Eingangssignalen auch die maximale Versorgungsspannung an die Schaltendstufe angelegt werden und bei minimalen Eingangssignalen oder im Standby-Betrieb eine minimale Versorgungsspannung oder eine Versorgungsspannung von Null. Hierbei besteht die Anpassung der mittleren Amplitude des Ausgangssignals nicht oder nicht ausschließlich in der Anpassung der Abfolge und/oder des Vorzeichens der Pulse im Ausgangssignal sondern

vornehmlich in der Anpassung der Amplitude der Pulse im Ausgangssignal. Bei kleinen Amplituden des Eingangssignals sind auch die Amplituden der Pulse im Ausgangssignal klein und umgekehrt. Da die Schaltverluste mit dem Quadrat der Versorgungsspannung bzw. mit dem Quadrat der Amplitude der Pulse im Ausgangssignal skalieren, können die Schaltverluste erheblich reduziert werden. Unnötig hohe Effizienzverluste bei geringen Amplituden des Eingangssignals können daher mithilfe des erfindungsgemäßen Verstärkers vermieden werden.

Für den Betrieb des erfindungsgemäßen Verstärkers muss die Versorgungsspannung jedoch nicht notwendigerweise an die Amplitude des Eingangssignals angepasst sein. Vielmehr ist es möglich den erfindungsgemäßen Verstärker mit einem breiten Spektrum von Versorgungsspannungen zu betreiben, ohne dass dazu eine zusätzliche Anpassung vorgenommen werden müsste, da aufgrund der Kompensationsmittel der stabile Betrieb des Verstärkers sichergestellt ist. Auf die Weise ist der Verstärker der Erfindung universell einsetzbar.

Eine vorteilhafte Weiterbildung des Verstärkers umfasst Mittel zum Variieren der Versorgungsspannung in Abhängigkeit von dem Eingangssignal. Das Variieren erfolgt dabei derart, dass bei kleinen Amplituden des Eingangssignals die Versorgungsspannung verringert wird und bei vergleichsweise großen Amplituden des Eingangssignals die Versorgungsspannung entsprechend erhöht wird.

Vorzugsweise sind die Kompensationsmittel geeignet, das Signal in dem Signalpfadabschnitt der Schleife in Abhängigkeit der Versorgungsspannung in einer Weise zu verstärken bzw. zu verringern, die einer Änderung der Schleifenverstärkung aufgrund der Variation der Versorgungsspannung entgegenwirkt. Da Signalverstärkungen, die auf dem Signalpfadabschnitt in der Schleife vorgenommen werden, sowohl die Schleifenverstärkung als auch die Vorwärtsverstärkung in gleichem Maße beeinflussen, wird die Gesamtverstärkung durch diese Änderung nicht oder nur unwesentlich verändert.

Grundsätzlich bestehen unterschiedliche Möglichkeiten, die Verstärkung im Signalpfad zum Zweck der genannten Kompensation technisch zu realisieren. In einer besonders vorteilhaften Ausführungsform umfasst der Verstärker eine zusätzliche Modulator-Gegenkopplungsverbindung, um das Schaltsignal an einen Eingang der Modulationsmittel

zurückzuführen und um das zurückgeführte Signal mit dem Signal am Eingang der Modulationsmittel zu kombinieren. In diesem Fall kann mithilfe der Kompensationsmittel das Signal auf der Modulator-Gegenkopplungsverbindung in Abhängigkeit von der Versorgungsspannung derart verstärkt bzw. verringert werden, dass der Änderung der Schleifenverstärkung aufgrund der Variation der Versorgungsspannung entgegengewirkt wird.

Die Verstärkung bzw. die Verringerung des Signals auf der Modulator-Gegenkopplungsverbindung besteht dabei vorzugsweise in einer Multiplikation mit der Versorgungsspannung oder mit einem Signal, das aus dieser abgeleitet ist. Eine Signalmultiplikation in der Modulator-Gegenkopplungsverbindung entspricht dabei funktional einer Signaldivision in Vorwärtsrichtung des Signalpfades. Die Vorwärtsrichtung ist diejenige Richtung, in der das Signal vom Verstärkereingang zum Verstärkerausgang verläuft, ohne auf einer Gegenkopplungsverbindung zurückgeführt zu werden. Die Signalmultiplikation hat gegenüber der Signaldivision den Vorteil, dass sie technisch einfacher zu realisieren ist.

Vorzugsweise umfassen die Kompensationsmittel einen Multiplexer für die Signalmultiplikation auf der Modulator-Gegenkopplungsverbindung. Der Multiplexer besitzt einen ersten Eingang für das Schaltsignal und einen zweiten Eingang für die Versorgungsspannung oder für ein Signal, das aus dieser abgeleitet ist. Der Multiplexer wird durch das zurückgeführte Schaltsignal gesteuert und erzeugt in Antwort auf das Schaltsignal ein Ausgangssignal. Beispielsweise kann das Schaltsignal ein binäres Signal sein, welches einen ersten Wert und einen zweiten Wert umfasst, wobei das Ausgangssignal für den ersten Wert beispielsweise dem Wert der Versorgungsspannung oder einem Wert entspricht, der aus der Versorgungsspannung abgeleitet ist. Für den zweiten Wert des Schaltsignals entspricht das Ausgangssignal beispielsweise dem entsprechenden invertierten Wert.

Ebenso kann das Schaltsignal auch ein ternäres Signal sein. Das Ausgangssignal des Multiplexers umfasst dann entsprechend drei Werte. Beispielsweise umfasst das Ausgangssignal des Multiplexers den Wert der Versorgungsspannung oder einen Wert, der aus der Versorgungsspannung abgeleitet ist, den entsprechend invertierten Wert und den Wert Null.

Die Modulationsmittel des Verstärkers umfassen vorzugsweise einen Sigma-Delta-Modulator zweiter Ordnung. Je höher die Ordnung des Sigma-Delta-Modulators ist, desto besser kann das in dem Modulator erzeugte Rauschen unterdrückt werden. Andererseits ist der Sigma-Delta-Modulator mit ansteigender Ordnung auch schwieriger zu stabilisieren. Die Phasenverschiebung des zurückgeführten Signals ist bei einem Sigma-Delta-Modulator höherer Ordnung gegenüber einem Sigma-Delta-Modulator erster Ordnung um einen Faktor erhöht, welcher der Ordnung des Sigma-Delta-Modulators entspricht. Es hat sich gezeigt, dass ein Sigma-Delta-Modulator zweiter Ordnung einen guten Kompromiss zwischen Phasenverschiebung und Rauschunterdrückung darstellt.

Das Schleifenfilter des Sigma-Delta-Modulators kann beispielsweise Integratoren und/oder Resonatoren umfassen und besitzt eine hohe Verstärkung für die zu verstärkenden Frequenzen im Audiodbereich zwischen 0 - 20 kHz und eine Verstärkung von Eins oder kleiner für Frequenzen außerhalb dieses Bereiches. Die Zustandsvariablen dieses Schleifenfilters, wie beispielsweise die Ausgangssignale der Integratoren, weisen ein Sättigungsverhalten auf, das von dem Wert des auf der Modulator-Gegenkopplung zurückgeführten Signals abhängt. Damit der Sigma-Delta-Modulator in allen Betriebszuständen stabil bleibt, müssen die Zustandsvariablen des Schleifenfilters ein definiertes Sättigungsverhalten aufweisen. Dies wird vorzugsweise dadurch erreicht, dass die Begrenzungswerte oder Sättigungswerte der Zustandsvariablen mithilfe der Kompensationsmittel in Antwort auf die Variation der Versorgungsspannung entsprechend angepasst werden. Die Anzahl der Zustandsvariablen des Schleifenfilters entspricht der Ordnung des Schleifenfilters, die mit der Anzahl der Integratoren des Schleifenfilters übereinstimmt.

Vorzugsweise handelt es sich bei dem Sigma-Delta-Modulator um einen digitalen Sigma-Delta-Modulator, der auf einem hardwareprogrammierbaren Baustein, insbesondere auf einem FPGA (Field Programmable Gate Array) ausgeführt ist. Die beschriebene Erfindung bietet besonders in einer Realisierung auf einem FPGA Vorteile. Allerdings kann die Erfindung auch mithilfe eines integrierten Schaltkreises, insbesondere eines ASIC (Application Specific Integrated Circuit) realisiert werden.

Weiterhin ist dem Sigma-Delta-Modulator des erfindungsgemäßen Verstärkers in dem Signalpfad vorzugsweise ein digitales Schleifenfilter vorgeschaltet, das geeignet ist, das Eingangssignal zu empfangen, nachdem dieses mit dem Signal kombiniert wurde, welches

über die Gegenkopplungsverbindung zurückgeführt wurde. Vorzugsweise ist das digitale Schleifenfilter - ebenso wie der Sigma-Delta-Modulator - auf dem hardwareprogrammierbaren Baustein, insbesondere auf dem FPGA, ausgeführt. Das digitale Schleifenfilter führt zu einer hohen Schleifenverstärkung für die zu verstärkenden
5 Frequenzen, so dass Störungen mithilfe der Gegenkopplung wirksam unterdrückt werden können.

Vorzugsweise umfasst die Gegenkopplungsverbindung des Verstärkers weiterhin ein analoges Schleifenfilter und einen ersten Analog-Digital-Wandler, insbesondere einen Analog-Digital-
10 Wandler zweiter Ordnung, dessen Eingang mit dem Ausgang des analogen Schleifenfilters verbunden ist. Mithilfe des ersten Analog-Digital-Wandlers wird das Ausgangssignal des analogen Schleifenfilters digitalisiert und an den FPGA weitergeleitet.

Ferner wird das Ausgangssignal des ersten Analog-Digital-Wandlers vorzugsweise über eine
15 Digital-Analog-Gegenkopplungsverbindung zurückgeführt, um mit dem zurückgeführten Ausgangssignal der Schaltendstufe kombiniert zu werden. In der Digital-Analog-Gegenkopplungsverbindung ist ein Digital-Analog-Wandler angeordnet, der geeignet ist, das zurückgeführte Ausgangssignal des ersten Analog-Digital-Wandlers in ein analoges Signal umzuwandeln, bevor dieses mit dem über die Gegenkopplungsverbindung zurückgeführten
20 analogen Ausgangssignal der Schaltendstufe kombiniert wird.

Vorzugsweise werden für den ersten Analog-Digital-Wandler und für den Digital-Analog-Wandler 1-Bit Wandler verwendet. Aufgrund der Verwendung des analogen Schleifenfilters, das im Audiobereich typischerweise eine hohe Schleifenverstärkung besitzt, kann für den
25 ersten Analog-Digital-Wandler ein einfacher kostengünstiger 1-Bit Analog-Digital-Wandler verwendet werden

Alternativ können – z.B. bei höheren Qualitätsansprüchen - für den ersten Analog-Digital-Wandler und für den Digital-Analog-Wandler anstatt von 1-Bit Wandlern auch Wandler mit
30 mehr als 1-Bit Wortbreite eingesetzt werden. In diesem Fall wird dem ersten Analog-Digital-Wandler vorzugsweise ein digitales Filter nachgeschaltet, dessen Ausgangssignal dann über die Digital-Analog-Gegenkopplungsverbindung zurückgeführt wird. Mithilfe des digitalen Filters können hochfrequente Signalanteile vermindert werden. Zusammen bilden das analoge Schleifenfilter, der erste Analog-Digital-Wandler, das digitale Filter, der Digital-Analog-

Wandler und die Digital-Analog-Gegenkopplungsverbindung einen kostengünstigen Analog-Digital-Wandler für das zurückgeführte Ausgangssignal der Schaltendstufe.

Um das Ausgangssignal der Schaltendstufe zu glätten, umfasst der Verstärker vorzugsweise ein Filter, das im Signalpfad in Vorwärtsrichtung hinter der Schaltendstufe angeordnet ist. Die Gegenkopplungsverbindung ist dabei ausgangsseitig nach dem Ausgang der Schaltendstufe und vor dem Eingang des Filters mit dem Signalpfad verbunden. Alternativ ist die Gegenkopplungsverbindung nach dem Ausgang des Filters mit dem Signalpfad verbunden. Die Gegenkopplungsverbindung ist somit geeignet, das Ausgangssignal der Schaltendstufe vor oder nach dem Filter zurückzuführen.

Vorzugsweise enthält der Verstärker einen zweiten Analog-Digital-Wandler, der geeignet ist, die Versorgungsspannung in ein digitales Signal umzuwandeln und dieses an die Kompensationsmittel weiterzuleiten. Somit kann die zumindest teilweise Kompensation von Änderungen in der Schleifenverstärkung, die sich aufgrund einer Variation der Versorgungsspannung ergeben, digital auf dem FPGA erfolgen. Dieses Signal ist ein Beispiel für ein eingangs erwähntes Signal, das aus der Versorgungsspannung „abgeleitet“ ist.

Der Verstärker enthält vorzugsweise einen Anschluss für die Versorgungsspannung, die über ein Netzteil zur Verfügung gestellt wird, welches in einer Ausführungsform der Erfindung nicht Teil des Verstärkers selbst ist. Die Versorgungsspannung wird verstärkerextern bereitgestellt und an den dafür vorgesehenen Anschluss des Verstärkers angeschlossen.

Die Schaltendstufe des Verstärkers wird vorzugsweise durch eine H-Brücke gebildet. Dabei bestehen die Schaltmittel des Verstärkers vorzugsweise aus Power-MOSFET-Transistoren, die durch das Schaltsignal geschaltet werden.

Für die digitale Signalverarbeitung und die digitale Signalerzeugung enthält der Verstärker vorzugsweise eine Taktquelle. Diese stellt für den Betrieb des ersten Analog-Digital-Wandlers eine Abtastfrequenz von ≥ 100 kHz, vorzugsweise von ≥ 1 MHz, besonders vorzugsweise von ≥ 10 MHz bereit. Die verschiedenen notwendigen Taktfrequenzen können direkt durch die Taktquelle bereitgestellt oder im FPGA aus der Taktquelle abgeleitet werden.

In einer alternativen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verstärkers sind die Kompensationsmittel geeignet, das Signal auf der Gegenkopplungsverbindung in Abhängigkeit der Versorgungsspannung in einer Weise zu verstärken bzw. zu verringern, die einer Änderung der Schleifenverstärkung aufgrund der Variation der Versorgungsspannung entgegenwirkt. Bei dem Eingriff in die Gegenkopplungsverbindung wird die Schleifenverstärkung, aber nicht die Vorwärtsverstärkung verändert. Um einer sich daraus ergebenden Änderung in der Gesamtverstärkung entgegenzuwirken, wird mithilfe der Kompensationsmittel zusätzlich das Signal auf dem Signalpfad in einem Abschnitt außerhalb der genannten Schleife entsprechend verstärkt bzw. verringert, wodurch nur die Vorwärtsverstärkung aber nicht die Schleifenverstärkung verändert wird. Auf diese Weise ist es möglich, die erstgenannte Änderung in der Gesamtverstärkung entsprechend zu kompensieren.

Bei der alternativen Ausführungsform erfolgt die Verstärkung bzw. Verringerung des Signals auf der Gegenkopplungsverbindung mithilfe der Kompensationsmittel vorzugsweise über eine Multiplikation mit der Versorgungsspannung der Schaltendstufe oder mit einem Signal, das aus dieser abgeleitet ist.

In einer zweiten alternativen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verstärkers sind die Kompensationsmittel geeignet, das Signal auf dem Signalpfad in der Schleife mit der Versorgungsspannung der Schaltendstufe oder mit einem aus diesem abgeleiteten Signal zu dividieren. Die Division auf dem Signalpfad in der Schleife verändert in gleichem Maße die Vorwärtsverstärkung und die Schleifenverstärkung, so dass die Gesamtverstärkung im Wesentlichen unverändert bleibt.

Weiterhin beinhaltet die Erfindung ein Verfahren zur Verstärkung eines Eingangssignals zu einem Ausgangssignal mithilfe eines Verstärkers, der einen Signalpfad und eine Gegenkopplungsverbindung umfasst, die eine Schleife mit einer Schleifenverstärkung bilden, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:

- Empfangen des Eingangssignals,
- Erzeugen eines Schaltsignals mithilfe von Modulationsmitteln,

- Erzeugen eines Ausgangssignals mithilfe einer Schaltendstufe, die mit einer Versorgungsspannung verbunden ist, wobei die Schaltendstufe Schaltmittel enthält, die entsprechend dem von den Modulationsmitteln erzeugten Schaltsignal geschaltet werden, wobei die Amplitude des Ausgangssignals von der Versorgungsspannung abhängt,
5
- Zurückführen des Ausgangssignals der Schaltendstufe mithilfe der Gegenkopplungsverbindung,
- 10 - Kombinieren des zurückgeführten Ausgangssignals mit dem Eingangssignal,
- zumindest teilweises Kompensieren von Änderungen in der Schleifenverstärkung, die sich aufgrund einer Variation der Versorgungsspannung ergeben, unter Verwendung von Kompensationsmitteln, wobei die Kompensationsmittel die
15 Versorgungsspannung der Schaltendstufe oder ein aus dieser abgeleitetes Signal empfangen.

Vorzugsweise wird das Verfahren durch einen Verstärker nach einer der oben genannten Ausführungsformen ausgeführt.

20

KURZBESCHREIBUNG DER FIGUREN

Weitere Vorteile und Merkmale der Erfindung ergeben sich aus der folgenden Beschreibung, in der die Erfindung anhand eines bevorzugten Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf
25 die beigefügten Zeichnungen näher erläutert wird. Darin zeigen:

- Figur 1 ein Blockschaltbild des erfindungsgemäßen Verstärkers mit digitalem Schleifenfilter und digitalem Sigma-Delta-Modulator,
- 30 Figur 2 ein Blockschaltbild des internen Sigma-Delta-Modulators, und
- Figur 3 ein Blockschaltbild eines digitalen Integrators mit angepasster Sättigung.

BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORM

Figur 1 zeigt ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verstärkers 8. Dieser umfasst einen Signalpfad 10, in dem nacheinander in Vorwärtsrichtung ein digitales Schleifenfilter 12, ein digitaler Sigma-Delta-Modulator 14, eine Schaltendstufe 16 und ein Filter 18 angeordnet sind. Die Schaltendstufe 16 wird dabei durch eine H-Brücke gebildet. Weiterhin ist eine Gegenkopplungsverbindung 20 dargestellt, die an ihrem Eingang mit dem Signalpfad 10 zwischen der Schaltendstufe 16 und dem Filter 18 oder alternativ mit dem Signalpfad 10 nach dem Filter 18 verbunden ist. In der Gegenkopplungsverbindung 20 sind weiterhin ein analoges Schleifenfilter 22, ein erster Analog-Digital-Wandler 24 und ein digitales Filter 25 nacheinander in Signalrichtung angeordnet. Eine Digital-Analog-Gegenkopplungsverbindung 26 ist an ihrem Eingang mit dem Ausgang des digitalen Filters 25 und an ihrem Ausgang mit dem Eingang des analogen Schleifenfilters 22 verbunden. Innerhalb der Digital-Analog-Gegenkopplungsverbindung 26 ist weiterhin ein Digital-Analog-Wandler 28 enthalten. Der Verstärker 8 wird mit einer Versorgungsspannung 30 betrieben, die variabel sein kann, und die mit der Schaltendstufe 16 und - über einen zweiten Analog-Digital-Wandler 32 - mit dem digitalen Sigma-Delta-Modulator 14 verbunden ist. Ein digitaler Eingang 34 bildet den Eingang des Signalpfades 10, auf dem nach der Schaltendstufe 16 das Ausgangssignal 36 bereitgestellt wird. Das digitale Schleifenfilter 12, der Sigma-Delta-Modulator 14 und das digitale Filter 25 sind auf einem hardwareprogrammierbaren Baustein 38 ausgeführt, der aus einem FPGA besteht und mit einer Taktquelle 40 verbunden ist. Zusammen mit dem Signalpfad 10 bildet die Gegenkopplungsverbindung 20 eine Schleife 42.

Über die Gegenkopplungsverbindung 20 wird das analoge Ausgangssignal 36 der Schaltendstufe 16 oder alternativ das Ausgangssignal hinter dem Filter 18 zurückgeführt, um mit dem Eingangssignal kombiniert zu werden. Die Kombination erfolgt typischerweise derart, dass das um 180° zu dem Eingangssignal phasenverschobene, zurückgeführte Signal mit dem Eingangssignal addiert wird. Dies entspricht einer Signalsubtraktion. Mithilfe der Gegenkopplung werden Störeffekte, die auf dem Signalpfad 10 innerhalb der Schleife 42 entstehen, beseitigt oder zumindest unterdrückt. Ein Beispiel für einen solchen Störeffekt ist ein nichtlineares Verhalten in der Schaltendstufe 16, das zu Klangverzerrungen führt.

Bevor das zurückgeführte Signal mit dem Eingangssignal kombiniert wird, wird es mithilfe des analogen Schleifenfilters 22 verstärkt und anschließend mithilfe des ersten Analog-

Digital-Wandler 24 digitalisiert. Weiterhin werden mithilfe des digitalen Filters 25 hochfrequente Signalanteile in dem digitalisierten Signal nach dem ersten Analog-Digital-Wandler 24 vermindert. Der erste Analog-Digital-Wandler 24 ist dabei vorzugsweise ein Sigma-Delta Analog-Digital-Wandler zweiter Ordnung, der vorzugsweise mit einer Taktfrequenz > 10 MHz betrieben wird.

Das mit dem zurückgeführten Ausgangssignal kombinierte Eingangssignal wird durch das digitale Schleifenfilter 12 für den erforderlichen Frequenzbereich verstärkt und für höhere Frequenzen oberhalb dieses Frequenzbereiches unverstärkt oder abgeschwächt an den digitalen Sigma-Delta-Modulator 14 weitergegeben.

Mithilfe der Digital-Analog-Gegenkopplungsverbindung 26 wird das Ausgangssignal des digitalen Filters 25 zurückgeführt, um mit dem zurückgeführten Ausgangssignal 36 der Schaltendstufe 16 kombiniert zu werden. Bevor das digitale Ausgangssignal des digitalen Filters 25 kombiniert wird, wird dieses mithilfe des Digital-Analog-Wandlers 28 in ein analoges Signal umgewandelt. Ebenso wie der erste Analog-Digital-Wandler 24 wird auch der Digital-Analog-Wandler 28 mit einer Taktfrequenz von vorzugsweise > 10 MHz betrieben. Aufgrund der Verwendung einer Taktfrequenz von > 10 MHz entstehen bei der Umwandlung zwischen digitalen und analogen Signalen keine oder nur geringe Fehler, so dass keine oder nur eine sehr einfache Aliasingfilterung notwendig ist, mit der üblicherweise Effekte vermindert werden, die durch eine zu geringe Taktfrequenz bei der Umwandlung zwischen digitalen und analogen Signalen entstehen (sog. Alias-Effekte).

In Antwort auf das Ausgangssignal des digitalen Schleifenfilters 12 erzeugt der digitale Sigma-Delta-Modulator 14 ein Schaltsignal, bei welchem es sich um ein digitales Signal handelt, das beispielsweise die Werte „0“ und „1“ annehmen kann.

Das Schaltsignal wird von der Schaltendstufe 16 empfangen, die in Antwort auf das Schaltsignal das Ausgangssignal 36 erzeugt. Die Schaltendstufe 16 enthält Schaltmittel, die in Abhängigkeit des Schaltsignals geschaltet werden und dabei einen von zwei diskreten Schaltzuständen annehmen. Die Schaltmittel der Schaltendstufe 16 können beispielsweise durch Power-MOSFET-Transistoren gebildet werden. Beim Ansteuern der Schaltmittel entspricht beispielsweise der Signalwert „0“ des Schaltsignals einem Schaltzustand „geschlossen“ und der Signalwert „1“ des Schaltsignals einem Schaltzustand „offen“ oder

umgekehrt, je nachdem welches spezielle Schaltmittel betrachtet wird. Somit werden in Antwort auf das Schaltsignal die Schaltmittel der Schaltendstufe 16 geschaltet und in Antwort auf die Schaltvorgänge einzelne Pulse im Ausgangssignal 36 erzeugt. Die Amplitude und das Vorzeichen der Pulse im Ausgangssignal 36 hängen dabei vom Wert der anliegenden Versorgungsspannung 30 und vom Wert des Schaltsignals ab. Beispielsweise wird für den Wert "1" des Schaltsignals ein Puls oder ein Pulsbeitrag im Ausgangssignal 36 erzeugt, welcher der Versorgungsspannung 30 entspricht. Für den Wert "0" des Schaltsignals wird dann beispielsweise ein entsprechend invertierter Puls oder Pulsbeitrag im Ausgangssignal 36 erzeugt. Somit weist auch das Ausgangssignal 36 – entsprechend der zwei Signalwerte des Schaltsignals – zwei diskrete Werte auf, deren Betrag von der an der Schaltendstufe 16 anliegenden Versorgungsspannung 30 abhängt.

Die Verstärkung des Eingangssignals durch den Verstärker 8 zu dem Ausgangssignal 36 erfolgt derart, dass die mittlere Amplitude des Ausgangssignals 36 im Wesentlichen der um einen bestimmten Faktor verstärkten mittleren Amplitude des Eingangssignals entspricht. Wenn das Ausgangssignal 36 auf einem Zeitabschnitt einer bestimmten Länge nur positive Pulse bzw. nur negative Pulse enthält, dann nimmt die mittlere Amplitude des Ausgangssignals 36 auf diesem Zeitabschnitt für die anliegende Versorgungsspannung 30 ihren maximalen bzw. ihren minimalen Wert an. Hierbei spricht man von einer 100 % positiven bzw. von einer 100 % negativen Auskopplung. Wenn das Ausgangssignal 36 auf einem Zeitabschnitt einer bestimmten Länge annähernd gleich viele positive und negative Pulse enthält, dann nimmt die mittlere Amplitude des Ausgangssignals 36 auf diesem Zeitabschnitt annähernd den Wert Null an. In diesem Fall liegt eine Auskopplung von 0 % vor. Die mittlere Amplitude des Ausgangssignals 36 wird somit von dem Grad der Auskopplung und der anliegenden Versorgungsspannung 30 bestimmt. Der Grad der Auskopplung ist dabei durch das Schaltsignal bestimmt, welches mithilfe des digitalen Sigma-Delta-Modulators 14 in Antwort auf das Eingangssignal erzeugt wird.

Man erkennt, dass bei schwachen Eingangssignalen eine vergleichsweise geringe Auskopplung vorliegen wird, um die entsprechende vergleichsweise geringe mittlere Amplitude des Ausgangssignals 36 zu erzeugen. Dies bedeutet aber, dass für diesen Fall die Versorgungsspannung 30 der Schaltendstufe 16 höher ist als eigentlich nötig. Gleichzeitig stellen hohe Versorgungsspannungen 36 bei schwachen Eingangssignalen ein Problem

bezüglich der Energieeffizienz dar, weil die Schaltverluste der Schaltendstufe 16 quadratisch mit der Versorgungsspannung 30 skalieren.

Der Erfinder hat erkannt, dass sich die Energieeffizienz steigern lässt, wenn die
5 Versorgungsspannung 30 – bei an sich unveränderter Gesamtverstärkung – an das Eingangssignal angepasst werden kann, so dass bei schwächeren Eingangssignalen unnötig hohe Versorgungsspannungen 30 vermieden werden können.

Eine solche Funktionsweise wird durch den gezeigten Aufbau an sich dadurch begünstigt,
10 dass die Gesamtverstärkung aufgrund der Gegenkopplungsverbindung 20 im Wesentlichen unabhängig von der Versorgungsspannung 30 ist. Allerdings führt die Veränderung der Versorgungsspannung 30, wie unten näher erläutert wird, zu einer Änderung der Schleifenverstärkung, die ihrerseits eine Instabilität der Gegenkopplung zur Folge hat. Die Erfindung schlägt daher vor, Änderungen in der Schleifenverstärkung, die sich aus der im
15 Rahmen der Erfindung möglichen Variation der Versorgungsspannung 30 ergibt, auf geeignete Weise zu kompensieren und dadurch die Stabilität der Gegenkopplung zu gewährleisten. Dies wird im Folgenden im Detail erläutert.

Die Gesamtverstärkung A_G , mit der das Eingangssignal zu dem Ausgangssignal verstärkt
20 wird, ergibt sich aus der Vorwärtsverstärkung A_V und der Schleifenverstärkung A_S aus folgender Formel:

$$A_G = \frac{A_V}{1 + A_S}$$

25 Dabei ist die Schleifenverstärkung A_S diejenige Verstärkung, mit der ein Signal bei einmaligem Durchlauf durch die Schleife 42 verstärkt wird, und die Vorwärtsverstärkung A_V diejenige Verstärkung, mit der das Eingangssignal ohne Gegenkopplung zu dem Ausgangssignal 36 verstärkt würde. Der erfindungsgemäße Verstärker besitzt für den Audiobereich von 0 bis 10 kHz vorzugsweise eine Schleifenverstärkung von ≥ 30 dB,
30 vorzugsweise von ≥ 40 dB und besonders vorzugsweise von ≥ 50 dB.

Aufgrund der Gegenkopplung wird die Gesamtverstärkung A_G , die ohne Gegenkopplung der Vorwärtsverstärkung A_V entspräche, um den Faktor $(1+A_S)^{-1}$ reduziert, wodurch das Verstärkerverhalten auf Kosten der Gesamtverstärkung A_G linearisiert und stabilisiert wird.

- 5 Da sich die Schaltendstufe 16 auf dem Signalpfad 10 innerhalb der Schleife 42 befindet, ist sowohl die Schleifenverstärkung A_S als auch die Vorwärtsverstärkung A_V proportional zur anliegenden Versorgungsspannung. D.h.

$$A_S = K_U \cdot A_{SU} \text{ und}$$

10 $A_V = K_U \cdot A_{VU},$

wobei K_U der von der Versorgungsspannung 30 abhängige Proportionalitätsfaktor ist, und wobei A_{SU} bzw. A_{VU} der Anteil der Schleifen- bzw. Vorwärtsverstärkung ist, der nicht mit der Versorgungsspannung 30 variiert.

- 15 Da sowohl die Vorwärtsverstärkung A_V als auch die Schleifenverstärkung A_S für das zu verstärkende Eingangssignal wesentlich größer sind als Eins ($A_V, A_S \gg 1$), entspricht die Gesamtverstärkung A_G näherungsweise dem Quotienten g aus Vorwärtsverstärkung A_V und Schleifenverstärkung A_S , der unabhängig von der anliegenden Versorgungsspannung 30 ist:

20
$$A_G = \frac{A_V}{1 + A_S} = \frac{K_U \cdot A_{VU}}{1 + K_U \cdot A_{SU}} \approx g$$

- Daher bleibt die Gesamtverstärkung A_G , mit der das Eingangssignal zum Ausgangssignal 36 verstärkt wird, auch bei einer Variation der Versorgungsspannung 30 aufgrund der
25 Gegenkopplungsverbindung 20 im Wesentlichen unverändert. Bei einer verringerten Versorgungsspannung 30 sind auch die Schleifenverstärkung A_S und die Vorwärtsverstärkung A_V verringert, so dass die Gesamtverstärkung A_G im Wesentlichen erhalten bleibt. Der Grad der Auskopplung wird dabei automatisch entsprechend erhöht.

- 30 Für den energieeffizienten Betrieb kann somit bei schwachen Eingangssignalen die Versorgungsspannung 30 entsprechend angepasst werden, so dass der Grad der Auskopplung erhalten bleibt.

Bei bekannten geschalteten Verstärkern mit Gegenkopplung würde bei einer Variation der Versorgungsspannung auch die Schleifenverstärkung A_S verändert. Dies führt jedoch bei bestimmten Signalfrequenzen zu einer Verschiebung der Phase des zurückgeführten Ausgangssignals und dadurch zu einer Instabilität des Verstärkers.

5

Um dieser Instabilität entgegenzuwirken, umfasst der erfindungsgemäße Verstärker 8 Kompensationsmittel, welche die an der Schaltendstufe 16 anliegende Versorgungsspannung 30 oder ein aus dieser abgeleitetes Signal empfangen und geeignet sind, Änderungen in der Schleifenverstärkung, die sich aufgrund einer Variation der Versorgungsspannung 30
10 ergeben, zumindest teilweise zu kompensieren.

In einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verstärkers 8 erfolgt die zumindest teilweise Kompensation der Änderung in der Schleifenverstärkung A_S in dem Sigma-Delta-Modulator 14. Dies ist in Figur 2 dargestellt.

15

Figur 2 zeigt den Sigma-Delta-Modulator 14, durch den der Signalpfad 10 verläuft. Auf dem Signalpfad 10 innerhalb des Sigma-Delta-Modulators 14 sind nacheinander ein erster Integrator 44, ein zweiter Integrator 46 und ein Quantisierer 48 angeordnet. Ferner enthält der Sigma-Delta-Modulator 14 eine Modulator-Gegenkopplungsverbindung 50, die in der
20 vorliegenden Beschreibung als Teil des Signalpfades 10 betrachtet wird und auf der ein Multiplexer 52 angeordnet ist. Weiterhin zeigt Figur 2 den zweiten Analog-Digital-Wandler 32, der die Versorgungsspannung 30 empfängt und der mit dem ersten und mit dem zweiten Integrator 44 und 46 und zusätzlich mit dem Multiplexer 52 verbunden ist.

25 Mithilfe der Modulator-Gegenkopplungsverbindung 50 wird das Schaltsignal vom Ausgang des Sigma-Delta-Modulators 14 zurückgeführt und anschließend mit einem aus der Versorgungsspannung 30 abgeleiteten digitalen Signal multipliziert, welches mithilfe des zweiten Analog-Digital-Wandler 32 erzeugt wird. Die Signalmultiplikation mithilfe des Multiplexers 52 erfolgt dabei derart, dass der Multiplexer 52 mithilfe des Schaltsignals,
30 welches beispielsweise die Werte „0“ oder „1“ umfasst, geschaltet wird, und somit in Antwort auf das Schaltsignal den Wert oder den invertierten Wert des digitalen Signals bereitstellt, welches aus der Versorgungsspannung 30 abgeleitet ist. Das von dem Multiplexer 52 derart bereitgestellte Signal wird über die Modulator-Gegenkopplungsverbindung 50 zurückgeführt und mit dem Ausgangssignal des digitalen Schleifenfilters 12 kombiniert. Die

Signalmultiplikation mit dem aus der Versorgungsspannung 30 abgeleiteten Signal in der Modulator-Gegenkopplungsverbindung 50 entspricht dabei effektiv einer Signaldivision in Vorwärtsrichtung des Signalpfades 10. Die Signalrichtung auf der Modulator-Gegenkopplungsverbindung 50 entspricht der Rückwärtsrichtung des Signalpfades 10. Durch diese Division wird die zur Versorgungsspannung 30 proportionale Änderung der Schleifenverstärkung, die sich an der Schaltendstufe 16 bei einer Variation der Versorgungsspannung 30 ergibt, zumindest teilweise kompensiert. Eine aufwendige Signaldivision wird somit durch eine einfacher durchzuführende Signalmultiplikation ersetzt, die zudem aufgrund eines binären oder ternären Schaltsignals lediglich aus einem Multiplexen mithilfe des Multiplexers 52 besteht.

Um sicherzustellen, dass der Sigma-Delta-Modulator 14 stabil bleibt, werden weiterhin die Zustandsvariablen des ersten und zweiten Integrators 44 und 46 angepasst. Dies wird im Folgenden anhand von Figur 3 erläutert:

Figur 3 zeigt das Blockschaltbild eines digitalen Integrators, wie er für den ersten und zweiten Integrator 44 und 46 verwendet werden kann, die auf dem hardwareprogrammierbaren Baustein 38, insbesondere auf dem FPGA ausgeführt sind. In Figur 3 sind die Versorgungsspannung 30, die mit dem zweiten Analog-Digital-Wandler 32 verbunden ist, und der digitale Integrator dargestellt, der ein Verzögerungsglied 54, eine Integratorsättigung 56, einen Addierer 57 und eine Integratorrückführung 58 umfasst. Am Eingang des digitalen Integrators liegt ein Integrationskoeffizient 60. Die Integratorsättigung 56 wird durch einen Sättigungswert 62 bestimmt.

Der Integrator erhöht seinen Ausgangswert, der über die Integratorrückführung 58 an den Addierer 57 zurückgeführt wird, mit jedem Taktzyklus um den mit dem Integrationskoeffizienten 60 multiplizierten Integratoreingangswert. Die Integratorsättigung 56 stellt sicher, dass der Ausgangswert des Integrators den Sättigungswert 62 nicht übersteigt. Für die Stabilität des Sigma-Delta-Modulators 14 ist es notwendig, dass die Zustandsvariablen des ersten und zweiten Integrators 44 und 46, also deren Ausgangswerte, ein definiertes, von der Versorgungsspannung 30 unabhängiges Sättigungsverhalten aufweisen. Da das auf der Modulator-Gegenkopplungsverbindung 50 zurückgeführte Signal in Abhängigkeit der Versorgungsspannung 30 verändert wird, ändert sich auch der Integratoreingangswert in Abhängigkeit der Versorgungsspannung 30 und damit der Eintritt

der Sättigung in Abhängigkeit der Versorgungsspannung 30. Damit das Sättigungsverhalten des ersten und zweiten Integrators 44 und 46 auch bei einer Variation der Versorgungsspannung 30 definiert bleibt, werden die Sättigungswerte 62 des ersten und zweiten Integrators 44 und 46 entsprechend der Variation der Versorgungsspannung 30 angepasst. Somit wird die Stabilität des Sigma-Delta-Modulators 14 auch bei einer Variation der Versorgungsspannung 30 sichergestellt.

Der in Figur 1, insbesondere in Figur 2 und 3, beschriebene Verstärker stellt eine besonders vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung dar, da die Signalanpassung über eine Signalmultiplikation mit dem Schaltsignal durchgeführt wird, das eine Wortbreite von nur einem Bit aufweist, so dass der Hardwareaufwand sehr gering ist und mithilfe eines einfachen Multiplexers 52 realisiert werden kann. Weiterhin muss die Auflösung des zweiten Analog-Digital-Wandlers 32, der ein digitales Signal aus der Versorgungsspannung 30 bereitstellt, nicht besonders hoch sein, da Störungen in der Modulator-Gegenkopplung 50 an dieser Stelle durch die Gegenkopplungsverbindung 20 unterdrückt werden.

Anstelle eines FPGA kann der erfindungsgemäße Verstärker alternativ auch mithilfe eines ASIC ausgeführt werden, wobei die in der obigen Beschreibung dem FPGA zugewiesenen Schaltungsteile dann im ASIC digital realisiert würden.

Der erfindungsgemäße Verstärker ist jedoch nicht auf das oben beschriebene Ausführungsbeispiel beschränkt. Eine weitere Möglichkeit die Schleifenverstärkung A_S anzupassen besteht in einer Signalmultiplikation in der Gegenkopplungsverbindung 20. Dabei wird jedoch die Gesamtverstärkung A_G verändert, so dass zusätzlich eine entsprechende Signalanpassung im Signalpfad 10 außerhalb der Schleife 42 notwendig ist, die sich nur auf die Vorwärtsverstärkung A_V , jedoch nicht auf die Schleifenverstärkung A_S auswirkt. Somit kann mit zwei Anpassungen an verschiedenen Stellen des Verstärkers sowohl die Schleifenverstärkung A_S als auch die Gesamtverstärkung A_G bei einer Variation der an der Schaltendstufe 16 anliegenden Versorgungsspannung 30 zumindest annähernd konstant gehalten werden.

Eine andere Möglichkeit besteht in einer Signaldivision in Vorwärtsrichtung des Signalpfades 10 innerhalb der Schleife 42. Die Wortbreite des zu dividierenden Signals ist dabei jedoch vergleichsweise hoch, so dass der notwendige Hardwareaufwand im Vergleich zu dem

bevorzugten Ausführungsbeispiel hoch ist. Weiterhin ist auch eine höhere Genauigkeit des zweiten Analog-Digital-Wandlers 32 notwendig, da Fehler an dieser Stelle im Verstärker 8 direkt skaliert werden.

- 5 Obgleich in den Zeichnungen und in der vorhergehenden Beschreibung ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel aufgezeigt und detailliert beschrieben wurde, sollte dies als rein beispielhaft und die Erfindung nicht einschränkend angesehen werden. Es wird darauf hingewiesen dass nur das bevorzugte Ausführungsbeispiel detailliert dargestellt und beschrieben wurde und Änderungen und Modifizierungen, die derzeit und künftig im
- 10 Schutzzumfang der Erfindung liegen, geschützt werden sollen. Die gezeigten Merkmale können in beliebigen Kombinationen von Bedeutung sein.

BEZUGSZEICHENLISTE

	8	Verstärker
	10	Signalpfad
5	12	Digitales Schleifenfilter
	14	Digitaler Sigma-Delta-Modulator
	16	Schaltendstufe
	18	Filter
	20	Gegenkopplungsverbindung
10	22	Analoges Schleifenfilter
	24	Erster Analog-Digital-Wandler
	25	Digitales Filter
	26	Digital-Analog-Gegenkopplungsverbindung
	28	Digital-Analog-Wandler
15	30	Variable Versorgungsspannung
	32	Zweiter Analog-Digital-Wandler
	34	Digitaler Eingang
	36	Ausgangssignal
	38	Hardwareprogrammierbarer Baustein
20	40	Taktquelle
	42	Schleife
	44	Erster Integrator
	46	Zweiter Integrator
	48	Quantisierer
25	50	Modulator-Gegenkopplungsverbindung
	52	Multiplexer
	54	Verzögerungsglied
	56	Integratorsättigung
	57	Addierer
30	58	Integratorrückführung
	60	Integrationskoeffizient
	62	Sättigungswert

Ansprüche

1. Verstärker (8) zur Verstärkung eines Eingangssignals zu einem Ausgangssignal (36), der einen Signalpfad (10) und eine Gegenkopplungsverbindung (20) umfasst,

wobei der Signalpfad (10)

- Modulationsmittel (14) umfasst, die geeignet sind, das Eingangssignal zu empfangen und in Antwort auf das empfangene Eingangssignal ein Schaltsignal zu erzeugen, und
- eine Schaltendstufe (16) umfasst, die mit einer Versorgungsspannung (30) verbunden ist, wobei die Schaltendstufe (16) Schaltmittel umfasst, die entsprechend dem von den Modulationsmitteln (14) erzeugten Schaltsignal geschaltet werden, und die Schaltendstufe (16) ein Ausgangssignal (36) erzeugt, dessen Amplitude von der Versorgungsspannung (30) abhängt,

und wobei die Gegenkopplungsverbindung (20) geeignet ist, das Ausgangssignal (36) der Schaltendstufe (16) zurückzuführen, um mit dem Eingangssignal kombiniert zu werden,

wobei der Signalpfad (10) und die Gegenkopplungsverbindung (20) eine Schleife (42) mit einer Schleifenverstärkung bilden,

dadurch gekennzeichnet, dass

der Verstärker Kompensationsmittel (52) umfasst, welche die Versorgungsspannung (30) der Schaltendstufe (16) oder ein aus dieser abgeleitetes Signal empfangen, und die geeignet sind, Änderungen in der Schleifenverstärkung, die sich aufgrund einer Variation der Versorgungsspannung (30) ergeben, zumindest teilweise zu kompensieren.

2. Verstärker (8) nach Anspruch 1, der weiterhin Mittel zum Variieren der Versorgungsspannung (30) in Abhängigkeit von dem Eingangssignal umfasst.
3. Verstärker (8) nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die Kompensationsmittel (52) geeignet sind, das Signal in dem Signalpfadabschnitt der Schleife (42) in Abhängigkeit der Versorgungsspannung (30) in einer Weise zu verstärken bzw. zu verringern, die einer Änderung der Schleifenverstärkung aufgrund der Variation der Versorgungsspannung (30) entgegenwirkt.
4. Verstärker (8) nach Anspruch 3, der zusätzlich eine Modulator-Gegenkopplungsverbindung (50) umfasst, die geeignet ist, das Schaltsignal an einen Eingang der Modulationsmittel (14) zurückzuführen, um mit dem Signal am Eingang der Modulationsmittel (14) kombiniert zu werden, und
bei dem die Kompensationsmittel (52) geeignet sind, das Signal auf der Modulator-Gegenkopplungsverbindung (50) in Abhängigkeit der Versorgungsspannung (30) in einer Weise zu verstärken bzw. zu verringern, die einer Änderung der Schleifenverstärkung aufgrund der Variation der Versorgungsspannung (30) entgegenwirkt.
5. Verstärker (8) nach Anspruch 4, bei dem die Kompensationsmittel (52) geeignet sind, die Versorgungsspannung (30) der Schaltendstufe (16) oder ein aus dieser abgeleitetes Signal mit dem Signal auf der Modulator-Gegenkopplungsverbindung (50) zu multiplizieren.
6. Verstärker (8) nach Anspruch 5, bei dem die Kompensationsmittel (52) einen Multiplexer (52) umfassen und bei dem die Versorgungsspannung (30) der Schaltendstufe (16) oder ein aus dieser abgeleitetes Signal derart durch den Multiplexer (52) mit dem Schaltsignal multipliziert wird, dass ein Signal gebildet wird, das zumindest annähernd den Wert oder den invertierten Wert der Versorgungsspannung (30) oder zumindest annähernd den Wert oder den invertierten Wert eines Signals besitzt, das aus der Versorgungsspannung (30) abgeleitet ist.

7. Verstärker (8) nach Anspruch 6, bei dem die Modulationsmittel (14) einen Sigma-Delta-Modulator (14) umfassen, wobei der Sigma-Delta-Modulator (14) vorzugsweise ein Schleifenfilter (44, 46) mit zwei oder mehr Integratoren umfasst.
8. Verstärker (8) nach Anspruch 7, bei dem das Schleifenfilter (44, 46) Zustände annehmen kann, die durch mindestens eine Zustandsvariable beeinflusst werden, für die das Schleifenfilter (44, 46) einen Begrenzungswert (62) aufweist, wobei die Kompensationsmittel geeignet sind, den Begrenzungswert (62) in Antwort auf die Variation der Versorgungsspannung (30) entsprechend anzupassen.
9. Verstärker (8) nach Anspruch 7 oder 8, bei dem der Sigma-Delta-Modulator (14) auf einem hardwareprogrammierbaren Baustein (38), insbesondere auf einem FPGA ausgeführt ist.
10. Verstärker (8) nach Anspruch 9, der zusätzlich ein digitales Schleifenfilter (12) umfasst, das im Signalpfad (10) vor dem Sigma-Delta-Modulator (14) angeordnet ist und das geeignet ist, das Eingangssignal zu empfangen und zu verstärken, nachdem dieses mit dem durch die Gegenkopplungsverbindung (20) zurückgeführten Ausgangssignal (36) kombiniert wurde, wobei das digitale Schleifenfilter (12) auf dem hardwareprogrammierbaren Baustein (38), insbesondere auf dem FPGA ausgeführt ist.
11. Verstärker (8) nach Anspruch 9 oder 10, der in der Gegenkopplungsverbindung weiterhin folgendes umfasst:
 - ein analoges Schleifenfilter (22), und
 - einen ersten Analog-Digital-Wandler (24), insbesondere einen Analog-Digital-Wandler zweiter Ordnung, dessen Eingang mit dem Ausgang des analogen Schleifenfilters (22) verbunden ist.
12. Verstärker (8) nach Anspruch 11, der weiterhin folgendes umfasst:
 - eine Digital-Analog-Gegenkopplungsverbindung (26), die geeignet ist, das Ausgangssignal des ersten Analog-Digital-Wandlers (24) zurückzuführen, um

mit dem zurückgeführten Ausgangssignal (36) der Schaltendstufe (16) kombiniert zu werden, und

- einen Digital-Analog-Wandler (28), der geeignet ist, das zurückgeführte Ausgangssignal des ersten Analog-Digital-Wandlers (24) in ein analoges Signal umzuwandeln.
13. Verstärker (8) nach Anspruch 12, der weiterhin ein digitales Filter (25) umfasst, dessen Eingang mit dem Ausgang des ersten Analog-Digital-Wandlers (24) verbunden ist, wobei die Digital-Analog-Gegenkopplungsverbindung (26) geeignet ist, das Ausgangssignal des digitalen Filters (25) zurückzuführen, um mit dem zurückgeführten Ausgangssignal (36) der Schaltendstufe (16) kombiniert zu werden.
 14. Verstärker (8) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, der weiterhin ein Filter (18) umfasst, dessen Eingang mit dem Ausgang der Schaltendstufe (16) verbunden ist, wobei die Gegenkopplungsverbindung (20) geeignet ist, das Ausgangssignal (36) der Schaltendstufe (16) vor oder nach dem Filter (18) zurückzuführen.
 15. Verstärker (8) nach einem der Ansprüche 9 bis 14, der zusätzlich einen zweiten Analog-Digital-Wandler (32) umfasst, der geeignet ist, die Versorgungsspannung (30) in ein digitales Signal umzuwandeln und dieses an die Kompensationsmittel (52) weiterzuleiten.
 16. Verstärker (8) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, der für den Betrieb mit einer Versorgungsspannung (30) eingerichtet ist, die extern angeschlossen wird.
 17. Verstärker (8) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Schaltendstufe (16) durch eine H-Brücke gebildet wird und/oder die Schaltmittel durch Power MOSFET-Transistoren gebildet werden.
 18. Verstärker (8) nach einem der Ansprüche 11 bis 17, der zusätzlich eine Taktquelle (40) zur digitalen Signalverarbeitung und/oder zur digitalen Signalerzeugung umfasst, wobei der erste Analog-Digital-Wandler (24) für den Betrieb mit einer Abtastfrequenz

eingerrichtet ist, die ≥ 100 kHz, vorzugsweise ≥ 1 MHz, besonders vorzugsweise ≥ 10 MHz ist.

19. Verstärker nach Anspruch 1 oder 2, bei dem das Eingangssignal mit einer Gesamtverstärkung zu dem Ausgangssignal (36) verstärkt wird und bei dem
 - die Kompensationsmittel geeignet sind, das Signal auf der Gegenkopplungsverbindung (20) in Abhängigkeit der Versorgungsspannung (30) in einer Weise zu verstärken bzw. zu verringern, die einer Änderung der Schleifenverstärkung aufgrund der Variation der Versorgungsspannung (30) entgegenwirkt,
 - und geeignet sind, Änderungen in der Gesamtverstärkung des Verstärkers, die sich aus der Verstärkung bzw. Verringerung des Signals auf der Gegenkopplungsverbindung (20) ergeben, durch geeignete Verstärkung bzw. Verringerung des Signals in einem Abschnitt außerhalb der genannten Schleife (42) zu kompensieren.
20. Verstärker nach einem der Ansprüche 1, 2 oder 19, bei dem die Kompensationsmittel geeignet sind, die Versorgungsspannung (30) der Schaltendstufe (16) oder ein aus dieser abgeleitetes Signal mit dem Signal auf der Gegenkopplungsverbindung (20) zu multiplizieren.
21. Verstärker nach Anspruch 3, bei dem die Kompensationsmittel geeignet sind, das Signal auf dem Signalpfad (10) mit der Versorgungsspannung (30) der Schaltendstufe (16) oder mit einem aus diesem abgeleiteten Signal zu dividieren.
22. Verfahren zur Verstärkung eines Eingangssignals zu einem Ausgangssignal (36) mithilfe eines Verstärkers (8), der einen Signalpfad (10) und eine Gegenkopplungsverbindung (20) umfasst, die eine Schleife (42) mit einer Schleifenverstärkung bilden, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:
 - Empfangen des Eingangssignals,

- Erzeugen eines Schaltsignals mithilfe von Modulationsmitteln (14),
- Erzeugen eines Ausgangssignals (36) mithilfe einer Schaltendstufe (16), die mit einer Versorgungsspannung (30) verbunden ist, wobei die Schaltendstufe (16) Schaltmittel enthält, die entsprechend dem von den Modulationsmitteln (14) erzeugten Schaltsignal geschaltet werden, wobei die Amplitude des Ausgangssignals (36) von der Versorgungsspannung (30) abhängt,
- Zurückführen des Ausgangssignals (36) der Schaltendstufe (16) mithilfe der Gegenkopplungsverbindung (20),
- Kombinieren des zurückgeführten Ausgangssignals (36) mit dem Eingangssignal,

dadurch gekennzeichnet, dass

das Verfahren folgende Schritte umfasst:

- zumindest teilweises Kompensieren von Änderungen in der Schleifenverstärkung, die sich aufgrund einer Variation der Versorgungsspannung (30) ergeben, unter Verwendung von Kompensationsmitteln (52), wobei die Kompensationsmittel (52) die Versorgungsspannung (30) der Schaltendstufe (16) oder ein aus dieser abgeleitetes Signal empfangen.

23. Verfahren nach Anspruch 21, das einen Verstärker (8) nach einem der Ansprüche 1 bis 21 verwendet.

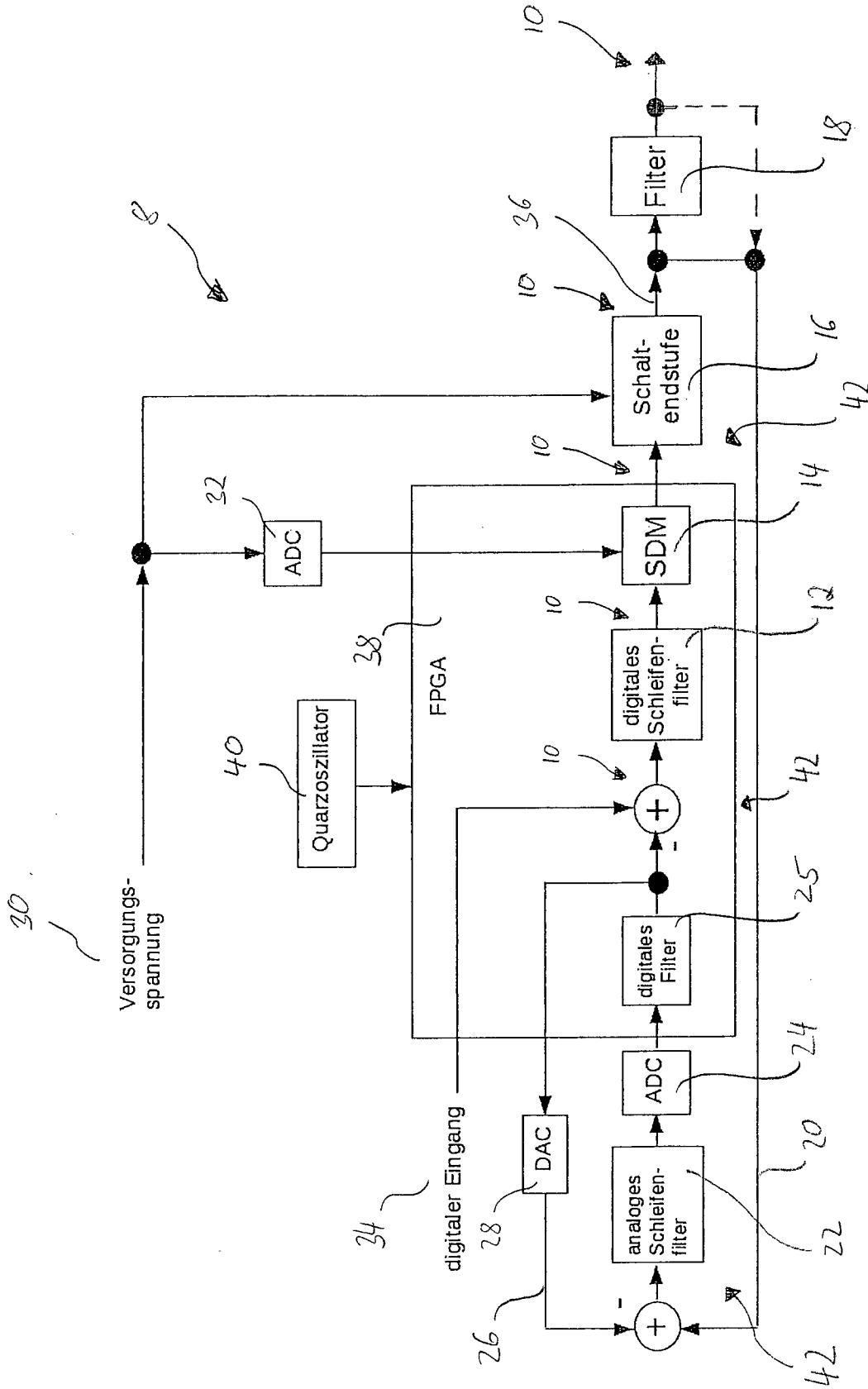


Fig. 1

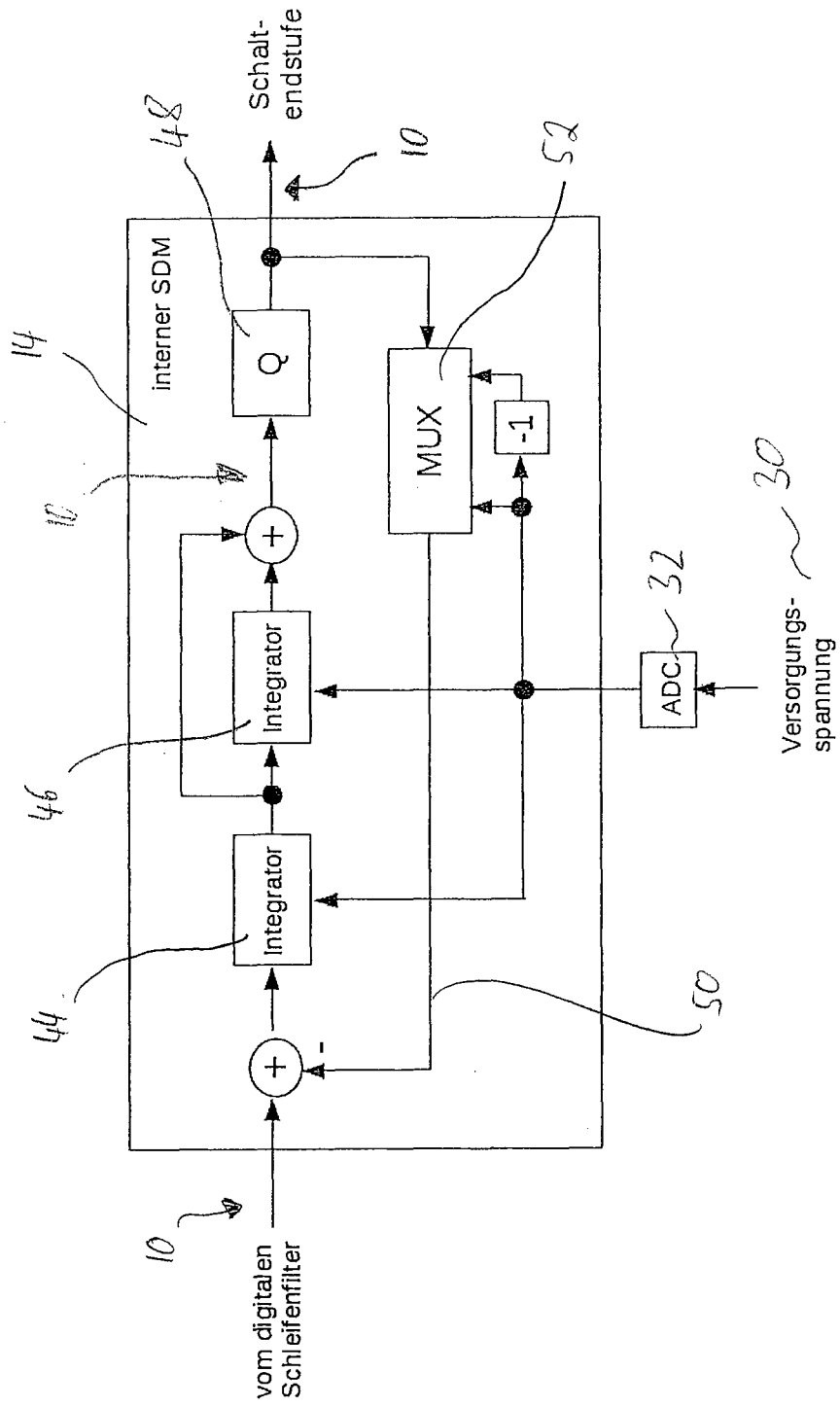


Fig. 2

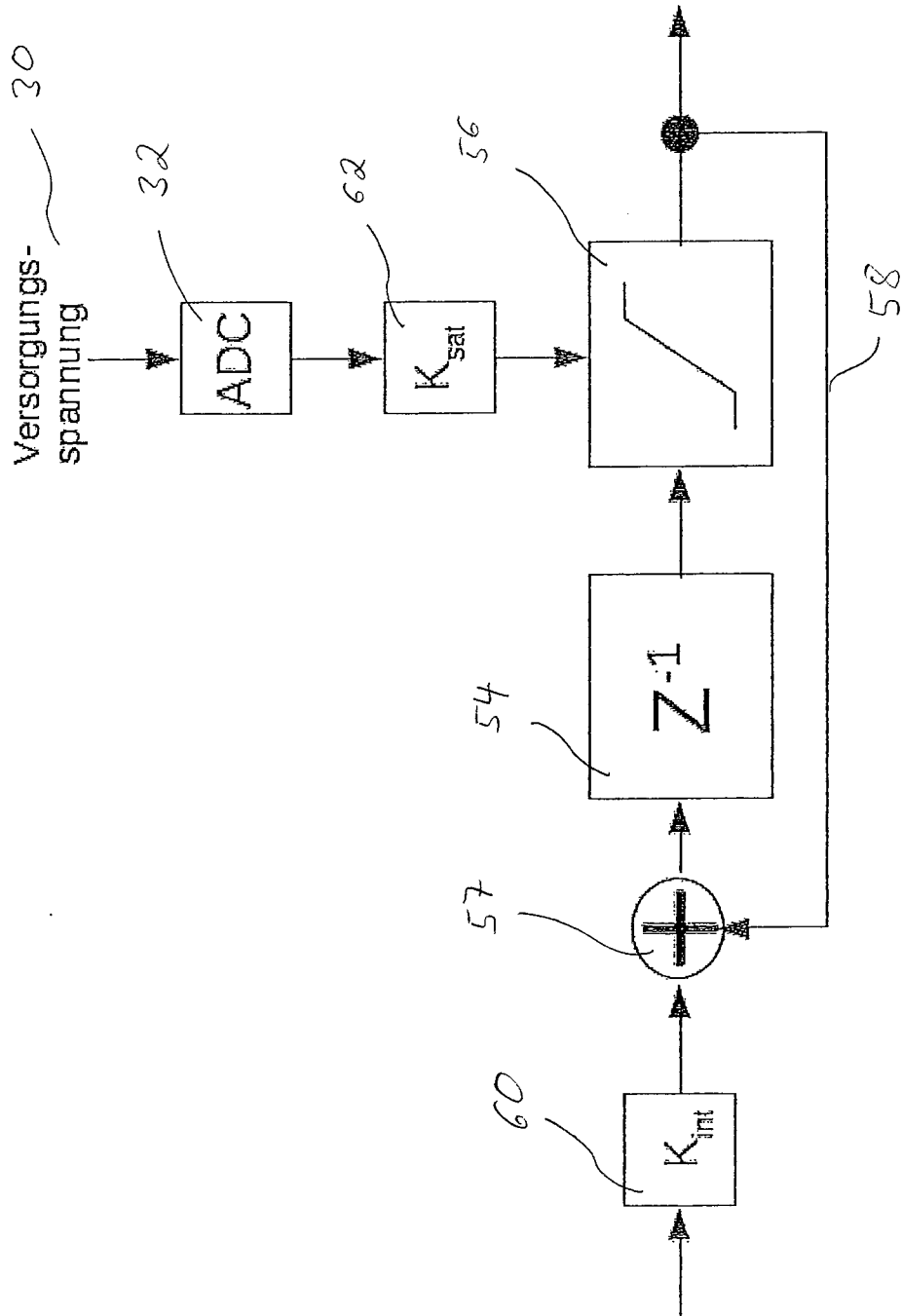


Fig. 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2013/001323

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H03F3/217 H03F1/30
ADD.
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H03F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 0 503 571 A1 (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD [JP]) 16 September 1992 (1992-09-16) abstract page 2, line 33 - line 55; figure 14 -----	1,3,4, 14,16, 17,22,23
X	US 2007/152750 A1 (ANDERSEN JACK B [US] ET AL) 5 July 2007 (2007-07-05) paragraph [0208] - paragraph [0210]; figure 34 -----	1,3,16, 17,22,23
X	US 2005/200404 A1 (BERNARDON DEREK [AT]) 15 September 2005 (2005-09-15) the whole document -----	1,3,16, 17,22,23
	-/--	

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 16 September 2013	Date of mailing of the international search report 24/09/2013
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Kurzbauer, Werner

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2013/001323

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 00/42702 A1 (UNIV EINDHOVEN TECH [NL]; VELTMAN ANDRE [NL]; DOMENSINO HENDRIKUS JOHA) 20 July 2000 (2000-07-20) page 15, line 33 - page 16, line 6; figure 10	1,3,16, 17,22,23
X	----- EP 0 184 280 A1 (BOSE CORP [US]) 11 June 1986 (1986-06-11) page 23, line 22 - line 32; figures 4,19	1,3,16, 17,22,23
X	----- US 2009/027117 A1 (ANDERSEN JACK B [US] ET AL) 29 January 2009 (2009-01-29) paragraph [0212] - paragraph [0214]; figure 34	1,3,16, 17,22,23
A	----- WO 2004/023631 A2 (CIRRUS LOGIC INC [US]) 18 March 2004 (2004-03-18) the whole document	1-23
A	----- US 6 741 123 B1 (ANDERSEN JACK [US] ET AL) 25 May 2004 (2004-05-25) the whole document	1-23
A	----- WO 2004/023645 A2 (CIRRUS LOGIC INC [US]) 18 March 2004 (2004-03-18) the whole document	1-23
A	----- US 2009/091382 A1 (DETERMAN MICHAEL [US]) 9 April 2009 (2009-04-09) the whole document	1-23

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2013/001323

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0503571	A1	16-09-1992	DE 69229973 D1 21-10-1999
			DE 69229973 T2 27-04-2000
			EP 0503571 A1 16-09-1992
			JP H04281606 A 07-10-1992
			US 5262733 A 16-11-1993
US 2007152750	A1	05-07-2007	AT 548796 T 15-03-2012
			CN 101390287 A 18-03-2009
			EP 1972055 A2 24-09-2008
			JP 5139321 B2 06-02-2013
			JP 2009522881 A 11-06-2009
			US 2007152750 A1 05-07-2007
			WO 2007079396 A2 12-07-2007
US 2005200404	A1	15-09-2005	CN 1666411 A 07-09-2005
			DE 10231183 A1 29-01-2004
			EP 1520341 A1 06-04-2005
			US 2005200404 A1 15-09-2005
			WO 2004008632 A1 22-01-2004
WO 0042702	A1	20-07-2000	AT 264020 T 15-04-2004
			AU 754082 B2 07-11-2002
			AU 2130000 A 01-08-2000
			CA 2360345 A1 20-07-2000
			CN 1337089 A 20-02-2002
			DE 60009656 D1 13-05-2004
			DE 60009656 T2 12-08-2004
			DK 1142106 T3 21-06-2004
			EP 1142106 A1 10-10-2001
			ES 2216854 T3 01-11-2004
			HK 1041569 A1 15-04-2005
			ID 30217 A 15-11-2001
			JP 4322428 B2 02-09-2009
			JP 2002535863 A 22-10-2002
			MX PA01006295 A 17-04-2002
			NL 1011002 C2 20-07-2000
			NO 20012866 A 28-08-2001
			NZ 512718 A 31-01-2003
			PT 1142106 E 31-08-2004
			TR 200102000 T2 21-12-2001
			TW 504896 B 01-10-2002
			US 6552606 B1 22-04-2003
			WO 0042702 A1 20-07-2000
EP 0184280	A1	11-06-1986	DE 3572098 D1 07-09-1989
			EP 0184280 A1 11-06-1986
			JP 2739904 B2 15-04-1998
			JP S61109307 A 27-05-1986
			US 5345165 A 06-09-1994
US 2009027117	A1	29-01-2009	NONE
WO 2004023631	A2	18-03-2004	AU 2003297875 A1 29-03-2004
			EP 1543612 A2 22-06-2005
			JP 2005538611 A 15-12-2005
			US 6765436 B1 20-07-2004
			US 2004222846 A1 11-11-2004
			WO 2004023631 A2 18-03-2004

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2013/001323

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
<hr/>			
US 6741123	B1	25-05-2004	AT 332588 T 15-07-2006
			AU 2003296449 A1 29-07-2004
			DE 60306685 T2 28-06-2007
			DK 1579570 T3 30-10-2006
			EP 1579570 A2 28-09-2005
			JP 4157098 B2 24-09-2008
			JP 2006512851 A 13-04-2006
			US 6741123 B1 25-05-2004
			US 2004228416 A1 18-11-2004
			WO 2004062089 A2 22-07-2004
<hr/>			
WO 2004023645	A2	18-03-2004	AU 2003263075 A1 29-03-2004
			EP 1576725 A2 21-09-2005
			JP 2006517353 A 20-07-2006
			US 7840015 B1 23-11-2010
			US 2011075723 A1 31-03-2011
			WO 2004023645 A2 18-03-2004
<hr/>			
US 2009091382	A1	09-04-2009	NONE
<hr/>			

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. H03F3/217 H03F1/30
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 H03F

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 0 503 571 A1 (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD [JP]) 16. September 1992 (1992-09-16) Zusammenfassung Seite 2, Zeile 33 - Zeile 55; Abbildung 14 -----	1,3,4, 14,16, 17,22,23
X	US 2007/152750 A1 (ANDERSEN JACK B [US] ET AL) 5. Juli 2007 (2007-07-05) Absatz [0208] - Absatz [0210]; Abbildung 34 -----	1,3,16, 17,22,23
X	US 2005/200404 A1 (BERNARDON DEREK [AT]) 15. September 2005 (2005-09-15) das ganze Dokument -----	1,3,16, 17,22,23
	-/--	



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

16. September 2013

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

24/09/2013

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Kurzbauer, Werner

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 00/42702 A1 (UNIV EINDHOVEN TECH [NL]; VELTMAN ANDRE [NL]; DOMENSINO HENDRIKUS JOHA) 20. Juli 2000 (2000-07-20) Seite 15, Zeile 33 - Seite 16, Zeile 6; Abbildung 10 -----	1,3,16, 17,22,23
X	EP 0 184 280 A1 (BOSE CORP [US]) 11. Juni 1986 (1986-06-11) Seite 23, Zeile 22 - Zeile 32; Abbildungen 4,19 -----	1,3,16, 17,22,23
X	US 2009/027117 A1 (ANDERSEN JACK B [US] ET AL) 29. Januar 2009 (2009-01-29) Absatz [0212] - Absatz [0214]; Abbildung 34 -----	1,3,16, 17,22,23
A	WO 2004/023631 A2 (CIRRUS LOGIC INC [US]) 18. März 2004 (2004-03-18) das ganze Dokument -----	1-23
A	US 6 741 123 B1 (ANDERSEN JACK [US] ET AL) 25. Mai 2004 (2004-05-25) das ganze Dokument -----	1-23
A	WO 2004/023645 A2 (CIRRUS LOGIC INC [US]) 18. März 2004 (2004-03-18) das ganze Dokument -----	1-23
A	US 2009/091382 A1 (DETERMAN MICHAEL [US]) 9. April 2009 (2009-04-09) das ganze Dokument -----	1-23

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2013/001323

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0503571	A1	16-09-1992	DE 69229973 D1 21-10-1999
			DE 69229973 T2 27-04-2000
			EP 0503571 A1 16-09-1992
			JP H04281606 A 07-10-1992
			US 5262733 A 16-11-1993

US 2007152750	A1	05-07-2007	AT 548796 T 15-03-2012
			CN 101390287 A 18-03-2009
			EP 1972055 A2 24-09-2008
			JP 5139321 B2 06-02-2013
			JP 2009522881 A 11-06-2009
			US 2007152750 A1 05-07-2007
WO 2007079396 A2 12-07-2007			

US 2005200404	A1	15-09-2005	CN 1666411 A 07-09-2005
			DE 10231183 A1 29-01-2004
			EP 1520341 A1 06-04-2005
			US 2005200404 A1 15-09-2005
WO 2004008632 A1 22-01-2004			

WO 0042702	A1	20-07-2000	AT 264020 T 15-04-2004
			AU 754082 B2 07-11-2002
			AU 2130000 A 01-08-2000
			CA 2360345 A1 20-07-2000
			CN 1337089 A 20-02-2002
			DE 60009656 D1 13-05-2004
			DE 60009656 T2 12-08-2004
			DK 1142106 T3 21-06-2004
			EP 1142106 A1 10-10-2001
			ES 2216854 T3 01-11-2004
			HK 1041569 A1 15-04-2005
			ID 30217 A 15-11-2001
			JP 4322428 B2 02-09-2009
			JP 2002535863 A 22-10-2002
			MX PA01006295 A 17-04-2002
			NL 1011002 C2 20-07-2000
			NO 20012866 A 28-08-2001
			NZ 512718 A 31-01-2003
			PT 1142106 E 31-08-2004
			TR 200102000 T2 21-12-2001
TW 504896 B 01-10-2002			
US 6552606 B1 22-04-2003			
WO 0042702 A1 20-07-2000			

EP 0184280	A1	11-06-1986	DE 3572098 D1 07-09-1989
			EP 0184280 A1 11-06-1986
			JP 2739904 B2 15-04-1998
			JP S61109307 A 27-05-1986
US 5345165 A 06-09-1994			

US 2009027117	A1	29-01-2009	KEINE

WO 2004023631	A2	18-03-2004	AU 2003297875 A1 29-03-2004
			EP 1543612 A2 22-06-2005
			JP 2005538611 A 15-12-2005
			US 6765436 B1 20-07-2004
			US 2004222846 A1 11-11-2004
WO 2004023631 A2 18-03-2004			

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2013/001323

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung

US 6741123	B1	25-05-2004	AT 332588 T 15-07-2006
			AU 2003296449 A1 29-07-2004
			DE 60306685 T2 28-06-2007
			DK 1579570 T3 30-10-2006
			EP 1579570 A2 28-09-2005
			JP 4157098 B2 24-09-2008
			JP 2006512851 A 13-04-2006
			US 6741123 B1 25-05-2004
			US 2004228416 A1 18-11-2004
			WO 2004062089 A2 22-07-2004

WO 2004023645	A2	18-03-2004	AU 2003263075 A1 29-03-2004
			EP 1576725 A2 21-09-2005
			JP 2006517353 A 20-07-2006
			US 7840015 B1 23-11-2010
			US 2011075723 A1 31-03-2011
			WO 2004023645 A2 18-03-2004

US 2009091382	A1	09-04-2009	KEINE
