



(10) **DE 10 2013 202 136 B4** 2024.02.22

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2013 202 136.4**  
(22) Anmeldetag: **08.02.2013**  
(43) Offenlegungstag: **19.09.2013**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **22.02.2024**

(51) Int Cl.: **H04R 3/00** (2006.01)  
**H04R 19/04** (2006.01)  
**H03M 1/00** (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:  
**13/370,920**                      **10.02.2012**      **US**

(73) Patentinhaber:  
**Infineon Technologies AG, 85579 Neubiberg, DE**

(74) Vertreter:  
**Schoppe, Zimmermann, Stöckeler, Zinkler,  
Schenk & Partner mbB Patentanwälte, 81373  
München, DE**

(72) Erfinder:  
**Hammerschmidt, Dirk, Villach, AT; Kropfisch,  
Michael, Koettmannsdorf, AT; Wiesbauer,  
Andreas, Poertschach, AT**

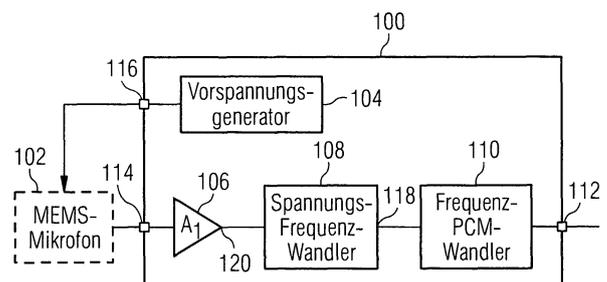
(56) Ermittelter Stand der Technik:

<b>US</b>	<b>6 809 676</b>	<b>B1</b>
<b>US</b>	<b>2007 / 0 127 761</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>2008 / 0 180 299</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>2008 / 0 212 791</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>6 087 968</b>	<b>A</b>

**Soell, S. and Porr, B.; A VCO based digital  
Microphone utilizing a FIR Sigma Delta  
Converter. In: Proceedings of the international  
Conference mixed Design of integrated Circuits  
and Systems (MIXDES), pp. 223-227, June 2006.**

(54) Bezeichnung: **System und Verfahren für eine PCM-Schnittstelle für eine kapazitive Signalquelle**

(57) Hauptanspruch: Verfahren, aufweisend:  
Verstärken eines Signals, das durch ein Mikrofon bereitgestellt wird, um ein verstärktes Signal zu erzeugen;  
Umwandeln des verstärkten Signals in ein frequenzbasiertes Signal mit einer Frequenz, die von einer Amplitude des verstärkten Signals abhängt; und  
Umwandeln des frequenzbasierten Signals in einen pulscodemodulierten (PCM) Bitstrom,  
wobei das Umwandeln des frequenzbasierten Signals in den pulscodemodulierten (PCM) Bitstrom ein Einkoppeln des frequenzbasierten Signals in einen Eingang eines Sigma-Delta-Wandlers aufweist.



**Beschreibung**

## TECHNISCHES GEBIET

**[0001]** Die Erfindung betrifft im Allgemeinen Halbleiterschaltungen und -verfahren und insbesondere eine Pulsmodulations (PCM)-Schnittstelle für eine kapazitive Signalquelle.

## HINTERGRUND

**[0002]** Audiomikrofone werden in einer Vielzahl von Verbraucheranwendungen, wie beispielsweise Zellulartelefonen, digitalen Audiorekordern, Personalcomputern und Telekonferenzsystemen, allgemein verwendet. Insbesondere werden kostengünstige Elektret-Kondensatormikrofone (ECM) in massenproduzierten, kostensensitiven Anwendungen verwendet. Ein ECM-Mikrofon weist typischerweise einen Film aus Elektretmaterial auf, der in einem kleinen Gehäuse angebracht ist, das eine Schallöffnung und elektrische Ausgangsanschlüsse aufweist. Das Elektretmaterial wird an eine Membran geheftet oder bildet selbst die Membran. Die meisten ECM-Mikrofone weisen außerdem einen Vorverstärker auf, der über eine Schnittstelle mit einem einseitigen Audioverstärker innerhalb einer Zielanwendung, wie beispielsweise einem Zellulartelefon, verbunden sein kann. Ein anderer Mikrontyp ist ein MEMS (mikroelektromechanische Systeme)-Mikrofon, das implementiert werden kann, indem eine druckempfindliche Membran direkt auf eine integrierte Schaltung geätzt wird.

**[0003]** Bei Anwendungen, bei welchen MEMS-Mikrofone in Gehäusen mit kleinem Formfaktor implementiert sind, wie beispielsweise Smartphones oder Tabletcomputern, wird eine Audioschnittstelle verwendet, die eine Mindestanzahl von Anschlussstiften verwendet. Eine solche Schnittstelle ist eine pulscodemodierte (PCM) Schnittstelle, die ein PCM-Signal mit einer Pulsweite oder Pulsdichte proportional zu dem durch das MEMS-Mikrofon erfassten Audiosignal erzeugt. Es ist außerdem der Fall, dass Anwendungen mit kleinem Formfaktor häufig batteriebetriebene Geräte mit niedriger Leistung sind, die für Leistungsverbrauch anfällig sind. Zum Aufrechterhalten einer langen Batterielebensdauer wird der Leistungsverbrauch des MEMS-Mikrofons und seiner Audioschnittstelle auf der Leiterplatte minimiert, um Batterielebensdauer zu erhalten.

**[0004]** Bei Soell, S. u.a., „A VCO based digital Microphone utilizing a FIR Sigma Delta Converter“, in: Proceedings of the international Conference mixed Design of integrated Circuits and Systems (MIXDES), Seiten 223-227, Juni 2006, ist ein Sigma-Delta-Modulator im Zusammenhang mit einem vorverstärkten Ausgangssignal eines Kondensator-Mikrofons beschrieben. Der Sigma-Delta-Modulator ist

durch einen VCO und ein mit dem Ausgang des VCO gekoppeltes D-Flip-Flop implementiert.

**[0005]** Die US 6 087 968 A offenbart einen Analog/Digital-Wandler, bei dem ein Bitstrom am Ausgang des Wandlers in ein PCM-Format umgewandelt wird.

**[0006]** US 2007/0 127 761 A1 offenbart einen Analog/Digital-Wandler für ein Mikrofon, der einen Mehrpegel-Quantisierer aufweist, der mit dem Mikrofon gekoppelt ist, um das Ausgangssignal des Mikrofons in Mehrbit-Abtastwerte umzuwandeln, und einen Wandler, der die Mehrbit-Abtastwerte in ein unformatiertes Einbit-Ausgangssignal umwandelt.

**[0007]** Die US 6 809 676 B1 offenbart einen Analog/Digital-Wandler, bei dem das Ausgangssignal eines VCO einem digitalen Signalprozessor zugeführt wird.

**[0008]** Die US 2008/0212791 A1 offenbart eine Signalverarbeitungsvorrichtung, bei dem aus einem digitalen Signal in einer ersten Form, das einer Sigma-Delta-Modulation unterworfen ist, ein digitales Signal einer zweiten Form, das einer PCM-Modulation unterworfen ist, erzeugt wird.

**[0009]** Die US 2008/0180299 A1 offenbart einen Analog/Digital-Wandler, bei dem auf einem Eingangssignal ein pulswidenmoduliertes Signal erzeugt wird, aus dem dann ein digitales Signal erzeugt wird.

## KURZDARSTELLUNG DER ERFINDUNG

**[0010]** Gemäß einer Ausführungsform weist ein Verfahren ein Verstärken eines Signals auf, das durch ein Mikrofon bereitgestellt wird, um ein verstärktes Signal zu erzeugen. Das Verfahren weist außerdem ein Umwandeln des verstärkten Signals in ein frequenzbasiertes Signal mit einer Frequenz auf, die von einer Amplitude des verstärkten Signals abhängt. Das frequenzbasierte Signal wird durch Einkoppeln in einen Eingang eines Sigma-Delta-Wandlers in einen pulscodemodulierten Bitstrom umgewandelt.

**[0011]** Die Einzelheiten einer oder mehrerer Ausführungsformen der Erfindung sind in den beiliegenden Zeichnungen und der folgenden Beschreibung dargestellt. Andere Merkmale, Aufgaben und Vorteile der Erfindung sind aus der Beschreibung und den Zeichnungen sowie aus den Ansprüchen ersichtlich.

## KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0012]** Für ein besseres Verständnis der vorliegenden Erfindung und ihrer Vorteile wird nun auf die folgenden Beschreibungen in Verbindung mit den beiliegenden Zeichnungen Bezug genommen, wobei:

**Fig. 1a** und **1b** ein Mikrofonschnittstellensystem gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulichen;

**Fig. 2a** bis **2d** spannungsgesteuerte Oszillatoren zur Verwendung in einem Mikrofonschnittstellensystem von Ausführungsformen veranschaulichen;

**Fig. 3a** bis **3d** Frequenz-PCM-Wandler zur Verwendung in einem Mikrofonschnittstellensystem von Ausführungsformen veranschaulichen;

**Fig. 4a** und **4b** ein Mikrofonschnittstellensystem gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulichen;

**Fig. 5a** bis **5c** Spannungs-Zeit-Wandler zur Verwendung in Systemen von Ausführungsformen veranschaulichen;

**Fig. 6a** und **6b** Zeit-PCM-Wandler zur Verwendung in Systemen von Ausführungsformen veranschaulichen; und

**Fig. 7** ein Mikrofonmodul einer Ausführungsform veranschaulicht.

#### AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG VON BEISPIELHAFTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

**[0013]** Die Herstellung und Verwendung der gegenwärtig bevorzugten Ausführungsformen wird im Folgenden ausführlich erörtert. Es versteht sich jedoch von selbst, dass die vorliegende Erfindung viele anwendbare erfinderische Konzepte bereitstellt, die in einer großen Vielfalt von spezifischen Kontexten realisiert werden können. Die erörterten spezifischen Ausführungsformen dienen lediglich zur Veranschaulichung von spezifischen Arten und Weisen der Herstellung und Verwendung der Erfindung und schränken den Schutzbereich der Erfindung nicht ein.

**[0014]** Die vorliegende Erfindung wird in Bezug auf Ausführungsformen in einem spezifischen Kontext, nämlich einem Schnittstellensystem und -verfahren für eine kapazitive Signalquelle, wie beispielsweise ein MEMS- oder ein Elektret-Kondensatormikrofon (ECM), beschrieben. Die Erfindung kann jedoch auch auf andere Schaltungs- und Systemtypen, wie beispielsweise Audiosysteme, Kommunikationssysteme, Sensorsysteme und andere Systeme, die über Schnittstellen mit hochohmigen Signalquellen verbunden sind, angewendet werden.

**[0015]** **Fig. 1a** veranschaulicht eine integrierte Schaltung (IC) 100 einer Ausführungsform, die zum Koppeln mit einem MEMS-Mikrofon 102 konfiguriert ist, das in gestrichelten Linien dargestellt ist, um anzuzeigen, dass das Mikrofon 102 nicht unbedingt auf der IC 100 enthalten ist. In einigen Ausführungsformen kann das Mikrofon 102 jedoch auch auf der

IC 100 enthalten sein. In alternativen Ausführungsformen können andere Mikrofontypen, wie beispielsweise ECM-Mikrofone, oder andere Typen von kapazitiven Sensorschaltungen anstelle des MEMS-Mikrofons 102 verwendet werden.

**[0016]** Die IC 100 weist einen Verstärker 106, einen Spannungs-Frequenz-Wandler 108 und einen Frequenz-PCM-Wandler 110 auf. Der Verstärker 106 weist eine oder mehr Stufen auf, die den Ausgang des MEMS-Mikrofons 102 verstärken, das über eine Eingangskontaktstelle 114 mit der IC 100 gekoppelt ist. In einigen Ausführungsformen kann der Verstärker 106 zum Beispiel so implementiert sein, wie in der ebenfalls anhängigen Anmeldung Nummer 13/183,193 mit dem Titel System and Method for Capacitive Signal Source Amplifier beschrieben, die am 14. Juli 2011 eingereicht wurde und durch Bezugnahme hierin in ihrer Gesamtheit aufgenommen wird. Alternativ kann der Verstärker 106 gemäß Techniken implementiert sein, die auf dem Fachgebiet bekannt sind.

**[0017]** In einigen Ausführungsformen, zum Beispiel Ausführungsformen, die ein MEMS-Mikrofon verwenden, stellt ein Vorspannungsgenerator 104 eine Vorspannung für das Mikrofon 102 selbst an einem Anschlussstift 116 bereit. In einigen Ausführungsformen kann diese Vorspannung je nach der konkreten Mikrofon- und Systemimplementierung zwischen etwa 3 V und etwa 6 V betragen. Alternativ können andere Spannungsbereiche verwendet werden. In weiteren Ausführungsformen kann der Vorspannungsgenerator 104 weggelassen sein, wenn das Mikrofon oder der Sensor 102 keine Vorspannung benötigen oder wenn die erforderliche Vorspannung anderswo bereitgestellt wird. Es versteht sich ferner von selbst, dass in alternativen Ausführungsformen die Komponenten auf der IC 100 unter Verwendung von mehr als einer Komponente und/oder mehr als einer IC implementiert sein können.

**[0018]** Der Spannungs-Frequenz-Wandler wandelt die Ausgangsspannung 120 des Verstärkers 106 in ein Frequenzsignal 118 um, und der Frequenz-PCM-Wandler 110 wandelt das Frequenzsignal 118 in ein PCM-Signal zur Übertragung auf einem Kanal 112 um. In einigen Ausführungsformen ist das Frequenzsignal 118 ein digitales Pulssignal mit einer Frequenz, die proportional oder umgekehrt proportional zur Ausgangsspannung 120 des Verstärkers 106 ist, wie in **Fig. 1b** dargestellt. Alternativ kann das Signal 118 eine Sinuskurve, Rechteckwelle oder andere Wellenform mit veränderlicher Frequenz sein, die eine Frequenz aufweist, die auf der Ausgangsspannung 120 des Verstärkers 106 basiert. In weiteren alternativen Ausführungsformen kann der Spannungs-Frequenz-Wandler 108 eine pulsdichtemodulierte Wellenform mit einer Pulsdichte erzeugen, die

proportional oder umgekehrt proportional zu einer Ausgangsspannung 120 des Verstärkers 106 ist.

**[0019]** Der Spannungs-Frequenz-Wandler 108 kann durch einen spannungsgesteuerten Oszillator 109 implementiert sein, wie in **Fig. 2a** dargestellt. Der VCO 109 kann unter Verwendung von Schaltungen und Verfahren, die auf dem Fachgebiet bekannt sind, zum Beispiel unter Verwendung eines Ringoszillators, Kippschwingungsozillators oder eines anderen Oszillatortyps, implementiert sein. In einigen Ausführungsformen können der Eingang und/oder der Ausgang des VCOs 109 ein Differenzsignal sein. Als ein Beispiel veranschaulicht **Fig. 2b** einen CMOS-Ringoszillator 202 mit mehreren Inverterstufen, die in Systemimplementierungen von Ausführungsformen verwendet werden können. Die Frequenz des Ringoszillators 202 kann zum Beispiel durch Ändern der Versorgungsspannung VDD geregelt werden.

**[0020]** **Fig. 2c** veranschaulicht einen Ringoszillator 220, der drei strombegrenzte Inverterstufen 212, 214 und 216 verwendet, die zum Implementieren eines Spannungs-Frequenz-Wandlers einer Ausführungsform verwendet werden können. Alternativ können mehr oder weniger Stufen verwendet werden. Die Frequenz des Ringoszillators 220 ist proportional zu einer Spannung VCTRL, die an ein NMOS-Bauelement N208 angelegt wird. Wenn die Spannung am Gatter von N208 zunimmt, nehmen die Ströme durch Transistoren N208, P206, P204 und N210 entsprechend zu. Dieser erhöhte Strom wird über Transistoren N212, P212, N214, P214, N216 und P216 auf die Inverterstufen 212, 214 und 216 gespiegelt, um dadurch die Frequenz des Oszillators 220 zu erhöhen.

**[0021]** In einer alternativen Ausführungsform kann die Kippschwingungsozillatorschaltung 230 verwendet werden, um einen Spannungs-Frequenz-Wandler einer Ausführungsform zu implementieren. Der Kippschwingungsozillator 230 weist einen Operationsverstärker 232 und einen Kondensator C234 gekoppelt in einer Integrator-Konfiguration auf, die ein Sägezahnsignal 235 erzeugt. Der Oszillator 230 weist außerdem einen Komparator 234 auf, der den Ausgang des Operationsverstärkers 232 überwacht und ein frequenzmoduliertes Pulssignal 236 erzeugt. Die Frequenz des Oszillators 230 hängt von einer Spannung  $V_c$  ab, die an die Eingänge des Operationsverstärkers 232 angelegt wird. Ein Transistor Q238 kann in einigen Ausführungsformen als ein CMOS-Bauelement implementiert sein. Es versteht sich von selbst, dass die in **Fig. 2a** bis **2d** dargestellten VCO-Schaltungen nur spezifische Beispiele von vielen Oszillatortypen sind, die zum Implementieren von Systemen von Ausführungsformen verwendet werden können.

**[0022]** In einer Ausführungsform kann der Frequenz-PCM-Wandler 110 unter Verwendung eines Sigma-Delta-Wandlers 111 implementiert sein, wie in **Fig. 3a** dargestellt. Der Sigma-Delta-Wandler 111 kann unter Verwendung verschiedener bekannter Sigma-Delta-Wandlerschaltungen und Verfahren implementiert sein, die auf dem Fachgebiet bekannt sind.

**[0023]** In einem Frequenz-PCM-Wandler einer Ausführungsform kann ein Informationsmaß durch Zählen der Nulldurchgänge des Ausgangssignals für eine bestimmte Referenzzeit erhalten werden. Das Ergebnis dieser Zählung ist proportional zur mittleren Frequenz innerhalb dieser bestimmten Referenzzeit. Solch ein Maß kann die Informationen außerdem quantisieren, um eine Zählung mit einer ganzzahligen Anzahl von Nulldurchgängen zu erhalten. In einigen Ausführungsformen wird dieser Quantisierungsfehler durch Wählen einer hohen Schwingungsfrequenz und/oder durch Verwenden eines zusätzlichen Zeit-Digital-Wandlers zum Messen des Quantisierungsfehlers auf Kosten eines höheren Leistungsverbrauchs niedriger gemacht. In einer Ausführungsform wird durch Anwenden von Rauschformungstechniken bei gleichzeitiger Aufrechterhaltung eines „großen“ Quantisierungsfehlers Leistung eingespart. Eine Möglichkeit, solch eine Eigenschaft zu erreichen, besteht darin, sicherzustellen, dass die Zählung der Nulldurchgänge niemals gestoppt wird, sondern der Zählerwert zu festen Zeitpunkten ausgewertet wird, derart dass der Ausgang der Frequenz über Zeit die Differenz von zwei aufeinander folgenden Zählerwerten ist. Solch ein Verfahren liefert eine Quantisierungsrauschformung erster Ordnung.

**[0024]** **Fig. 3b** veranschaulicht einen Frequenz-PCM-Wandler 302 gemäß einer weiteren Ausführungsform. Anstelle einer Auswertung eines einzigen Ausgangs des VCOs mit einem einzigen Zähler wird die mehrphasige Beschaffenheit eines Ringoszillators 304 verwendet. In einer Ausführungsform werden mehrere Ausgänge des Ringoszillators 304 durch Laden von aufeinander folgenden Zuständen aller Ringoszillatorausgänge in Register 306 und 308 ausgewertet. Die Differenz dieser abgetasteten Oszillatorzustände wird durch Exklusiv-ODER-Gatter 310 erzeugt und unter Verwendung eines Summierknotens 312 summiert. Die Differenz von zwei abgetasteten Zuständen (erzeugt durch die Exklusiv-ODER-Funktion) ist proportional zur Momentanfrequenz. Wiederum wird der Quantisierungsfehler einer Rauschformung erster Ordnung unterzogen. Es versteht sich von selbst, dass die Schaltung von **Fig. 3b** lediglich ein Beispiel von vielen möglichen Frequenz-PCM-Wandlern von Ausführungsformen ist, die in Systemen von Ausführungsformen verwendet werden können.

**[0025]** In einer Ausführungsform ist der Ausgang des Frequenz-PCM-Wandlers 110 ein pulscodemoduliertes Einzelbitsignal 112, wie in **Fig. 1a** dargestellt. In alternativen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung kann der Frequenz-PCM-Wandler 110 durch Abtasten eines frequenzmodulierten Signals 118 mit einem Taktsignal implementiert sein und eine Digitalsignalaufbereitung zum Erzeugen eines PCM-Signals 112 durchführen. In einer anderen Ausführungsform können Rückführungssignale vom Frequenz-PCM-Wandler 110 in das Mikrofon eingekoppelt werden, um die Systemleistung zu verbessern.

**[0026]** **Fig. 3c** veranschaulicht einen Frequenz-PCM-Wandler 320 gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, wobei ein digitaler Sigma-Delta-Rauschformer verwendet wird, um digitale Mehrbitdaten in digitale Einzelbitdaten umzuwandeln. Der Frequenz-Spannungs-Wandler 320 weist einen Asynchrone Zähler 322, einen Abtaster 324, einen Differenzblock 326 und einen Parallel-Serien-Wandlerblock 328 auf. In einer Ausführungsform ist der Ausgang des Differenzblocks 326 ein n-Bit-Mehrbit-Ausgang. Der Parallel-Serien-Wandler 328 kann unter Verwendung eines Sigma-Delta-Digitalwandlers implementiert sein. Hierbei kann das Ergebnis einer VCO-Analog-Digital-Umwandlung ein Mehrbitdatenstrom sein.

**[0027]** In einer weiteren Ausführungsform ist ein Frequenz-PCM-Wandler unter Verwendung eines spannungs-/frequenzbasierten ADCs innerhalb einer Rückführungsstruktur implementiert.

**[0028]** In solch einer Ausführungsform wird der Mehrbit-Ausgang eines Frequenzmessblocks parallelseriell in einen Ein-Bit-Ausgangsstrom umgewandelt, der dann zu einem analogen Eingang rückgeführt wird. Die Differenz wird in ein analoges Filter eingegeben, dessen Ausgang mit dem Spannungs-Frequenz-Wandler gekoppelt ist. Diese Struktur ist in der Fachliteratur als „VCObasierter Sigma-Delta-ADC“ bekannt, wie in **Fig. 3d** veranschaulicht. Hierbei weist ein VCObasierter Sigma-Delta-ADC 340 ein Schleifenfilter 342, einen VCO 344 und einen Frequenz-PCM-Wandler 346 auf. In einer Ausführungsform wird der Ausgang des Frequenz-PCM-Blocks 346 zu einem Eingang des Schleifenfilters 342 zurückgeführt. In einer Ausführungsform weist der Frequenz-PCM-Block 346 einen Parallel-Serien-Wandler auf.

**[0029]** **Fig. 4a** veranschaulicht eine integrierte Schaltung 130 einer Ausführungsform, die zum Kopeln mit dem MEMS-Mikrofon 102 konfiguriert ist. Die integrierte Schaltung 130 ähnelt der in **Fig. 1a** dargestellten integrierten Schaltung 100 mit der Ausnahme, dass das PCM-Signal am Ausgang 112 durch den Spannungs-Zeit-Wandler 132 gefolgt

vom Zeit-PCM-Wandler 134 erzeugt wird. In einer Ausführungsform wandelt der Spannungs-Zeit-Wandler 132 den Ausgang 120 des Verstärkers 106 in ein zeitmoduliertes Signal 136 um. Der Zeit-PCM-Wandler 134 wiederum wandelt das zeitmodulierte Signal 136 in das PCM-Signal 112 um. In einer Ausführungsform kann das zeitmodulierte Signal 136 ein pulswertenmoduliertes Signal sein, wie in **Fig. 4b** dargestellt. Hierbei ist die Pulsweite  $T_{PW}$  proportional zu einer Ausgangsspannung 120 des Verstärkers 106. Wie in **Fig. 4b** dargestellt, nimmt die Pulsweite  $T_{PW}$  mit zunehmender Spannung der Ausgangsspannung 120 ab. Alternativ kann die  $T_{PW}$  mit zunehmender Ausgangsspannung 120 des Verstärkers 106 zunehmen.

**[0030]** Gemäß einer Ausführungsform kann der Spannungs-Zeit-Wandler 132 unter Verwendung eines Pulsweitenmodulators 133 implementiert sein, wie in **Fig. 5a** dargestellt. Der Pulsweitenmodulator 133 kann unter Verwendung von Schaltungen und Verfahren zur Erzeugung eines pulswertenmodulierten Signals implementiert sein, die auf dem Fachgebiet bekannt sind. In einigen Ausführungsformen kann der Pulsweitenmodulator 133 unter Verwendung verschiedener Schaltungen implementiert sein.

**[0031]** **Fig. 5b** veranschaulicht einen Pulsweitenmodulator 500, der in einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung verwendet werden kann. Hierbei ein Dreieck- oder Sägezahnsignal 502 als eine Referenz und verglichen mit dem Eingangssignal 120 unter Verwendung eines Komparators 504 zum Erzeugen eines PWM-Signals mit. In einer Ausführungsform ist das PWM-Signal 136 ein zeitkontinuierliches, diskretes Amplitudensignal, in welchem Taktinformationen des Eingangssignals als Differenz zwischen High-Time und Low-Time codiert sind. Andere Schaltungen und Ansätze können in alternativen Ausführungsformen verwendet werden, zum Beispiel wird ein selbstschwingender PWM-Generator bereitgestellt, in den kein Referenzsignal eingegeben wird.

**[0032]** Alternativ kann der Pulsweitenmodulator 133 unter Verwendung von Zweiflankentechniken mit einem Zweiflankenwandler 520, der in **Fig. 5c** dargestellt ist, implementiert sein, wobei Zeit als Umwandlungsreferenz verwendet wird. Hierbei wird ein Eingangssignal  $V_{in}$  für eine bestimmte gegebene Zeit  $t_u$  integriert. Der Integrator wird danach bei einer bestimmten bekannten Referenzspannung entladen, bis der Ausgang null erreicht. Die Zeit, die es dauert, den Integrator zu entladen,  $t_d$ , wird gemessen. In einer Ausführungsform ist  $t_d$  proportional zur Eingangsspannung  $V_{in}$ .

**[0033]** In einer Ausführungsform kann der Zeit-PCM-Wandler 134 unter Verwendung eines Sigma-Delta-Wandlers 135 implementiert sein, wie in

**Fig. 6a** dargestellt. Der Sigma-Delta-Wandler 135 kann unter Verwendung verschiedener bekannter Sigma-Delta-Wandlerschaltungen und Verfahren implementiert sein, die auf dem Fachgebiet bekannt sind. In einer Ausführungsform ist der Ausgang des Frequenz-PCM-Wandlers 110 ein pulscodemoduliertes Einzelbitsignal 112, wie in **Fig. 4a** dargestellt. In alternativen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung kann der Frequenz-PCM-Wandler 134 durch Abtasten eines zeitmodulierten Signals 136 mit einem Taktsignal implementiert sein und eine Digitalsignalaufbereitung zum Erzeugen des PCM-Signals 112 durchführen. In einer anderen Ausführungsform können Verzögerungszellen verwendet werden, um das PCM-Signal 112 zu erzeugen. Zum Beispiel weist in einer Ausführungsform ein Zeit-Digital-Wandler mehrere kaskadierte Verzögerungszellen auf. Während des Betriebs wird die Anzahl von Verzögerungszellen, durch welche ein Puls durchläuft, zwischen Pulsflanken gemessen.

**[0034]** **Fig. 6b** veranschaulicht einen Zeit-Digital-Wandler 600 einer Ausführungsform, der einen Zeit-Spannungs-Wandler (TVC; time to voltage converter) 602 und einen Parallel-Serien-Wandler 604 verwendet, die unter Verwendung eines Sigma-Delta-Digitalwandlers implementiert sein können. Hierbei kann das PWM-Signal 136 durch Messen der High-Time, Messen der Low-Time und Berechnen der Differenz zwischen der High-Time und der Low-Time digitalisiert werden. Wenn der PWM eine konstante bekannte Frequenz hat, kann alternativ entweder die High-Time oder die Low-Time gemessen werden, und die entsprechende Low-Time oder High-Time kann unter Verwendung der bekannten Frequenz berechnet werden. In einer Ausführungsform kann die Messung dieser Zeit unter Verwendung eines getakteten Zählers oder, zum Beispiel im Falle von sehr kurzen Pulsen, unter Verwendung eines Zeit-Digital-Wandlers (TDC) erfolgen. In einigen Ausführungsformen wird der Ausgang des TDCs unter Verwendung eines Sigma-Delta-Rauschformers, wie beispielsweise eines Parallel-Serien-Wandlers 604, von einem Mehrbitformat in ein Einzelbitformat umgewandelt.

**[0035]** **Fig. 7** veranschaulicht ein Mikrofonmodul gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Wenn das Mikrofonmodul die IC 100 aufweist und gekoppelt mit dem MEMS-Mikrofon 102, wie in Ausführungsformen hierin beschrieben. Das Mikrofon 102 und die IC 100 sind innerhalb eines Gehäuses 150 mit einem akustischen Kanal 152 und einem PCM-Ausgabekanal 154 angeordnet. In alternativen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung kann die IC 100 unter Verwendung einer anderen Ausführungsform, zum Beispiel der in **Fig. 4a** dargestellten IC 130, implementiert sein. In einer Ausführungsform kann das Gehäuse 150 unter Verwendung einer Geräuschschutzhülle imple-

mentiert sein, wobei das MEMS-Mikrofon auf der Oberseite einer gedruckten Leiterplatte (PCB) mit einer Schallöffnung, wie beispielsweise einem Loch, montiert ist. Eine anwendungsspezifische integrierte Schaltung (ASIC) mit einer Schaltungsanordnung einer Ausführungsform, wie hierin beschrieben, ist neben dem MEMS-Mikrofon montiert. Die resultierende Anordnung wird mit einer Metallhaube abgedeckt, die in einer Ausführungsform an die PCB gelötet ist. Alternativ können andere Gehäusetyper verwendet werden.

**[0036]** Gemäß der Erfindung weist ein Verfahren ein Verstärken eines Signals auf, das durch ein Mikrofon bereitgestellt wird, um ein verstärktes Signal zu erzeugen. Das Verfahren weist außerdem ein Umwandeln des verstärkten Signals in ein frequenzbasiertes Signal mit einer Frequenz auf, die von einer Amplitude des verstärkten Signals abhängt. Das frequenzbasierte Signal wird in einen pulscodemodulierten Bitstrom umgewandelt. In einigen Ausführungsformen weist das Verstärken des durch das Mikrofon bereitgestellten Signals ein Verstärken eines Ausgangs des MEMS-Mikrofons auf.

**[0037]** In einer Ausführungsform weist das Umwandeln des verstärkten Signals in das frequenzbasierte Signal ein Einkoppeln des verstärkten Signals in einen Eingang eines spannungsgesteuerten Oszillators auf. In einigen Ausführungsformen weist das Umwandeln des Frequenzsignals in den pulscodemodulierten Bitstrom ein Einkoppeln des frequenzbasierten Signals in einen Eingang eines Sigma-Delta-Wandlers auf.

**[0038]** In einer Ausführungsform weist ein Verfahren ein Verstärken eines durch ein Mikrofon bereitgestellten Signals, um ein verstärktes Signal zu erzeugen, Umwandeln des verstärkten Signals in ein zeitbasiertes Signal mit einem Takt, der auf einer Amplitude des verstärkten Signals basiert, und Umwandeln des zeitbasierten Signals in einen pulscodemodulierten Bitstrom auf. In einigen Ausführungsformen weist das Verstärken des durch das Mikrofon bereitgestellten Signals ein Verstärken eines Ausgangs des MEMS-Mikrofons auf. In einigen Ausführungsformen weist das Umwandeln des verstärkten Signals in das zeitbasierte Signal ein Einkoppeln des verstärkten Signals in einen Eingang eines Pulsweitenmodulators auf, in einigen Ausführungsformen weist das Umwandeln des zeitbasierten Signals in den pulscodemodulierten Bitstrom ein Einkoppeln des zeitbasierten Signals in einen Eingang eines Sigma-Delta-Wandlers auf.

**[0039]** Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist eine Schaltung einen Spannungs-Frequenz-Wandler mit einem Eingang, der zum Koppeln mit einem Mikrofon konfiguriert ist, und einen Frequenz-PCM-Wandler mit einem Eingang auf, der

mit einem Ausgang des Spannungs-Frequenz-Wandlers gekoppelt ist. In einigen Ausführungsformen weist die Schaltung außerdem das Mikrofon auf, bei dem es sich um ein MEMS-Mikrofon oder andere, auf dem Fachgebiet bekannte Mikrofontypen handeln kann. In einigen Ausführungsformen kann der Spannungs-Frequenz-Wandler unter Verwendung eines spannungsgesteuerten Oszillators implementiert sein, und der Frequenz-PCM-Wandler kann einen Sigma-Delta-Wandler aufweisen.

**[0040]** Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist eine Schaltung einen Spannungs-Zeit-Wandler mit einem Eingang, der zum Koppeln mit einem Mikrofon konfiguriert ist, und einen Zeit-PCM-Wandler mit einem Eingang auf, der mit einem Ausgang des Spannungs-Zeit-Wandlers gekoppelt ist. In einigen Ausführungsformen kann die Schaltung außerdem ein Mikrofon aufweisen, das unter Verwendung eines MEMS-Mikrofons oder eines anderen, auf dem Fachgebiet bekannten Mikrofontyps festgelegt sein kann. In einigen Ausführungsformen sind der Spannungs-Zeit-Wandler und der Zeit-PCM-Wandler auf einer integrierten Schaltung angeordnet. Der Spannungs-Frequenz-Wandler kann einen Pulsweitenmodulator aufweisen, und der Frequenz-Zeit-Wandler kann einen Sigma-Delta-Wandler aufweisen.

**[0041]** Gemäß einer anderen Ausführungsform weist ein Mikrofonmodul eine Geräuschschutzhülle, ein Mikrofon, das innerhalb der Geräuschschutzhülle angeordnet ist, und eine Audiomwandlungsschaltung auf, die mit einem Ausgang des Mikrofons gekoppelt ist. Die Audiomwandlungsschaltung kann einen Spannungs-Frequenz-Wandler, der mit dem Ausgang des Mikrofons gekoppelt ist, und einen Frequenz-PCM-Wandler aufweisen, der mit einem Ausgang des Spannungs-Frequenz-Wandlers gekoppelt ist. In einigen Ausführungsformen kann das Mikrofonmodul außerdem einen Ausgabekanal aufweisen, der mit einem Ausgang des Frequenz-PCM-Wandlers gekoppelt ist. In einigen Ausführungsformen kann das Mikrofon ein MEMS-Mikrofon oder einen anderen, auf dem Fachgebiet bekannten Mikrofontyp aufweisen.

**[0042]** Ein Vorteil von Systemen der Ausführungsformen weist die Fähigkeit zur Erzeugung eines PCM-Signals von einem Mikrofonausgang unter Verwendung eines sehr niedrigen Leistungsverbrauchs auf. Außerdem sind die Umwandlungstechniken der Ausführungsformen, die zum Beispiel einen VCO, einen Pulsweitenmodulator und/oder einen Zeit-Digital-Wandler verwenden, in Bezug auf Siliziumfläche und Leistungsverbrauch selbst auf Kosten zusätzlicher digitaler Schaltungsanordnung vorteilhaft. Der Grund dafür ist, dass bei der CMOS (BiCMOC) - Technologie mit kleiner Strukturgröße die Implementierung von digitaler Schaltungsanordnung hinsicht-

lich Verlustleistung und Siliziumfläche sehr effizient ist. Einige Ausführungsformen sind außerdem im Hinblick auf den großen Aussteuerbereich vorteilhaft und können zum Beispiel Aussteuerbereiche von über 100 dB erreichen.

**[0043]** Obwohl diese Erfindung in Bezug auf beispielhafte Ausführungsformen beschrieben wurde, soll diese Beschreibung nicht in einem einschränkenden Sinne ausgelegt werden. Für Fachleute sind unter Bezugnahme auf die Beschreibung verschiedene Modifikationen und Kombinationen der beispielhaften Ausführungsformen sowie anderer Ausführungsformen der Erfindung zu erkennen. Es ist daher vorgesehen, dass die angehängten Ansprüche alle solche Modifikationen oder Ausführungsformen umfassen.

### Patentansprüche

1. Verfahren, aufweisend:  
Verstärken eines Signals, das durch ein Mikrofon bereitgestellt wird, um ein verstärktes Signal zu erzeugen;  
Umwandeln des verstärkten Signals in ein frequenzbasiertes Signal mit einer Frequenz, die von einer Amplitude des verstärkten Signals abhängt; und  
Umwandeln des frequenzbasierten Signals in einen pulscodemodulierten (PCM) Bitstrom, wobei das Umwandeln des frequenzbasierten Signals in den pulscodemodulierten (PCM) Bitstrom ein Einkoppeln des frequenzbasierten Signals in einen Eingang eines Sigma-Delta-Wandlers aufweist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Verstärken des durch das Mikrofon bereitgestellten Signals ein Verstärken eines Ausgangs eines MEMS-Mikrofons aufweist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei das Umwandeln des verstärkten Signals in das frequenzbasierte Signal ein Einkoppeln des verstärkten Signals in einen Eingang eines spannungsgesteuerten Oszillators (VCO) aufweist.
4. Verfahren, aufweisend:  
Verstärken eines Signals, das durch ein Mikrofon bereitgestellt wird, um ein verstärktes Signal zu erzeugen;  
Umwandeln des verstärkten Signals in ein zeitbasiertes Signal mit einem Takt, der auf einer Amplitude des verstärkten Signals basiert; und  
Umwandeln des zeitbasierten Signals in einen pulscodemodulierten (PCM) Bitstrom, wobei das Umwandeln des zeitbasierten Signals in den pulscodemodulierten (PCM) Bitstrom ein Einkoppeln des zeitbasierten Signals in einen Eingang eines Sigma-Delta-Wandlers aufweist.

5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei das Verstärken des durch das Mikrofon bereitgestellten Signals ein Verstärken eines Ausgangs eines MEMS-Mikrofons aufweist.

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, wobei das Umwandeln des verstärkten Signals in das zeitbasierte Signal ein Einkoppeln des verstärkten Signals in einen Eingang eines Pulsweitenmodulators aufweist.

7. Schaltung, aufweisend:  
einen Spannungs-Frequenz-Wandler mit einem Eingang, der zum Koppeln mit einem Mikrofon konfiguriert ist; und  
einen Frequenz-PCM-Wandler mit einem Eingang, der mit einem Ausgang des Spannungs-Frequenz-Wandlers gekoppelt ist,  
wobei der Spannungs-Frequenz-Wandler einen spannungsgesteuerten Oszillator (VCO) aufweist und der Frequenz-PCM-Wandler einen Sigma-Delta-Wandler aufweist.

8. Schaltung nach Anspruch 7, ferner aufweisend das Mikrofon.

9. Schaltung nach Anspruch 7 oder 8, wobei das Mikrofon ein MEMS-Mikrofon ist.

10. Schaltung nach einem der Ansprüche 7 bis 9, wobei der Spannungs-Frequenz-Wandler und der Frequenz-PCM-Wandler auf einer integrierten Schaltung angeordnet sind.

11. Schaltung, aufweisend:  
einen Spannungs-Zeit-Wandler mit einem Eingang, der zum Koppeln mit einem Mikrofon konfiguriert ist; und  
einen Zeit-PCM-Wandler mit einem Eingang, der mit einem Ausgang des Spannungs-Zeit-Wandlers gekoppelt ist,  
wobei der Spannungs-Zeit-Wandler einen Pulsweitenmodulator aufweist und der Zeit-PCM-Wandler einen Sigma-Delta-Wandler aufweist.

12. Schaltung nach Anspruch 11, ferner aufweisend das Mikrofon.

13. Schaltung nach Anspruch 11 oder 12, wobei das Mikrofon ein MEMS-Mikrofon ist.

14. Schaltung nach einem der Ansprüche 11 bis 13, wobei der Spannungs-Zeit-Wandler und der Zeit-PCM-Wandler auf einer integrierten Schaltung angeordnet sind.

15. Mikrofonmodul, aufweisend:  
eine Geräuschschutzhülle;  
ein Mikrofon, das innerhalb der Geräuschschutzhülle angeordnet ist;

eine Audiomwandlungsschaltung, die mit einem Ausgang des Mikrofons gekoppelt ist, wobei die Audiomwandlungsschaltung Folgendes aufweist:  
einen Spannungs-Frequenz-Wandler, der mit dem Ausgang des Mikrofons gekoppelt ist, und  
einen Frequenz-PCM-Wandler, der mit einem Ausgang des Spannungs-Frequenz-Wandlers gekoppelt ist,  
wobei der Frequenz-PCM-Wandler einen Sigma-Delta-Wandler aufweist.

16. Mikrofonmodul nach Anspruch 15, ferner aufweisend einen Ausgabekanal, der mit einem Ausgang des Frequenz-PCM-Wandlers gekoppelt ist

17. Mikrofonmodul nach Anspruch 15 oder 16, wobei das Mikrofon ein MEMS-Mikrofon aufweist.

Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG 1A

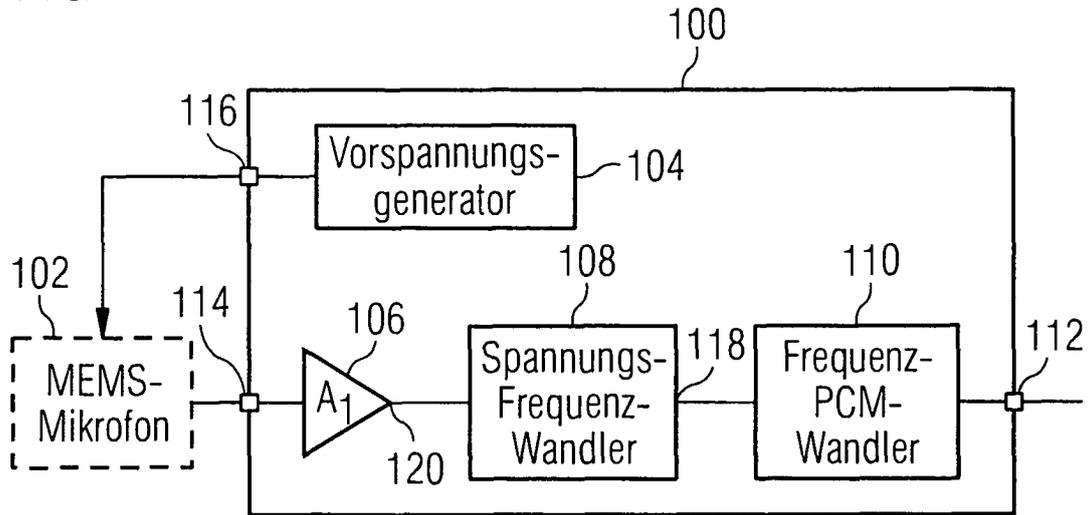


FIG 1B

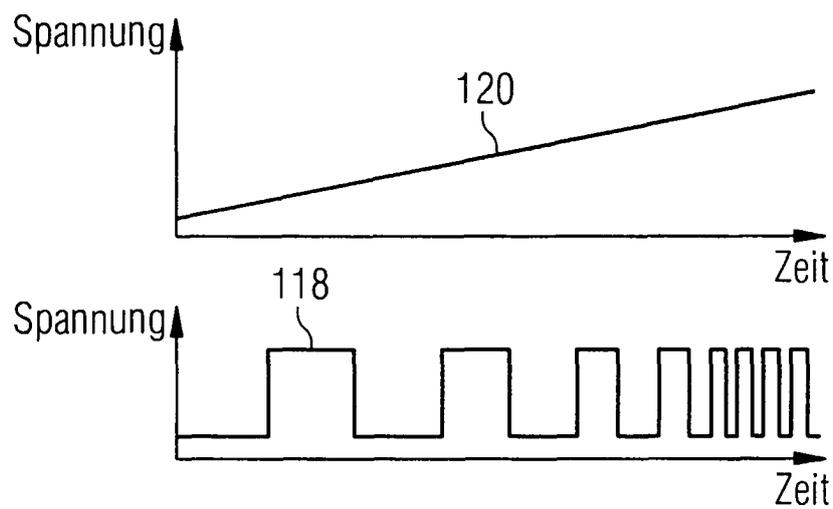


FIG 2A

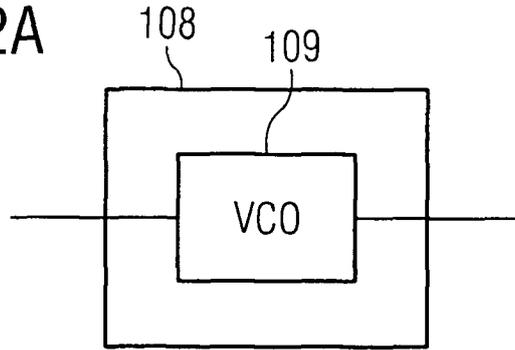


FIG 2B

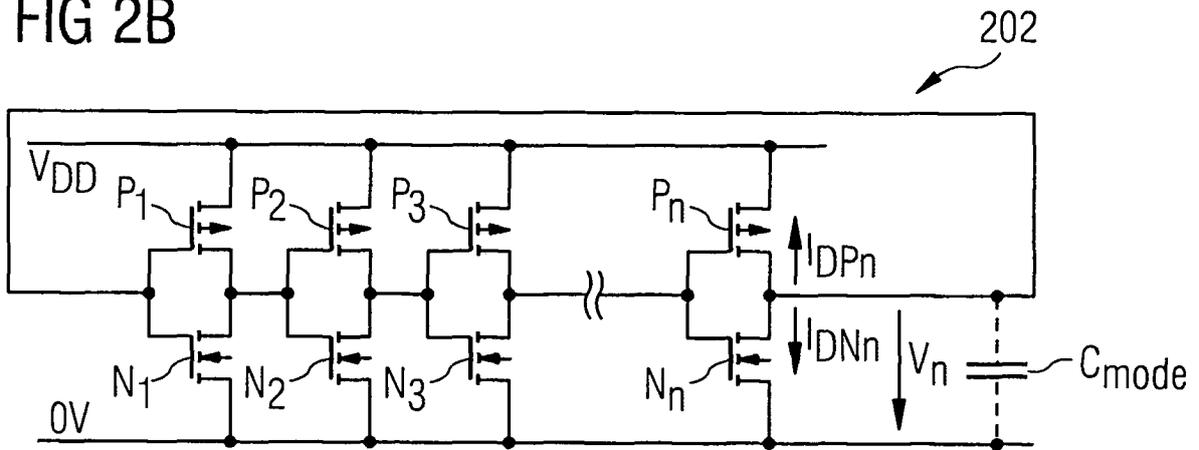


FIG 2C

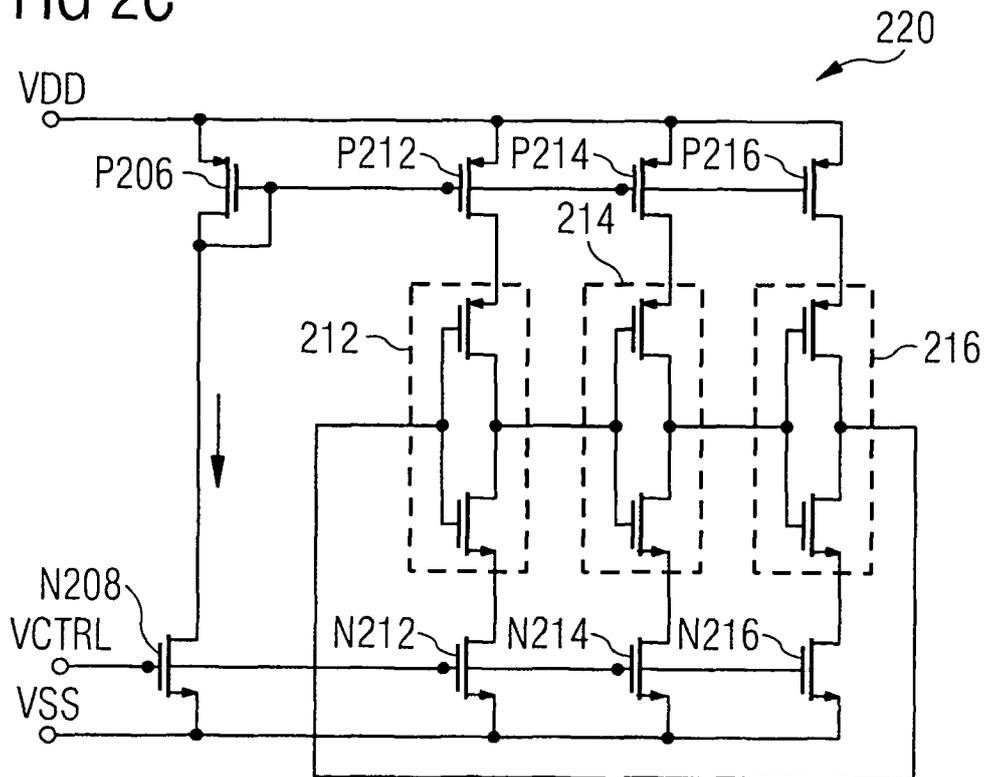


FIG 2D

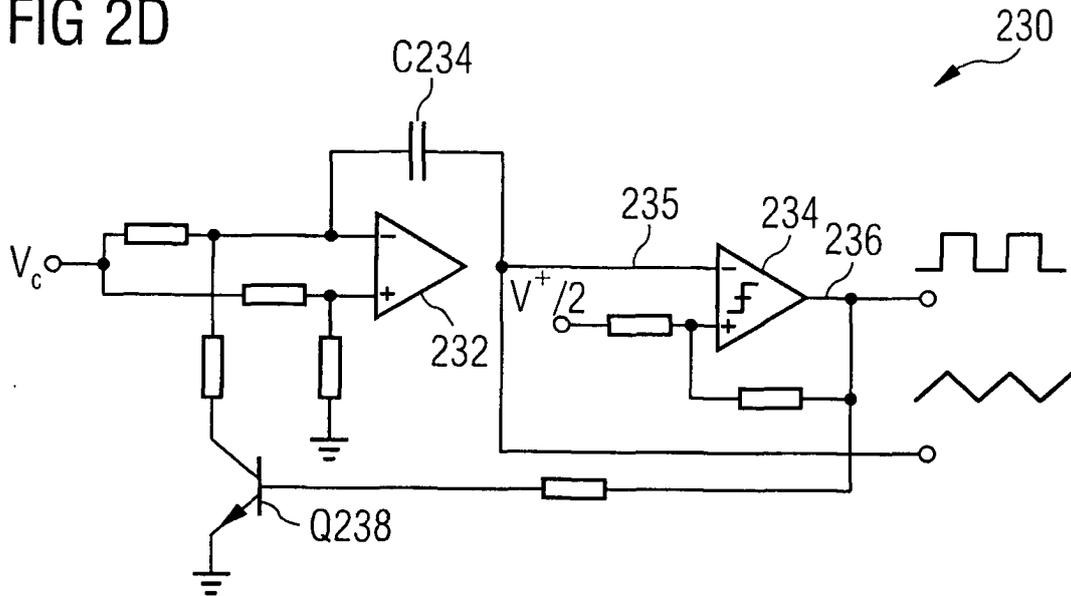


FIG 3A

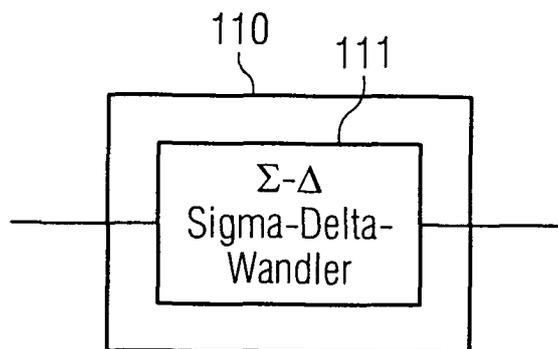


FIG 3B

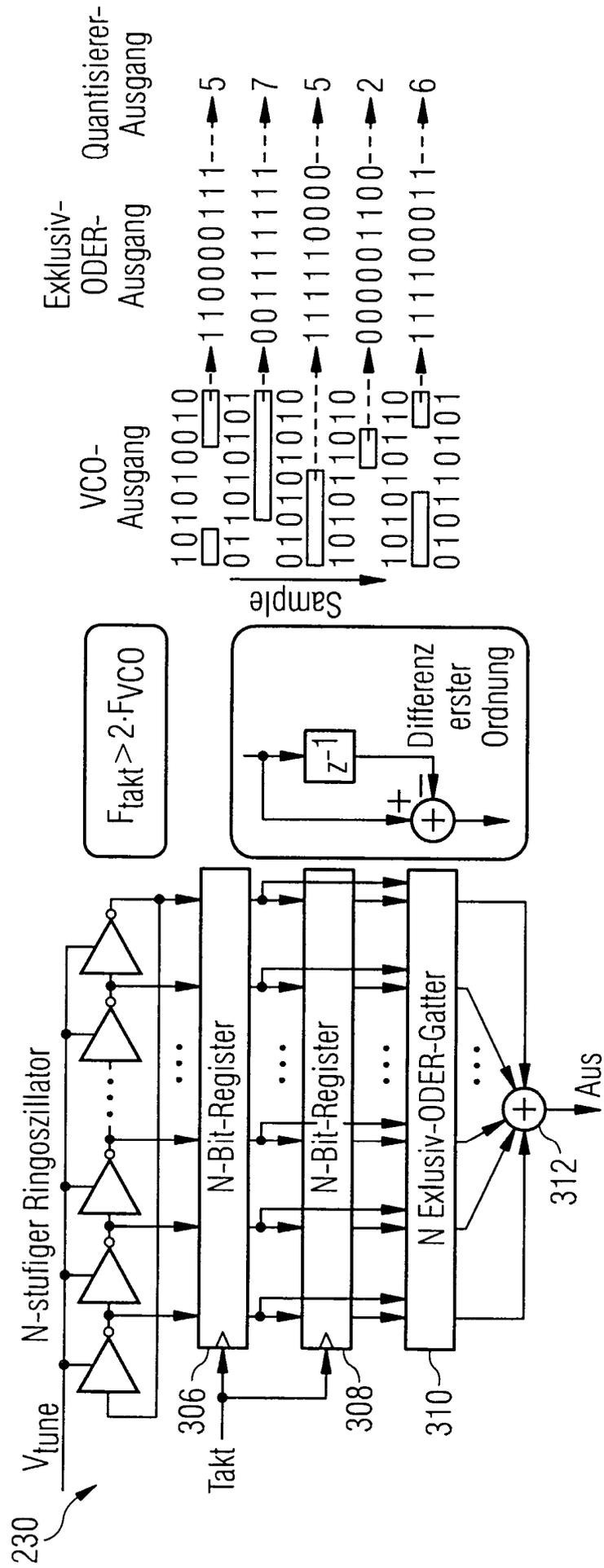


FIG 3C

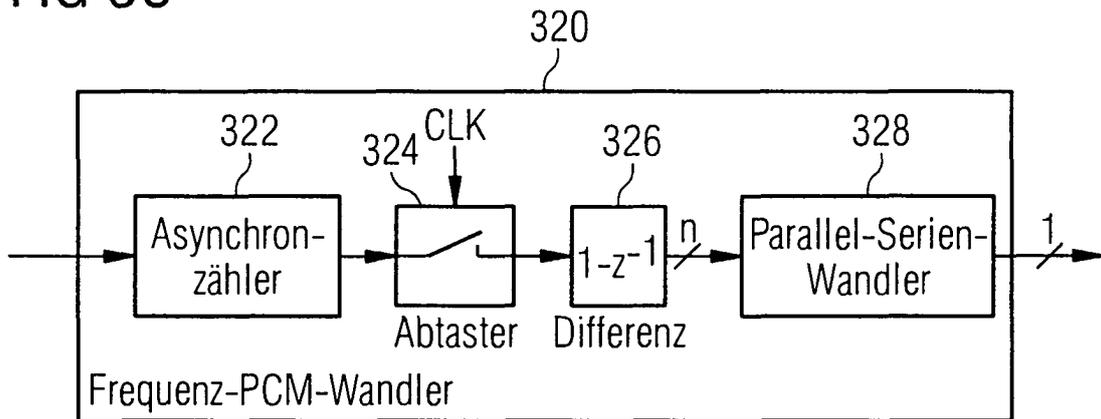


FIG 3D

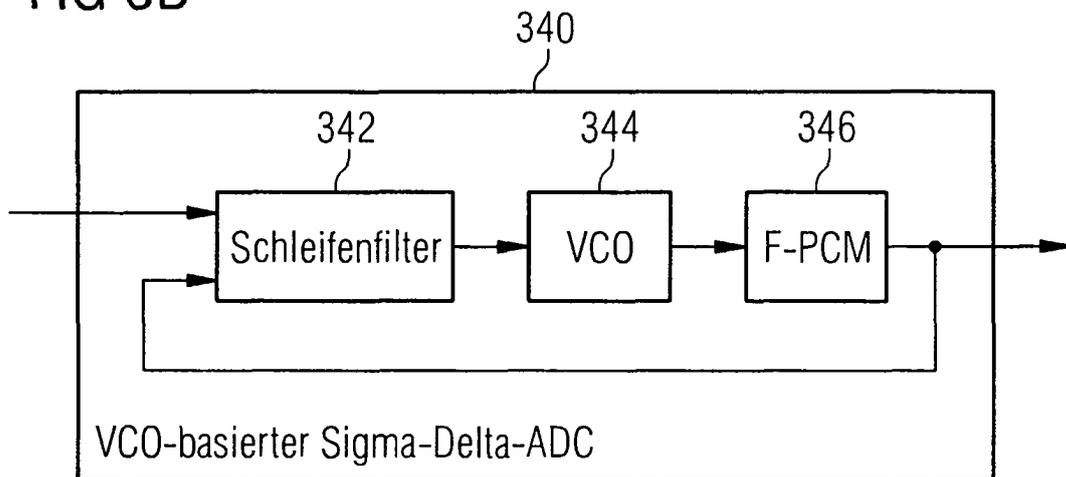


FIG 4A

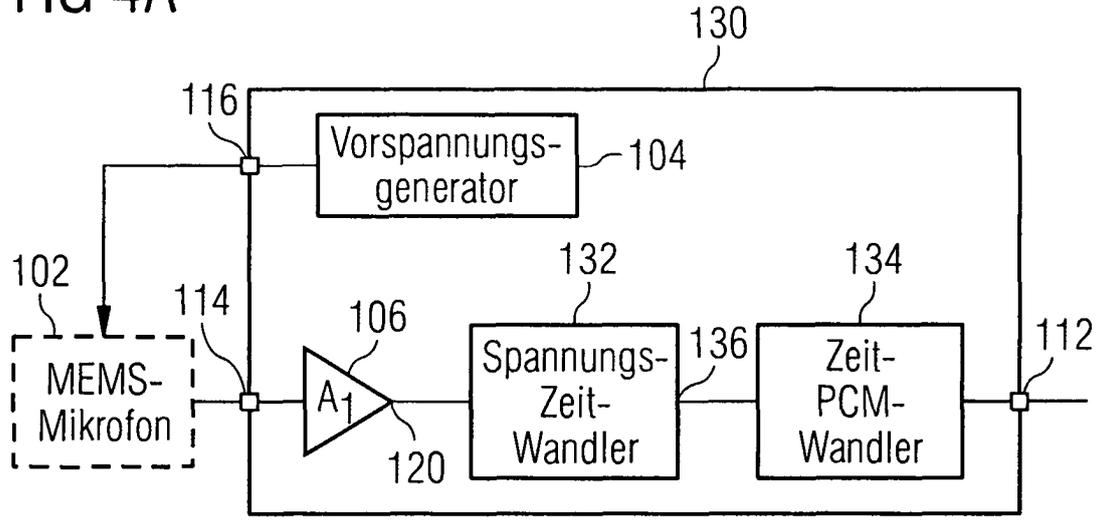


FIG 4B

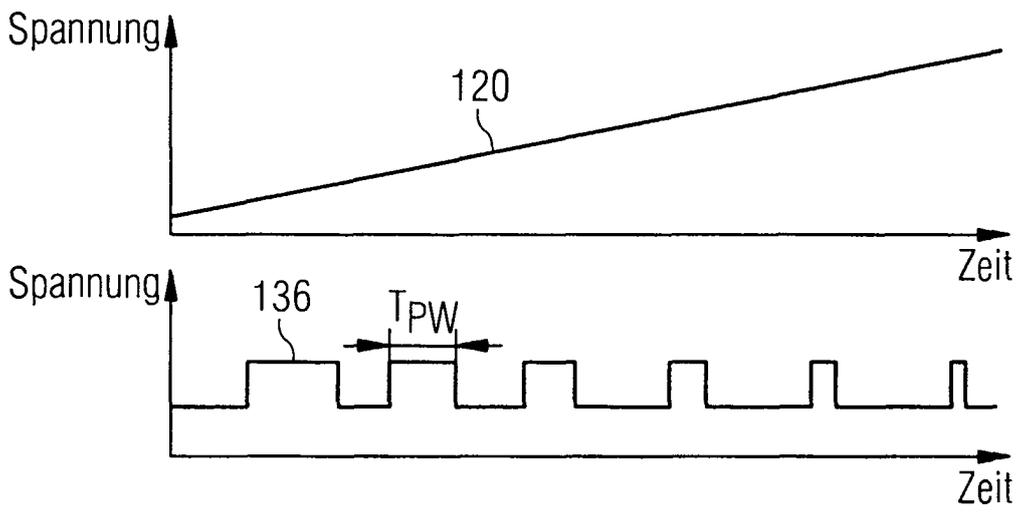


FIG 5A

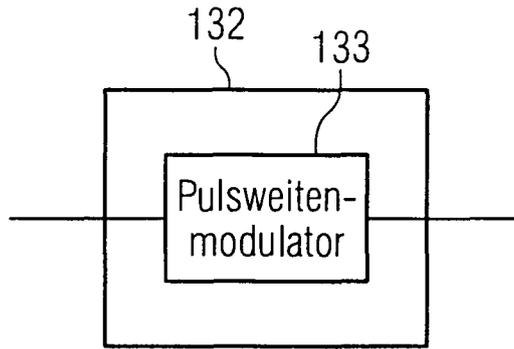


FIG 5B

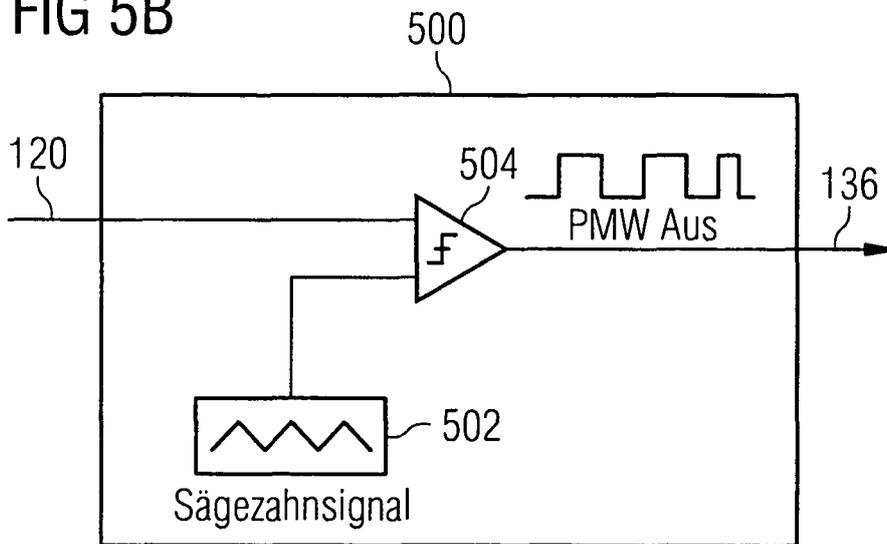


FIG 5C

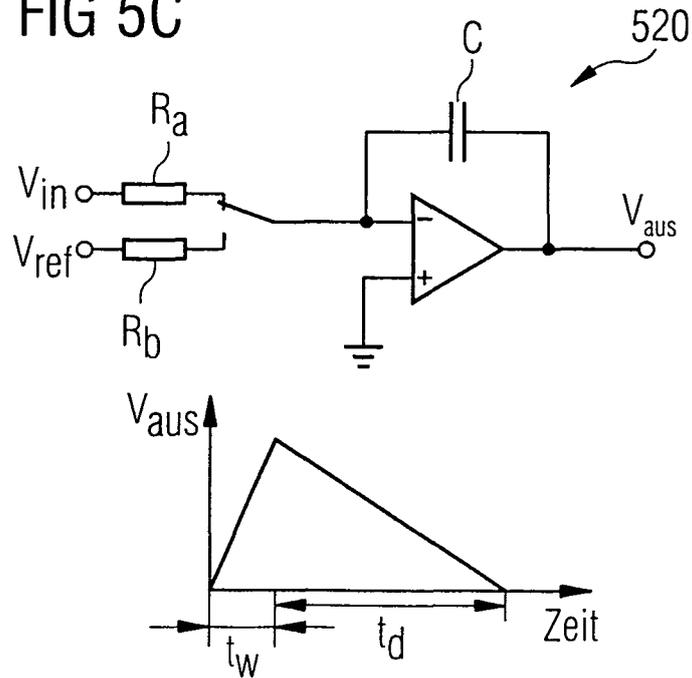


FIG 6A

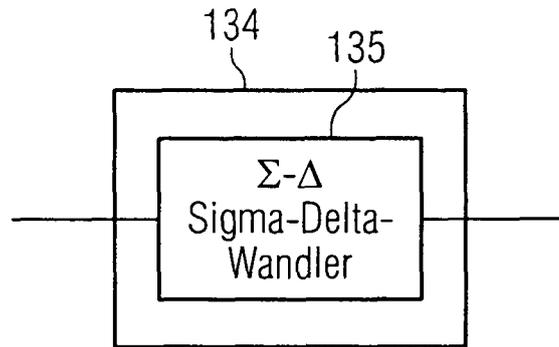


FIG 6B

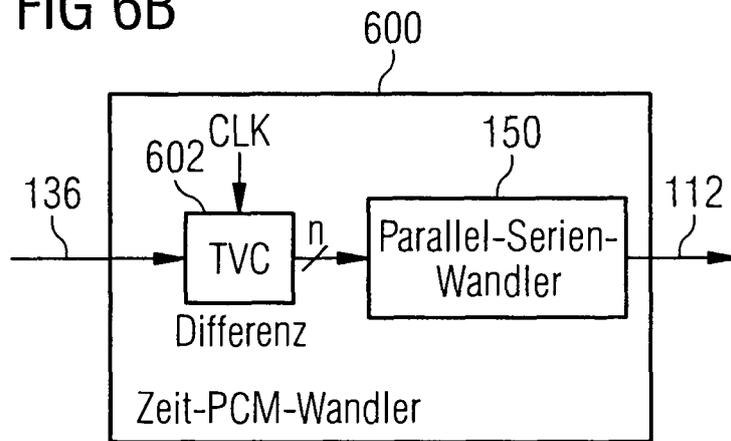


FIG 7

