



(10) **DE 10 2016 106 790 B4** 2022.02.24

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2016 106 790.3**
(22) Anmeldetag: **13.04.2016**
(43) Offenlegungstag: **19.10.2017**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **24.02.2022**

(51) Int Cl.: **H03F 3/217 (2006.01)**
H03F 3/189 (2006.01)
H03F 3/38 (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).

(73) Patentinhaber:
**Ferdinand-Braun-Institut gGmbH, Leibniz- Institut
für Höchstfrequenztechnik, 12489 Berlin, DE**

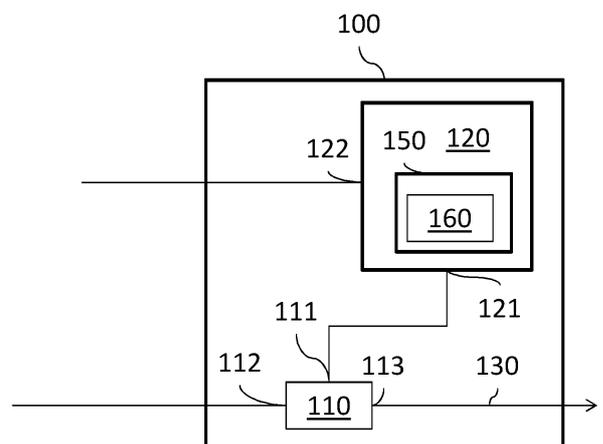
(74) Vertreter:
**Gulde & Partner Patent- und
Rechtsanwaltskanzlei mbB, 10179 Berlin, DE**

(72) Erfinder:
Hühn, Florian, 10247 Berlin, DE

(56) Ermittelte Stand der Technik:
siehe Folgeseiten

(54) Bezeichnung: **Modulator für einen digitalen Verstärker**

(57) Hauptanspruch: Modulator (100) für einen digitalen Verstärker (400), wobei der Modulator (100) umfasst: einen Pulsformer (110) und eine Steuereinheit (120) zur Steuerung des Pulsformers (110), wobei der Pulsformer (110) einen Takteingang (112), einen Steuereingang (111), einen m-fach Überabtaster und einen Bitstrom-Serialisierer (210) umfasst, wobei der Pulsformer (110) zur Wandlung eines an einem Eingang (122) der Steuereinheit (120) anliegenden Eingangssignals in einen für einen digitalen Verstärker konfigurierten Bitstrom (130) ausgebildet ist, der pro Takt eines am Takteingang (112) anliegenden Taktsignals einen Amplitudenwert des am Eingang (122) der Steuereinheit (120) anliegenden Eingangssignals kodiert, wobei der Pulsformer (110) einen jeweiligen Amplitudenwert des Eingangssignals mit unterschiedlichen Bitmustern repräsentieren kann und das jeweilig durch den Pulsformer (110) verwendete Bitmuster durch die Steuereinheit (120) anhand eines an den Steuereingang (111) des Pulsformers (110) angelegten entsprechenden, zugehörigen Ansteuerbefehls bestimmt wird, dadurch gekennzeichnet, dass in der Steuereinheit (120) eine Zuordnung (160) der Ansteuerbefehle zu zugehörigen, aus Verstärkung der zugehörigen Bitmuster mit dem digitalen Verstärker (400) resultierenden Amplitudenwerten hinterlegt ist und vorgesehen ist, dass die Steuereinheit (120) pro Takt einen Ansteuerbefehl anhand der Zuordnung (160) und des jeweiligen Amplitudenwerts des Eingangssignals auswählt und den ...



(56) Ermittelte Stand der Technik:

US	2009 / 0 167 431	A1
US	2015 / 0 280 732	A1
EP	2 263 355	B1

HORI, Shinichi [u.a.]: A 0.7-3GHz envelope [Delta][Sigma] modulator using phase modulated carrierclock for multi-mode/band switching amplifiers. In: 2011 IEEE Radio Frequency Integrated CircuitsSymposium; 5-7 June 2011; Baltimore, MD. 2011, S. 1-4. ISSN 1529-2517 (P). DOI:10.1109/RFIC.2011.5940596.

RAAB, F.: Radio frequency pulsewidth modulation. In: IEEE Transactions on Communications. 1973,COM-21, H. 8, S. 958-966. ISSN 0090-6778. DOI: 10.1109/TCOM.1973.1091763.

SCHEMEL, R. E.: Neoteric signal: method for linearising narrow-band amplifiers or signal paths up totheir peak powers. In: Electronics Letters. 2000, Bd. 36, H. 7, S. 666-668. ISSN 0013-5194. URL:<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=842229> [abgerufen am 13.06.2016].Bibliographieinformationen ermittelt über: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=842229&newsearch=true&queryText=Neoteric%20signal:%20method%20for%20linearising%20narrowband%20amplifiers%20or%20signal%20paths%20up%20to%20their%20peak%20powers> [abgerufen am 13.06.2016].

STAUTH, Jason T.; SANDERS, Seth R.: Pulse-density modulation for RF applications: The radio-frequency power amplifier (RF PA) as a power converter. In: 2008 IEEE Power Electronics Specialists Conference; 15-19 June 2008; Rhodes, Greece. 2008, S. 3563-3568. ISSN 0275-9306 (P). DOI: 10.1109/PESC.2008.4592507.

WAGH, P. ; MIDYA, P. ; RAKERS, P.: Distortionless RF pulse width modulation. In: Circuits and Systems,2002. MWSCAS-2002. The 2002 45th Midwest Symposium on; 4-7 Aug. 2002. 2002, ISBN 0-7803-7523-8. DOI: 10.1109/MWSCAS.2002.1187172.

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft einen Modulator für einen digitalen Verstärker und eine Vorrichtung mit einem solchen Modulator und einem digitalen Verstärker.

Stand der Technik

[0002] Digitale Leistungsverstärker, auch kurz digitale Verstärker genannt, und Leistungssteller haben sich in den vergangenen Jahren im niederfrequenten Bereich aufgrund ihrer vielen Vorteile rasant durchgesetzt. Insbesondere der konstant hohe Wirkungsgrad über nahezu den gesamten Ausgangsleistungsbereich ermöglicht einen äußerst energieeffizienten und damit auch umweltschonenden Betrieb.

[0003] Im Bereich der Mikrowellentechnik konnten sich digitale Verstärker hingegen bisher noch nicht durchsetzen. Das gleichzeitige Erreichen einer hohen Ausgangsleistung mit guter Energieeffizienz sowie hoher Bandbreite und Linearität stellen angesichts der geringen Reserven zu den Frequenzgrenzen der Transistoren noch immer große Herausforderungen dar.

[0004] Digitale Verstärker erzeugen ein wertdiskretes Ausgangssignal, in der einfachsten Bauweise ein binäres Signal, in die das gewünschte analoge Ausgangssignal so kodiert ist, dass Zwischenwerte des Ausgangssignals durch einfache Bandpassfilterung am Ausgang des Verstärkers wiederhergestellt werden können. Die Anordnung, die das zu verstärkende Signal in ein Eingangssignal des digitalen Verstärkers entsprechend kodiert, wird Modulator genannt. Für Hochfrequenzsignale (HF-Signale) verhindern physikalische und technische Rahmenbedingungen die Übernahme der aus dem niederfrequenten Bereich bekannten Modulationsarten.

[0005] Aufgabe des Modulators ist es, aus dem Eingangssignal einen solchen Bitstrom zu erzeugen, der vom Verstärker mit wünschenswerterweise möglichst hohem Wirkungsgrad verstärkt werden kann und der nach Passieren des Bandfilters am Ausgang einer verstärkten und auf die Trägerfrequenz hochgemischten Version des Eingangssignals des Modulators entspricht.

[0006] In modernen Kommunikationssystemen umfasst das Eingangssignal typischerweise sowohl Variationen in seiner Phasenlage als auch in seiner Amplitude, die die zu übertragenden Informationen kodieren. Es liegt entweder als analoges Signal vor oder als digitale Repräsentation eines analogen Signals mit für die jeweilige Aufgabe hinreichend hoher Amplituden- und Zeitauflösung.

[0007] Aus dem Stand der Technik sind zwei Modulationsverfahren für digitale Verstärker bekannt. S. Hori beschreibt in „A 0.7-3GHz envelope $\Delta\Sigma$ modulator using phase modulated carrier clock for multi-mode/band switching amplifiers“, Radio Frequency Integrated Circuits Symposium (RFIC) 2011, 5.-7. Juni 2011, S. 1-4, Envelope Delta Sigma Modulation (EDSM). EDSM erzeugt keinen oder genau einen Puls pro Schwingung des phasenmodulierten Trägersignals. Feinere Abstimmung der resultierenden Ausgangsamplitude durch Pulsbreite ist nicht möglich.

[0008] Ein anderes Verfahren ist Band Pass Delta Sigma Modulation (BPDSM), beispielsweise beschrieben in US 2015/0280732 A1. Die BPDSM erfordert eine Überabtastung des HF-Signals, was in einer erhöhten Anzahl an Schaltvorgängen pro Trägerfrequenzperiode resultiert und so zu Umladungsverlusten im Verstärker führt.

[0009] Weitere Modulationsverfahren sind in Stauth, J. et al., „Pulse-density modulation for RF application: The radio-frequency power amplifier (RF PA) as a power converter“, Power Electronics Specialists Conference 2008, S. 3563-3568; F. Raab, „Radio Frequency Pulsewidth Modulation“, IEEE Transactions on Communications, S. 958-966, 08/1973; R. Schemel, „Neoteric signal: method for linearising narrow-band amplifiers or signal paths up to their peak powers“, Electronic Letters, Vol. 36, Nr. 7, S. 666-667, 30.03.2000 und P. Wagh, „Distortionless RF Pulse Width Modulation“, The 2002 45th Midwest Symposium on Circuits and Systems, S. 124-127, 2002 beschrieben. Digitale Verstärker mit Modulatoren sind aus EP 2 263 355 B1 und US 2009/0167431 A1 bekannt.

[0010] Modulatoren können dann beispielsweise einen Pulsformer umfassen. Die Bitmusterung passt dabei eine Impulsantwort an den Verstärker an und wandelt das Eingangssignal in einen für einen digitalen Verstärker konfigurierten Bitstrom. Pulsformer erzeugen den Bitstrom unter Verwendung eines Amplitudenwertes und einer Phase des Eingangssignals sowie einer Taktfrequenz eines Trägersignals. Die Gesamtbreite aller Pulse in einem Takt des Trägersignals repräsentiert dann zum Beispiel den Amplitudenwert und ein erster Puls repräsentiert die Phase. Manche Pulsformer können einen jeweiligen Amplitudenwert dabei auf unterschiedliche Weise repräsentieren. Beispielsweise kann ein Amplitudenwert von Drei als drei Pulse einer Einheitsbreite, als ein Puls mit entsprechend dreifacher Breite oder zwei Pulse mit einer Gesamtbreite entsprechend drei Einheitsbreiten repräsentiert werden. Dies ist beispielhaft in **Fig. 1** und **Fig. 2** gezeigt. Zusätzlich ist die Pulspause zwischen den Pulsen variierbar. Diese unterschiedlichen Weisen werden auch als Wellenformen oder Bitmuster bezeichnet.

Offenbarung der Erfindung

[0011] Erfindungsgemäß wird ein Modulator nach Anspruch 1 für einen digitalen Verstärker vorgestellt. Der Modulator umfasst einen Pulsformer und eine Steuereinheit zur Steuerung des Pulsformers, wobei der Pulsformer einen Takteingang, einen Steuereingang, einen m-fach Überabtaster und einen Bitstrom-Serialisierer umfasst, wobei der Pulsformer zur Wandlung eines an einem Eingang der Steuereinheit anliegenden Eingangssignals in einen für den digitalen Verstärker konfigurierten Bitstrom ausgebildet ist, der pro Takt eines am Takteingang anliegenden Taktsignals einen Amplitudenwert des am Eingang der Steuereinheit anliegenden Eingangssignals kodiert. Der Pulsformer kann einen jeweiligen Amplitudenwert des Eingangssignals mit unterschiedlichen Bitmustern repräsentieren. Das jeweilig durch den Pulsformer verwendete Bitmuster wird durch die Steuereinheit anhand eines an den Steuereingang des Pulsformer angelegten entsprechenden, zugehörigen Ansteuerbefehls bestimmt, wobei in der Steuereinheit eine Zuordnung der Ansteuerbefehle zu zugehörigen, aus Verstärkung der zugehörigen Bitmuster mit dem digitalen Verstärker resultierenden Amplitudenwerten hinterlegt ist und vorgesehen ist, dass die Steuereinheit pro Takt einen Ansteuerbefehl anhand der Zuordnung und des Amplitudenwerts des Eingangssignals auswählt und den Pulsformer entsprechend ansteuert, so dass ein entsprechend dem bestimmten Bitmuster erzeugter Bitstrompuls für den digitalen Verstärker bezüglich zumindest einer der folgenden Verstärkerkenngrößen optimierend angepasst ist: Wirkungsgrad, Linearität, Detailtreue und Störabstand, wobei der m-fach Überabtaster ausgebildet ist, das am Takteingang anliegende Taktsignal m-fach überabzutasten und so auf m-fache Frequenz anzuheben, wobei m eine Zahl gleich oder größer als Eins ist, und wobei der Bitstrom-Serialisierer ausgebildet ist, das Eingangssignal unter Zuhilfenahme des erhöhten Taktes in einen durch den ausgewählten Ansteuerbefehl bestimmten Bitstrom zu wandeln.

[0012] Der vorgeschlagene Modulator ist bezüglich der in der jeweiligen Implementation erzielbaren Fähigkeiten der Hardware, insbesondere der bitmusternden und/oder der digital verstärkenden Hardware, durch die Zuordenbarkeit von Ansteuerbefehl zu tatsächlich resultierendem Amplitudenwert gemäß dem digitalen Verstärker parametrisierbar. Die nach dem Verstärker tatsächlich resultierende Phasenlänge kann ebenfalls erfasst und in der Wellenformtabelle gespeichert werden. So kann dann auch der tatsächliche Phasenfehler des Verstärkers korrigiert werden. Durch geeignete Wahl unter Verwendung der Zuordnung kann der Modulator für den jeweiligen digitalen Verstärker, dessen resultierende Amplitudenwerte den Ansteuerbefehlen zugeordnet

sind, optimiert werden, beispielsweise bezüglich Reinheit des Spektrums, Filteranforderungen und/oder Verstärkerwirkungsgrad.

[0013] Durch die Zuordenbarkeit kann der Modulator vorteilhaft zur Verbesserung der Wandlung des Eingangssignals in ein digital verstärktes Ausgangssignal verwendet werden.

[0014] Die vorliegende Erfindung beschreibt einen neuen Modulator, der die Nachteile der bisher bekannten Verfahren vermindert. Er ist in digitaler Schaltungstechnik beziehungsweise unter Nutzung einfacher signalerzeugender Blöcke implementierbar. Digitale Schaltungen erlauben mehr Bauteiltoleranz und damit verbunden einen kostengünstigeren Fertigungs- und Kalibrierprozess.

[0015] In einer bevorzugten Ausführungsform umfasst der Modulator einen Speicher, in dem aus der Verstärkung der unterschiedlichen Bitmuster mit dem Verstärker resultierende Amplitudenwerte den Ansteuerbefehlen zugeordnet sind. Dabei kann die Steuereinheit ausgebildet sein, das zu erzeugende Bitmuster unter Verwendung des Amplitudenwerts des Eingangssignals und der resultierenden Amplitudenwerte zu bestimmen.

[0016] Bei geeigneter Wahl der Einträge in der Bitmusterzuordnung besitzt der Modulator eine optimierte Kodiereffizienz.

[0017] So lässt sich schnell und einfach die Optimierung des Bitstroms für den Verstärker erreichen.

[0018] Die Steuereinheit kann ausgebildet sein, mindestens eine gespeicherte Zuordnung eines resultierenden Amplitudenwerts zu einem der unterschiedlichen Bitmuster mindestens einmal zu ändern.

[0019] Damit ist der Modulator konfigurierbar, beziehungsweise adaptierbar, an unterschiedliche Verstärker und/oder Veränderungen der Verstärkerkenngrößen während des Betriebs. Die Bitmuster können sich durch unterschiedliche Phasen unterscheiden.

[0020] Damit lässt sich ein noch besser für den Verstärker geeigneter Bitstrom erzeugen. Durch die Möglichkeit, verschiedene Bitmuster je Takt (Schwingung) des phasenmodulierten Trägersignals zu erzeugen, wird die Detailtreue des resultierenden Ausgangssignals erhöht. Dies schlägt sich in einem reineren Ausgangsspektrum und geringeren Anforderungen an einen Bandpassfilter nieder.

[0021] Der Modulator kann einen Amplitudenmodulator umfassen. Der Amplitudenmodulator kann ausgebildet sein, den Amplitudenwert des Eingangssig-

nals zu kodieren und der Steuereinheit zur Verfügung zu stellen. Die Steuereinheit kann weiterhin ausgebildet sein, das kodierte Signal zur Bestimmung des zu erzeugenden Bitmuster zu verwenden.

[0022] Der Amplitudenmodulator kann weiterhin ausgebildet sein, den Amplitudenwert des Eingangssignals unter Verwendung des resultierenden Amplitudenwerts eines zuvor verwendeten Bitmuster zu kodieren.

[0023] Dadurch lässt sich Rauschen verringern. Insbesondere verringert die Verwendung des hinterlegten resultierenden Amplitudenwerts anstelle eines tatsächlichen resultierenden Amplitudenwerts eine Feedbackverzögerung und damit ein Aufschwingen des Amplitudenmodulators.

[0024] Der Amplitudenmodulator kann ausgebildet sein, den Amplitudenwert unter Verwendung eines mit der Phase modulierten Trägersignals, welches als Taktsignal für den Amplitudenmodulator dient, zu kodieren. Ein Phasenlagenkorrekturwert kann ebenfalls erfasst und in der Wellenformtabelle gespeichert werden. So kann dann auch der tatsächliche Phasenfehler des Verstärkers korrigiert werden.

[0025] Der Modulator kann weiterhin eine Eingangsstufe umfassen, die ausgebildet ist, aus einer komplexwertigen Repräsentation des Eingangssignals und einem Trägersignal das phasenmodulierte Trägersignal und ein die Amplitude repräsentierendes Einhüllendensignal zu erzeugen und dem Amplitudenmodulator zur Verfügung zu stellen.

[0026] Der Pulsformer kann ausgebildet sein, aus dem phasenmodulierten Trägersignal einen vorläufigen Bitstrom zu erzeugen und diesen unter Verwendung der durch den Amplitudenwert zumindest mitbestimmten Phase zu verzögern, um den Bitstrom zu erzeugen. Die Phase beschreibt, wie weit die Phasenlage des nach dem Verstärker resultierenden Pulses von dem gewünschten Ideal abweicht und ist synonym zu einer zur Kompensation der Abweichung notwendigen Verzögerung. In der Zuordnung können zu einem resultierenden Amplitudenwert zwei unterschiedliche Bitmuster enthalten sein, die sich in der Phase beziehungsweise der Verzögerung unterscheiden.

[0027] Der Pulsformer ist ausgebildet, den vorläufigen Bitstrom durch einen Serialisierungsschaltkreis mit m-facher Überabtastung, wobei m eine natürliche Zahl größer oder gleich Eins ist, zu erzeugen.

[0028] Der Pulsformer kann zusätzlich zur Bitmusterbildung eine Phasenverschiebung vornehmen.

[0029] Weiterhin wird erfindungsgemäß eine Vorrichtung gemäß Anspruch 10 zur Wandlung eines Eingangssignals in ein digital verstärktes Signal zur Verfügung gestellt. Die Vorrichtung umfasst einen erfindungsgemäßen Modulator und den digitalen Verstärker.

[0030] Die Vorrichtung kann einen dem digitalen Verstärker nachgeordneten Bandpassfilter umfassen, der durch Breitbandfilterung das Ausgangssignal erzeugt. Die Steuereinheit kann dabei ausgebildet sein, den aus der digitalen Verstärkung und der Bandpassfilterung resultierenden Amplitudenwert zur Bestimmung des zu erzeugenden Amplitudenwerts zu verwenden.

[0031] Der Amplitudenmodulator kann beispielsweise ein Delta-Sigma-Modulator erster oder höherer Ordnung sein. Ein Delta-Sigma-Modulator kodiert das Einhüllendensignal unter Verwendung des phasenmodulierten Trägersignals mittels einer Negativrückkopplung. Insbesondere kann ein resultierender Amplitudenwert aus der Zuordnung rückgekoppelt werden, der einem zuvor verwendeten Bitmuster zugeordnet ist. Die Kodierung kann dabei auf einer Taktteilung des phasenmodulierten Trägersignals beruhen, die ein kodierte Signal in je d Takten generiert, wobei d eine natürliche Zahl größer oder gleich Eins ist. Die rauschformenden Eigenschaften eines Delta-Sigma-Modulators verbessern durch die Rückkopplung die Signalqualität und ermöglichen durch verringerte Anforderungen Einsatz einer größeren Vielfalt von Bandpassfiltern.

[0032] Das Basisbandsignal kann wiederum durch eine Eingangsstufe bereitgestellt sein, die ein komplexwertiges Eingangssignal unter Verwendung der Trägerfrequenz in das phasenmodulierte Trägersignal und ein Einhüllendensignal verwandelt.

[0033] Die Steuereinheit kann auf einen vorbestimmten Pulsformer und einen vorbestimmten Verstärker festgelegt sein. Die Steuereinheit kann nur auf einen vorbestimmten Pulsformer festgelegt und an ein tatsächliches Verhalten des Verstärkers unter Verwendung des digitalen Ausgangssignals anpassbar sein, initial und/oder zu späteren Zeitpunkten. Das Anpassen der Zuordnung kann unter Verwendung tatsächlich resultierender Amplitudenwerte erfolgen. So kann der tatsächliche Wirkungsgrad und/oder die tatsächliche Linearität der Wandlung initial und/oder später, insbesondere auch wiederkehrend, verbessert, insbesondere optimiert, werden. Die Anpassung kann beispielsweise gedämpft, iterativ und/oder inkrementell erfolgen, um Parametersprünge durch die Anpassung zu vermeiden.

[0034] Der Ansteuerbefehl an den Pulsformer kann darauf beruhen, dass die Steuereinheit zum Amplitu-

denwert einen resultierenden Amplitudenwert in einer in einem Speicher gespeicherten Zuordnung von zumindest aus digitaler Verstärkung resultierenden Amplitudenwerten zu den Ansteuerbefehlen bestimmt und den Pulsformer entsprechend ansteuert. Derjenige resultierende Amplitudenwert mit dem geringsten Abstand zum Amplitudenwert des Eingangssignals kann bestimmt und verwendet werden. Dabei kann der geringste Abstand in der gesamten Zuordnung oder in einer Teilmenge bestimmt werden, die ihrerseits beispielsweise durch zuvor bestimmte Bitmuster bestimmt ist. Die Zuordnung kann insbesondere einem oder mehreren Amplitudenwerten einen Ansteuerbefehl für einen sogenannten Nullpuls zuordnen, wobei der Pulsformer ausgebildet sein kann, keinen Puls zu formen, wenn er mit diesem Ansteuerbefehl angesteuert wird.

[0035] Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben und in der Beschreibung beschrieben.

Figurenliste

[0036] Ausführungsbeispiele der Erfindung werden anhand der Zeichnungen und der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 unterschiedliche Bitmuster zur Repräsentation eines beispielhaften Amplitudenwerts innerhalb eines Takts eines Trägersignals,

Fig. 2 weitere Beispiele unterschiedlicher Bitmuster zur Repräsentation,

Fig. 3 ein erstes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Modulators,

Fig. 4 ein zweites Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Modulators,

Fig. 5 ein drittes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Modulators,

Fig. 6 ein viertes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Modulators,

Fig. 7 ein erstes Ausführungsbeispiel für einen Pulsformer wie er in Ausführungsbeispielen der Erfindung Verwendung finden kann,

Fig. 8 ein zweites Ausführungsbeispiel für einen Pulsformer, wie er in Ausführungsbeispielen der Erfindung Verwendung finden kann,

Fig. 9 ein drittes Ausführungsbeispiel für einen Pulsformer, wie er in Ausführungsbeispielen der Erfindung Verwendung finden kann,

Fig. 10 ein viertes Ausführungsbeispiel für einen Pulsformer, wie er in Ausführungsbeispielen der Erfindung Verwendung finden kann,

Fig. 11 ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung, und

Fig. 12 ein Ausführungsbeispiel eines Phasensignalmodulators, wie er in Ausführungsbeispielen der Erfindung Verwendung finden kann.

Ausführungsformen der Erfindung

[0037] In der **Fig. 3** ist ein Modulator 100 gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung gezeigt. Der Modulator umfasst einen Pulsformer 110 und eine Steuereinheit 120.

[0038] Der Pulsformer 110 ist zur Erzeugung eines Bitstroms 130 unter Verwendung einer Amplitude und einer Phase des Eingangssignals sowie einer Taktfrequenz eines Trägersignals ausgebildet. Je Takt des phasenmodulierten Trägersignals erzeugt der Pulsformer eine Repräsentation eines Amplitudenwerts des Eingangssignals. Der Pulsformer 110 kann einen jeweiligen Amplitudenwert dabei auf unterschiedliche Weise repräsentieren. Beispielsweise kann ein Amplitudenwert von Drei als drei Pulse einer Einheitsbreite, ein Puls mit entsprechend dreifacher Breite oder zwei Pulse mit einer Gesamtbreite entsprechend drei Einheitsbreiten repräsentiert werden. Zusätzlich oder alternativ ist die Lückenbreite zwischen den Pulsen variierbar.

[0039] Dies ist nur ein beispielhafter Zusammenhang zwischen Pulsen und der resultierenden Amplitude. **Fig. 2** zeigt weitere Beispiele. Die durchgezogene Linie beschreibt eine jeweils vorgegebene Wellenform, wie sie in der Wellenformtabelle beschrieben wird. Die gestrichelte Linie stellt das resultierende Signal hinter Verstärker und Bandpassfilter dar. In Figur gibt es keine feste Bindung zwischen der zusammengenommenen Breite aller Pulse und der Ausgangsamplitude. Alle Pulse beeinflussen sich gegenseitig in ihrer Wirkung. Dadurch kann beispielsweise durch entsprechende Anordnung zweier Pulsen eine Ausgangsamplitude nahe Null erreicht werden. Dies im letzten Beispiel in **Fig. 2** gezeigt.

[0040] Diese unterschiedlichen Weisen werden auch als Bitmuster bezeichnet. Der Pulsformer 110 umfasst einen Steuereingang 111, über den der Pulsformer zur Verwendung eines der unterschiedlichen Bitmuster anhand entsprechender Ansteuerbefehle angesteuert werden kann. Der Pulsformer 110 umfasst weiterhin einen Takteingang 112 und einen Ausgang 113 für den Bitstrom 130.

[0041] Die Steuereinheit 120 umfasst einen Steuerausgang 121, der mit dem Steuereingang 111 des Pulsformers zur Steuerung des Pulsformers 110 elektrisch verbunden ist. Die Steuereinheit 120 umfasst weiterhin einen Eingang 122, über den eine Amplitude des Eingangssignals der Steuereinheit zuführbar ist.

[0042] Die Steuereinheit 120 ist zur Steuerung des Pulsformers 110 zur Wandlung eines Eingangssignals in den Bitstrom 130 ausgebildet, wobei die Steuereinheit 120 so ausgebildet ist, dass der erzeugte Bitstrom 130 für einen digitalen Verstärker konfiguriert ist.

[0043] Die Steuereinheit 120 ist insbesondere ausgebildet, das zu einem Taktzeitpunkt durch den Pulsformer 110 zu erzeugende Bitmuster zumindest unter Verwendung der Amplitude entsprechend dem vorbestimmten Verstärker zu bestimmen und den Pulsformer 110 entsprechend anzusteuern, so dass ein entsprechend dem bestimmten Bitmuster erzeugter Bitstrompuls für den Verstärker bezüglich zumindest einer der folgenden Verstärkerkenngrößen optimiert ist: Wirkungsgrad, Linearität, Detailtreue und Störabstand.

[0044] Im Ausführungsbeispiel der **Fig. 3** erfolgt dies unter Verwendung eines Speichers 150, in dem in einer Bitmüstertabelle 160 aus der Verstärkung der unterschiedlichen Bitmuster mit dem Verstärker resultierende Amplitudenwerte den unterschiedlichen Bitmustern und/oder zugehörigen Ansteuerbefehlen des Pulsformers 110 zugeordnet sind oder eine solche Zuordnung vorgesehen ist. Die Steuereinheit 120 ist im dargestellten Ausführungsbeispiel ausgebildet, je Takt des phasenmodulierten Trägersignals ein Bitmuster unter Verwendung der Bitmüstertabelle 160 und des jeweiligen Amplitudenwerts des Eingangssignals für den konkreten Betrieb mit einem digitalen Verstärker zu bestimmen.

[0045] Der Modulator ist so für einen jeweilig zusammen mit dem Modulator verwendeten digitalen Verstärker konfigurierbar beziehungsweise vorkonfiguriert. Die Konfigurierung ist jederzeit durch Aktualisierung der in der Bitmüstertabelle 160 hinterlegten Amplitudenwerte anhand tatsächlich aus der Verstärkung resultierenden Amplitudenwerten anpassbar.

[0046] Die Steuereinheit 120 muss nicht notwendigerweise extern getaktet werden und weist daher nur optional einen Takteingang auf.

[0047] In der **Fig. 4** ist ein Modulator 100 gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung gezeigt.

[0048] Zusätzlich zu der in **Fig. 3** gezeigten Steuereinheit 120 und dem Pulsformer 110 umfasst der Modulator 100 des zweiten Ausführungsbeispiels einen Amplitudenmodulator 170.

[0049] Der Amplitudenmodulator 170 umfasst einen Eingang 171, über den eine Amplitude des Eingangssignals der Steuereinheit zuführbar ist, und

einen Ausgang 172, der mit dem Eingang 122 der Steuereinheit 120 elektrisch verbunden ist, und an dem der Amplitudenmodulator 170 die Amplitude des Eingangssignals der Steuereinheit 120 kodiert zur Verfügung stellt, wobei die Steuereinheit 120 des zweiten Ausführungsbeispiels weiterhin ausgebildet ist, das kodierte Signal zur Bestimmung der zu erzeugenden Bitmuster zu verwenden.

[0050] Der Amplitudenmodulator 170 umfasst, insbesondere in einer beispielhaften Weiterbildung, einen Rückkopplungseingang 173 und die Steuereinheit 120 einen Amplitudenausgang 123, der mit dem Rückkopplungseingang 173 elektrisch verbunden ist, und an dem die Steuereinheit 120 eine resultierende Amplitude ausgibt. Der Amplitudenmodulator 170 verwendet die zurückgekoppelte resultierende Amplitude für die Kodierung.

[0051] Der Amplitudenmodulator ist beispielsweise ein Delta-Sigma-Modulator erster oder höherer Ordnung, so dass die Rückkopplung eine Negativrückkopplung darstellt.

[0052] Da die resultierende Amplitude in der Steuereinheit bereits hinterlegt ist, kann diese frühzeitig rückgekoppelt werden. Dadurch wird ein Aufschwingen, wie es bei Verwendung des zurückgemessenen tatsächlichen Verstärkerausgangs auftritt, des Amplitudenmodulators 170 zuverlässig verhindert.

[0053] Der Amplitudenmodulator 170 umfasst insbesondere in einer anderen beispielhaften Weiterbildung einen Takteingang 174, an den eine Taktfrequenz des Trägersignals anlegbar ist. Der Amplitudenmodulator 170 ist in dieser Weiterbildung weiterhin ausgebildet, die Amplitude unter Verwendung der Taktfrequenz zu kodieren.

[0054] Im Ausführungsbeispiel aus **Fig. 4** umfasst der Block 120 keinen Takteingang. In einem anderen Ausführungsbeispiel umfasst der Block 120 jedoch einen Takteingang, der beispielsweise mit einem Takt der aus dem Amplitudenmodulator 170 kommt, beaufschlagt ist.

[0055] In der **Fig. 5** ist ein Modulator 100 gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel der Erfindung gezeigt.

[0056] Zusätzlich zu der in **Fig. 3** gezeigten Steuereinheit 120 und dem Pulsformer 110 umfasst der Modulator 100 des dritten Ausführungsbeispiels eine Eingangsstufe 180.

[0057] Die Eingangsstufe 180 umfasst drei Eingänge 181, 182, 183 und zwei Ausgänge 184, 185. An zwei der Eingänge 181, 182 können I- und Q-Komponenten einer komplexwertigen Repräsentation des Eingangssignals angelegt werden. An

den dritten Eingang 183 ist das Trägersignal mit der Taktfrequenz anlegbar. Liegen I- und Q-Komponenten und Trägersignal an, so ist am Ausgang 184 das mit der Phase des Eingangssignals verschobene Trägersignal und am Ausgang 185 ein Einhüllendensignal abnehmbar, welches die Amplitude des Eingangssignals repräsentiert.

[0058] Ausgang 185 ist im dritten Ausführungsbeispiel mit dem Eingang 122 elektrisch verbunden und Ausgang 184 ist mit dem Takteingang 112 elektrisch verbunden.

[0059] Der erfindungsgemäße Modulator 100 nimmt im dritten Ausführungsbeispiel das zu verstärkende Signal als komplexwertiges Eingangssignal in Inphase/Quadraturkomponentendarstellung (I und Q) sowie eine Repräsentation des gewünschten Trägersignals, beispielsweise eine Sinusschwingung mit einer Taktfrequenz, entgegen. In der Eingangsstufe 180 wird aus diesen Daten die Amplitudeninformation der Einhüllenden ermittelt. Zusätzlich wird die Phaseninformation des Eingangssignals benutzt, um das Trägersignal in der Phase zu modulieren.

[0060] In der **Fig. 6** ist ein Modulator 100 gemäß einem vierten Ausführungsbeispiel der Erfindung gezeigt.

[0061] Zusätzlich zu der in **Fig. 3** gezeigten Steuereinheit 120 und dem Pulsformer 110 umfasst der Modulator 100 des vierten Ausführungsbeispiels den Amplitudenmodulator 170 und die Eingangsstufe 180.

[0062] Ausgang 185 ist im vierten Ausführungsbeispiel mit dem Eingang 171 elektrisch verbunden und Ausgang 184 ist mit dem Takteingang 112 und mit dem Takteingang 174 elektrisch verbunden. Die elektrischen Verbindungen zwischen Amplitudenmodulator 170 und Steuereinheit 120 entsprechen denen des zweiten Ausführungsbeispiels.

[0063] **Fig. 7** zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel für einen Pulsformer 110, wie er in Ausführungsbeispielen der Erfindung Verwendung finden kann.

[0064] Der Pulsformer 110 umfasst einen m-fach Überabtaster (Frequenzmultiplizierer) der das am Takteingang 112 anliegende Signal m-fach überabtastet und so auf m-fache Frequenz anhebt, wobei m eine Zahl größer oder gleich Eins ist, und einen Bitstrom-Serialisierer 210. Unter Zuhilfenahme dieses neuen, schnelleren, Taktes wandelt der Bitstrom-Serialisierer 210 die ausgewählte Wellenformrepräsentation aus der Tabelle in einen Bitstrom. Das Bitmuster, mit der Bits des Bitstroms durch den Bitstrom-Serialisierer 210 erzeugt werden, wird unter Verwendung des jeweiligen Ansteuerbefehls am Steuereingang 111 von einer Auswahleinheit 250 (Selektor)

bestimmt und an den Bitstrom-Serialisierer 210 weitergegeben. Der Pulsformer 110 umfasst im dargestellten Beispiel weiterhin eine steuerbare Verzögerungsleitung 220, über die der Bitstrom entsprechend einer durch den Selektor 250 bestimmten Phaseninformation, die an die steuerbare Verzögerungsleitung 220 weitergegeben wird, verzögert werden kann.

[0065] Im ersten Ausführungsbeispiel des Pulsformers 110 erhält der Bitstrom-Serialisierer 210 direkt ein paralleles Datenwort (Bitmuster), das die in diesem Schritt zu serialisierenden Daten enthält.

[0066] Die steuerbare Verzögerungsleitung 220 erhält im ersten Ausführungsbeispiel des Pulsformers 110 direkt das Phasenlagesignal, welches die Phasenlage repräsentiert und somit beschreibt, wie stark der serielle Bitstrom aus dem Ausgang des Bitstrom-Serialisierers 210 verzögert werden soll.

[0067] **Fig. 8** zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel für einen Pulsformer 110, wie er in Ausführungsbeispielen der Erfindung Verwendung finden kann.

[0068] Im Unterschied zum ersten Ausführungsbeispiel wird im zweiten Ausführungsbeispiel das Phasenlagesignal nicht der steuerbaren Verzögerungsleitung 220, sondern einem zwischengeschalteten Phasensignalmodulator 230 zugeführt.

[0069] Der Phasensignalmodulator 230 kann beispielsweise ein Delta-Sigma-Modulator erster oder höherer Ordnung sein. **Fig. 12** zeigt beispielhaft einen Phasensignalmodulator 230, der ein Signal mittels eines Diskretisierers 235 diskretisiert und das diskretisierte Signal von einem eingehenden Phasenlagesignal abzieht. Dem Differenzsignal wird integriert und dem Diskretisierer 235 zugeführt. Das diskretisierte Signal steht auch an einem Ausgang des Phasensignalmodulators 230 zur Verfügung. Der Phasensignalmodulator 230 wandelt das Phasenlagesignal in ein weiteres, niedriger aufgelöstes Phasenlagesignal, welches eine gegenüber dem Phasenlagesignal eine geringere Auflösung hat.

[0070] Andere Modulatoren, die auch das Phasenlagesignal in ein weiteres, niedriger aufgelöstes Phasenlagesignal, welches eine gegenüber dem Phasenlagesignal eine geringere Auflösung hat, wandeln können, sind ebenfalls verwendbar. Dadurch wird es möglich, eine steuerbare Verzögerungsleitung 220 zu einzusetzen, die eine gröbere Auflösung besitzt als das Phasenlagesignal.

[0071] Wird die durch das weitere Phasenlagesignal vorgegebene Verzögerung so groß, dass sie eine Bitzeit des Bitstrom-Serialisierers überschreitet, kann es vorteilhaft sein, die Verzögerung ganz oder

teilweise durch den Bitstrom-Serialisierer zu realisieren.

[0072] In einem dritten Ausführungsbeispiel für einen Pulsformer 110, wie er in Ausführungsbeispielen der Erfindung Verwendung finden kann und in **Fig. 9** gezeigt ist, wird daher das weitere Phasenlagesignal vom Phasensignalmodulator 230 in einen ganzzahligen Anteil und einen Rest zerlegt. Der Verzögerungsanteil, der dem ganzzahligen Anteil des weiteren Phasenlagesignals entspricht, wird einer Bitschift-Einheit 240 zugeführt. Die Bitshift-Einheit 240 verschiebt das parallele Datenwort um eine dem ganzzahligen Anteil entsprechende Anzahl Bits. Das verschobene Datenwort wird dann dem Bitstrom-Serialisierer 210 zugeführt. Die steuerbare Verzögerungsleitung 220 bewirkt im dritten Ausführungsbeispiel lediglich eine Verzögerung, die dem Rest des weiteren Phasenlagesignals und damit maximal einer Bitzeit des Bitstrom-Serialisierers entspricht.

[0073] Der ganzzahlige Anteil des weiteren Phasenlagesignals hat eine noch größere Auflösung als das weitere Phasenlagesignal.

[0074] Der Rest des weiteren Phasenlagesignals hat die gleiche Auflösung wie das weitere Phasenlagesignal jedoch einen gegenüber dem zweiten Ausführungsbeispiel geringeren Wertebereich, da er kleiner der Bitzeit des Bitstrom-Serialisierers ist.

[0075] Tatsächlich kann in vielen Anwendungsfällen auf die durch den Rest bewirkte zusätzliche Verzögerung und damit auf die steuerbare Verzögerungsleitung 220 verzichtet werden, insbesondere, jedoch nicht nur, wenn der ganzzahlige Anteil des weiteren Phasenlagesignals mehreren Bitzeiten des Bitstrom-Serialisierers 210 entspricht. **Fig. 10** zeigt ein viertes Ausführungsbeispiel für einen Pulsformer 110, der keine steuerbare Verzögerungsleitung 220 umfasst und in Ausführungsbeispielen der Erfindung Verwendung finden kann.

[0076] Das weitere Phasenlagesignal wird im vierten Ausführungsbeispiel vom Phasensignalmodulator 230 auf ein ganzzahligfaches der Bitzeit des Bitstrom-Serialisierers 210 auf- beziehungsweise abgerundet. Das ganzzahlig gerundete Phasenlagesignal wird der Bitschift-Einheit 240 zugeführt. Die Bitshift-Einheit 240 verschiebt das parallele Datenwort um eine dem ganzzahlig gerundeten Phasenlagesignal entsprechende Anzahl Bits. Das verschobene Datenwort wird dann dem Bitstrom-Serialisierer 210 zugeführt.

[0077] **Fig. 11** zeigt ein Ausführungsbeispiel für eine Vorrichtung 300 gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung.

[0078] Die Vorrichtung 300 umfasst den erfindungsgemäßen Modulator 100 und einen digitalen Verstärker 400. Der Modulator 100 erzeugt dabei aus Amplitude und Phase eines Eingangssignals einen Bitstrom 130. Der Bitstrom 130 wird vom Verstärker 400 anschließend digital verstärkt. In der Steuereinheit des Modulators 100 sind in der Bitmustertabelle die aus den jeweiligen Bitmustern resultierenden Amplituden des digitalen Verstärkers 400 den Ansteuerbefehlen zugeordnet hinterlegt.

[0079] Im Ausführungsbeispiel der **Fig. 11** kann der Modulator 100 insbesondere gemäß einem der Ausführungsbeispiele aus den **Fig. 1 - Fig. 4** ausgebildet sein. Weiterhin kann im Ausführungsbeispiel der **Fig. 11** der Pulsformer 110 insbesondere gemäß einem der Ausführungsbeispiele aus den **Fig. 7 - Fig. 10** ausgebildet sein.

[0080] Der erfindungsgemäße Modulator kann sehr flexibel auf die jeweiligen Eigenschaften und Möglichkeiten des Verstärkers, des Pulsformers und/oder der weiteren Komponenten angepasst werden.

[0081] Für die Steuereinheit sind verschiedene Realisierungsvarianten denkbar:

In der einfachsten Variante wählt die Steuereinheit denjenigen Eintrag der Bitmustertabelle aus, dessen Amplitudenwert dem Eingangswert der Steuereinheit mit der geringsten Abweichung entspricht. In einer erweiterten Variante wäre es denkbar, dass die Steuereinheit nach festgelegten Regeln von dieser Methode abweicht, um ein vorteilhafteres Verhalten der Gesamtschaltung aus Modulator und Verstärker zu erreichen. So können beispielsweise Pulse ausgelassen werden (es wird ein Bitmustertabelleneintrag ausgewählt, der den Pulsformer anweist, keine Pulse auszugeben), um die Zustandswechsel im Verstärker zu minimieren und so die durch Umladungsverluste erzeugten Energieverluste zu verringern. Viele weitere Algorithmen, die bestimmte Parameter optimieren, sind denkbar.

[0082] Der Amplitudenmodulator kann als Delta-Sigma-Modulator erster Ordnung ausgelegt sein. Ein solcher Delta-Sigma-Modulator kann die Information der Steuereinheit, welches Bitmuster tatsächlich ausgewählt wurde, benutzen, um den Diskretisierungsfehler zu ermitteln und entsprechend reagieren. Die rauschformenden Eigenschaften des Delta-Sigma-Modulators können hier nutzbringend angewandt werden, um die Anforderungen an den Ausgangsfilter des Verstärkers zu verringern und die Signalqualität zu verbessern. In einer anderen Variation kann auch ein Delta-Sigma-Modulator höherer Ordnung oder ein gänzlich anderes Modulatorkonzept genutzt werden. Es ist ebenfalls denkbar, den Amplitudenmodulator ganz zu entfernen und der Steuer-

einheit direkt das Einhüllendensignal der Eingangsstufe zuzuführen.

[0083] Der Amplitudenmodulator und die Steuereinheit erzeugen für jede vollständige Schwingung des phasenmodulierten Trägersignals je eine Erzeugungsanweisung für den Pulsformer. Mit dem Takteilerblock am Takteingang der Modulationsstufe kann jedoch auch erreicht werden, dass nur alle d Schwingungen des Trägersignals eine Anweisung erzeugt wird. Die Einträge der Bitmüstertabelle enthalten dann Bitmuster, die jeweils d Takte lang sind. Dabei ist d eine natürliche Zahl größer oder gleich 1.

[0084] Der Modulator ist nicht auf digitale Verstärker mit nur einem (binären) Eingang beschränkt, es können ohne weiteres auch Verstärker mit mehreren Eingängen betrieben werden. Es ist lediglich die bitmusterbildende Einheit entsprechend zu erweitern bzw. zu vervielfältigen und die zusätzlichen Informationen in der Bitmüstertabelle zu speichern.

[0085] Der Modulator erlaubt es zudem, auf einfache Weise eine Korrektur der Parameter vorzunehmen, um die Linearität des Verbundes aus Modulator und Verstärker zu erhöhen. Hierzu können aus dem Ausgangssignal des Verstärkers (vor oder nach dem Bandpassfilter) für jedes in der Bitmüstertabelle gespeicherte Bitmuster die tatsächlich resultierende Amplitude sowie die tatsächliche Phasenlage ermittelt werden. Diese Werte können anschließend in die Bitmüstertabelle übernommen werden. Durch die nun besser zu den tatsächlichen Hardwareeigenschaften passenden Parameter wird eine Verbesserung des Ausgangssignals hinsichtlich seiner Linearität erreicht.

[0086] In einer weiteren Variante ist es möglich, die beschriebene Korrektur der Bitmüstertableneinträge nicht nur einmalig, sondern wiederholt durchzuführen. Da die Ermittlung der beschriebenen Werte auch anhand des eigentlichen Nutzsignals erfolgen kann, ist es möglich, diese Korrektur auch während des Betriebs durchzuführen. Das Ausgangssignal kann hierzu in Ausschnitten oder sogar durchgängig für diese Aufgabe herangezogen werden. Um abrupte Sprünge der Parameter beim Aktualisieren der Bitmüstertabelle zu vermeiden, kann es sinnvoll sein, die bisherigen Werte zu berücksichtigen und eine gedämpfte bzw. inkrementelle und/oder iterative Anpassung durchzuführen.

[0087] Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung umfasst ein Verfahren, mit dem ein Eingangssignal in eine Folge digitaler Pulse verwandelt werden kann, die geeignet sind, von einem digitalen Leistungsverstärker so verstärkt zu werden, dass aus den verstärkten Pulsen durch eine Bandpassfilterung das verstärkte Eingangssignal gewonnen werden kann.

[0088] In dem Ausführungsbeispiel existiert eine Bitmüstertabelle, in der geeignete Bitmuster zusammen mit ihren beiden wesentlichen Kriterien - resultierende Amplitude und resultierende Phasenlage des Sendesignals - gespeichert sind, die beliebig gewählt werden können.

[0089] Für jede Periode des phasenmodulierten Signals wird das kodierte Signal der Einhüllenden der Steuereinheit zugeführt, die daraus anhand bestimmter Regeln einen Eintrag aus der Bitmüstertabelle auswählt und entsprechende, in der Tabelle definierte Bitmuster im Bitstrom umsetzt.

[0090] Das Eingangssignal kann komplexwertig sein und/oder in Inphase/Quadraturkomponentendarstellung vorliegen.

[0091] Ein rauschformendes Modulationsverfahren, beispielsweise Delta-Sigma-Modulation, kann zur Amplitudenmodulation verwendet werden.

[0092] Die Einträge in der Bitmüstertabelle können während des Betriebs geändert werden.

[0093] Beispielsweise werden Einträge in der Bitmüstertabelle während des Betriebs automatisch so angepasst, dass die nichtlinearen Verzerrungen oder andere Eigenschaften des modulierten Signals optimiert werden.

[0094] In einem weiteren Ausführungsbeispiel nimmt der Pulsformer zusätzlich eine Phasenverschiebung vor.

[0095] In einem anderen Ausführungsbeispiel umfasst die Vorrichtung einen dem digitalen Verstärker nachgeordneten Bandpassfilter, der durch Breitbandfilterung das Ausgangssignal erzeugt. Die Steuereinheit ist dabei in einer beispielhaften Weiterbildung dieses Ausführungsbeispiels ausgebildet, die aus der digitalen Verstärkung und der Bandpassfilterung oder die lediglich aus der digitalen Verstärkung resultierende Amplitude zur Bestimmung der zu erzeugenden Amplitude zu verwenden. Zusätzlich kann die resultierende Phase Berücksichtigung finden.

[0096] Der Amplitudenmodulator ist beispielsweise ein Delta-Sigma-Modulator erster oder höherer Ordnung, der das Einhüllendensignal unter Verwendung des phasenmodulierten Trägersignals mittels einer Negativrückkopplung eines einem zuvor zur Verwendung bestimmten Bitmuster zugeordneten, resultierenden Amplitudenwerts kodiert. Die Kodierung kann dabei auf einer Takteilung des phasenmodulierten Trägersignals beruhen, die ein kodierte Signal in je d Takten des Ansteuersignals generiert, d ist eine natürliche Zahl größer oder gleich Eins. Die rauschformenden Eigenschaften eines Delta-Sigma-Modu-

lators verbessern durch die Rückkopplung die Signalqualität und ermöglichen durch verringerte Anforderungen Einsatz einer größeren Vielfalt von Bandpassfiltern.

[0097] Das phasenmodulierte Trägersignal ist wiederum beispielsweise durch eine Inphase/Quadraturkomponentendarstellung bereitgestellt, die ein komplexwertiges Eingangssignal unter Verwendung der Trägerfrequenz in das phasenmodulierte Trägersignal und ein Einhüllendensignal verwandelt.

[0098] Die Steuereinheit ist in einem ersten Ausführungsbeispiel auf einen vorbestimmten Pulsformer und einen vorbestimmten Verstärker festgelegt. Die Steuereinheit ist in einem zweiten Ausführungsbeispiel nur auf einen vorbestimmten Pulsformer an ein tatsächliches Verhalten des Verstärkers unter Verwendung des digitalen Ausgangssignals anpassbar, initial und/oder zu späteren Zeitpunkten. Beispielsweise durch Anpassen der Zuordnung unter Verwendung tatsächlich resultierender Amplituden. So kann der tatsächliche Wirkungsgrad und/oder die tatsächliche Linearität der Wandlung initial und/oder später, insbesondere auch wiederkehrend, verbessert, insbesondere optimiert, werden. Die Anpassung kann beispielsweise gedämpft, iterativ und/oder inkrementell erfolgen, um Parametersprünge durch die Anpassung zu vermeiden.

[0099] Die Steuereinheit ist ausgebildet, zu einem Amplitudenwert des Eingangssignals ein Bitmuster zu bestimmen und einen Pulsformer entsprechend anzusteuern, so dass dieser das bestimmte Bitmuster verwendet. Dies kann beispielsweise darauf beruhen, dass die Steuereinheit zu dem Amplitudenwert einen resultierenden Amplitudenwert in einer in einem Speicher gespeicherten Zuordnung von zumindest aus digitaler Verstärkung resultierenden Amplituden zu durch den Pulsformer verwendbaren Bitmustern bestimmt und den Pulsformer zur Verwendung des zugeordneten Bitmusters ansteuert. Beispielsweise kann der resultierende Amplitudenwert mit dem geringsten Abstand bestimmt und verwendet werden, gegebenenfalls zusammen mit einer weiterhin zugeordneten Phasenlage. Dabei kann der geringste Abstand in der gesamten Zuordnung oder in einer Teilmenge bestimmt werden, die ihrerseits beispielsweise durch zuvor bestimmte Bitmuster bestimmt ist. Die Zuordnung kann insbesondere einem oder mehreren resultierenden Amplitudenwerten einen Ansteuerbefehl für einen sogenannten Nullpuls zuordnen, wobei der Pulsformer ausgebildet sein kann, keinen Puls zu formen, wenn er mit diesem Ansteuerbefehl angesteuert wird.

[0100] Für digitale Implementierungen existieren rekonfigurierbare Bausteine, beispielsweise programmierbare Gatter-Anordnungen (FPGA) oder anwendungsspezifische Prozessoren wie anwen-

dungsspezifische integrierte Schaltkreise (ASICs), die eine schnelle Anpassung eines, einiger und/oder aller Parameter im Feld oder sogar im laufenden Betrieb ermöglichen. Kosten für kundenspezifische Anpassungen können so minimiert werden. Neue Anwendungen, die eine dynamische Anpassung der Parameter benötigen, werden ermöglicht.

[0101] Obwohl die Erfindung im Detail durch bevorzugte Ausführungsbeispiele näher illustriert und beschrieben wurde, so ist die Erfindung nicht durch die offenbarten Beispiele eingeschränkt und andere Variationen können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzbereich der Erfindung zu verlassen.

Patentansprüche

1. Modulator (100) für einen digitalen Verstärker (400), wobei der Modulator (100) umfasst: einen Pulsformer (110) und eine Steuereinheit (120) zur Steuerung des Pulsformers (110), wobei der Pulsformer (110) einen Takteingang (112), einen Steuereingang (111), einen m-fach Überabtaster und einen Bitstrom-Serialisierer (210) umfasst, wobei der Pulsformer (110) zur Wandlung eines an einem Eingang (122) der Steuereinheit (120) anliegenden Eingangssignals in einen für einen digitalen Verstärker konfigurierten Bitstrom (130) ausgebildet ist, der pro Takt eines am Takteingang (112) anliegenden Taktsignals einen Amplitudenwert des am Eingang (122) der Steuereinheit (120) anliegenden Eingangssignals kodiert, wobei der Pulsformer (110) einen jeweiligen Amplitudenwert des Eingangssignals mit unterschiedlichen Bitmustern repräsentieren kann und das jeweilig durch den Pulsformer (110) verwendete Bitmuster durch die Steuereinheit (120) anhand eines an den Steuereingang (111) des Pulsformers (110) angelegten entsprechenden, zugehörigen Ansteuerbefehls bestimmt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass in der Steuereinheit (120) eine Zuordnung (160) der Ansteuerbefehle zu zugehörigen, aus Verstärkung der zugehörigen Bitmuster mit dem digitalen Verstärker (400) resultierenden Amplitudenwerten hinterlegt ist und vorgesehen ist, dass die Steuereinheit (120) pro Takt einen Ansteuerbefehl anhand der Zuordnung (160) und des jeweiligen Amplitudenwerts des Eingangssignals auswählt und den Pulsformer (110) entsprechend ansteuert, so dass ein entsprechend dem bestimmten Bitmuster erzeugter Bitstrompuls für den digitalen Verstärker bezüglich zumindest einer der folgenden Verstärkerkenngrößen optimierend angepasst ist: Wirkungsgrad, Linearität, Detailtreue und Störabstand, wobei der m-fach Überabtaster ausgebildet ist, das am Takteingang (112) anliegende Taktsignal m-fach überabzutasten und so auf m-fache Frequenz anzuheben, wobei m eine Zahl gleich oder größer als Eins ist, und wobei der Bitstrom-Serialisierer (210) ausgebildet ist, das Ein-

gangssignal unter Zuhilfenahme des erhöhten Taktes in einen durch den ausgewählten Ansteuerbefehl bestimmten Bitstrom (130) zu wandeln.

einem der vorangehenden Ansprüche und den digitalen Verstärker (400) umfasst.

Es folgen 12 Seiten Zeichnungen

2. Modulator nach Anspruch 1, weiterhin umfassend einen Speicher (150), in dem die Zuordnung (160) der Ansteuerbefehle zu den resultierenden Amplitudenwerten gespeichert ist.

3. Modulator nach Anspruch 2, wobei die Steuereinheit (120) ausgebildet ist, mindestens einen zugeordneten, resultierenden Amplitudenwert mindestens einmal zu ändern.

4. Modulator nach Anspruch 2 oder 3, wobei sich zumindest einige der Bitmuster in der Zuordnung durch unterschiedliche Phasen unterscheiden.

5. Modulator nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Steuereinheit (120) ausgebildet ist, das zu erzeugende Bitmuster so zu bestimmen, dass ein Parameter, der von einer Reinheit des Spektrums, Filteranforderungen und/oder einem Verstärkerwirkungsgrad abhängt, optimiert ist.

6. Modulator nach einem der vorangehenden Ansprüche, weiterhin umfassend einen Amplitudenmodulator (170), wobei der Amplitudenmodulator (170) ausgebildet ist, den Amplitudenwert des Eingangssignals zu kodieren und der Steuereinheit (120) zur Verfügung zu stellen, wobei die Steuereinheit (120) weiterhin ausgebildet ist, das kodierte Signal zur Bestimmung der zu erzeugenden Bitmuster zu verwenden.

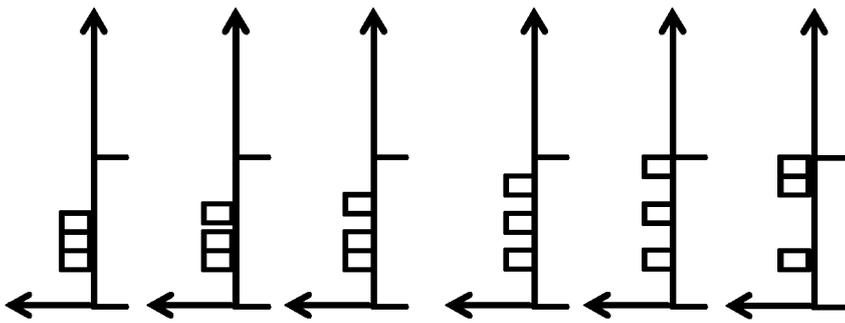
7. Modulator nach Anspruch 6, wobei der Amplitudenmodulator (170) ausgebildet ist, den Amplitudenwert des Eingangssignals unter Verwendung eines resultierenden Amplitudenwerts zu kodieren, der einem zuvor verwendeten Bitmuster zugeordnet ist.

8. Modulator nach Anspruch 6 oder 7, wobei der Amplitudenmodulator (170) ausgebildet ist, den Amplitudenwert unter Verwendung des mit der Phase modulierten Trägersignals zu kodieren.

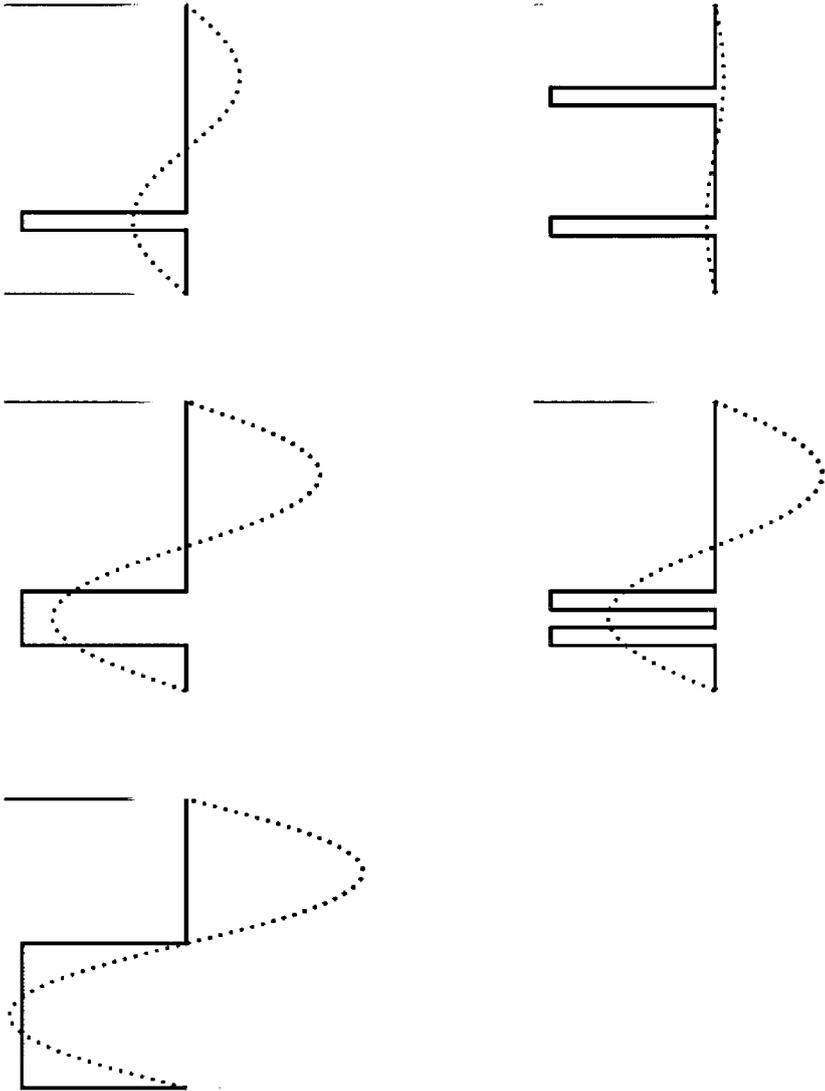
9. Modulator nach Anspruch 8, weiterhin umfassend eine Eingangsstufe (180), die ausgebildet ist, aus einer komplexwertigen Repräsentation des Eingangssignals und einem Trägersignal der Taktfrequenz das phasenmodulierte Trägersignal und ein den Amplitudenwert repräsentierendes Einhüllendensignal zu erzeugen und dem Amplitudenmodulator (170) zur Verfügung zu stellen.

10. Vorrichtung zur Wandlung eines Eingangssignals in ein digital verstärktes Signal, wobei die Vorrichtung (300) einen Modulator (100) nach

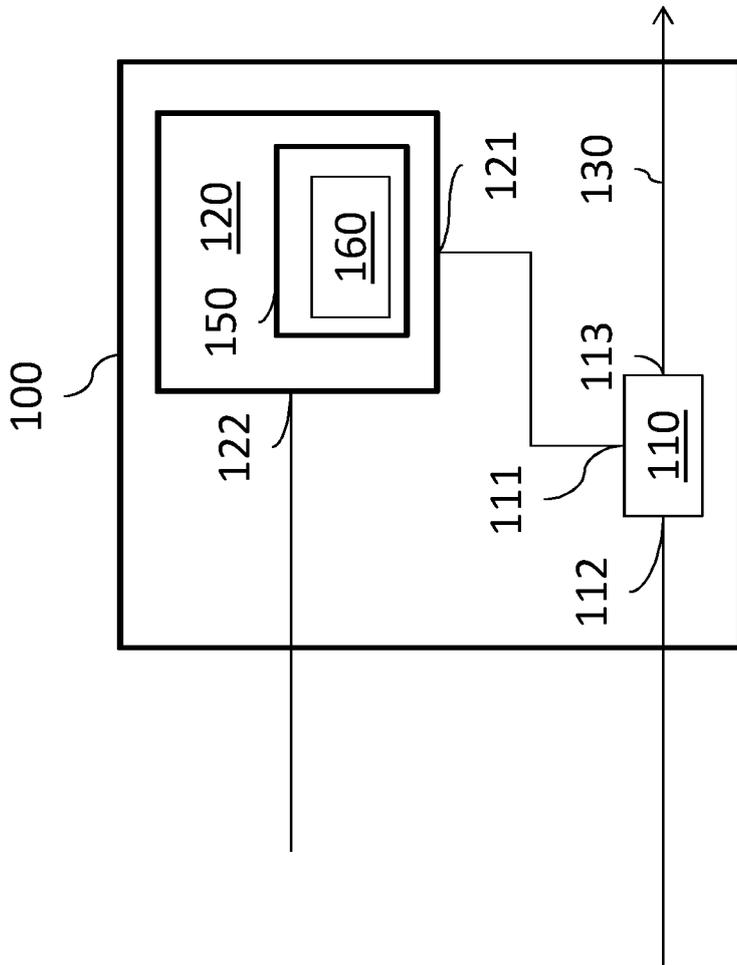
Anhängende Zeichnungen



Figur 1 – Stand der Technik



Figur 2 – Stand der Technik



Figur 3

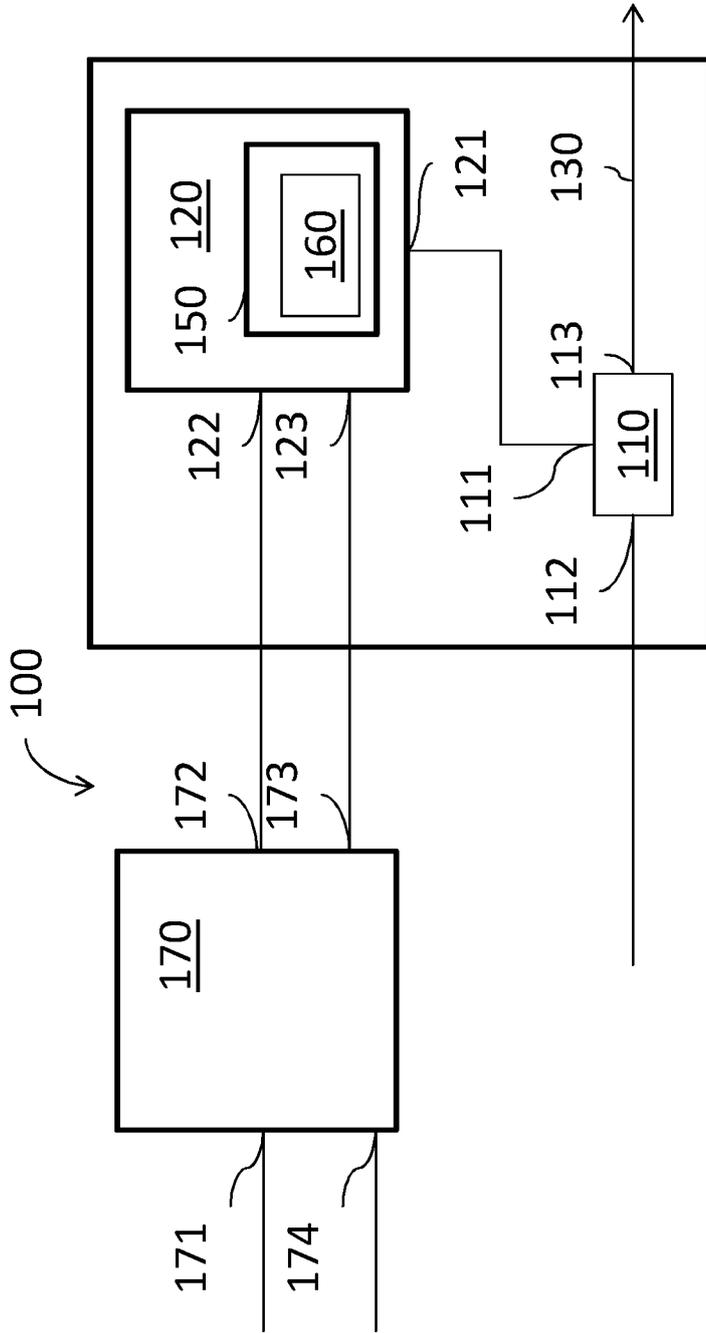


Figure 4

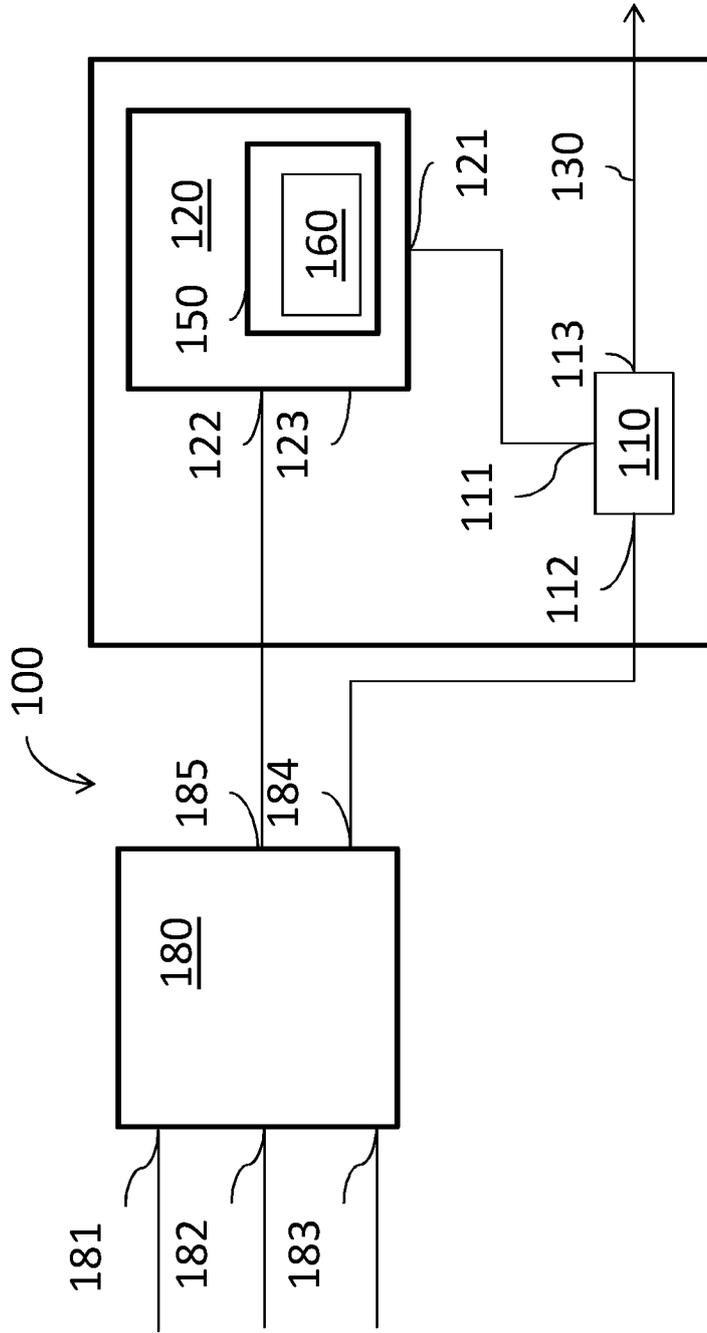


Figure 5

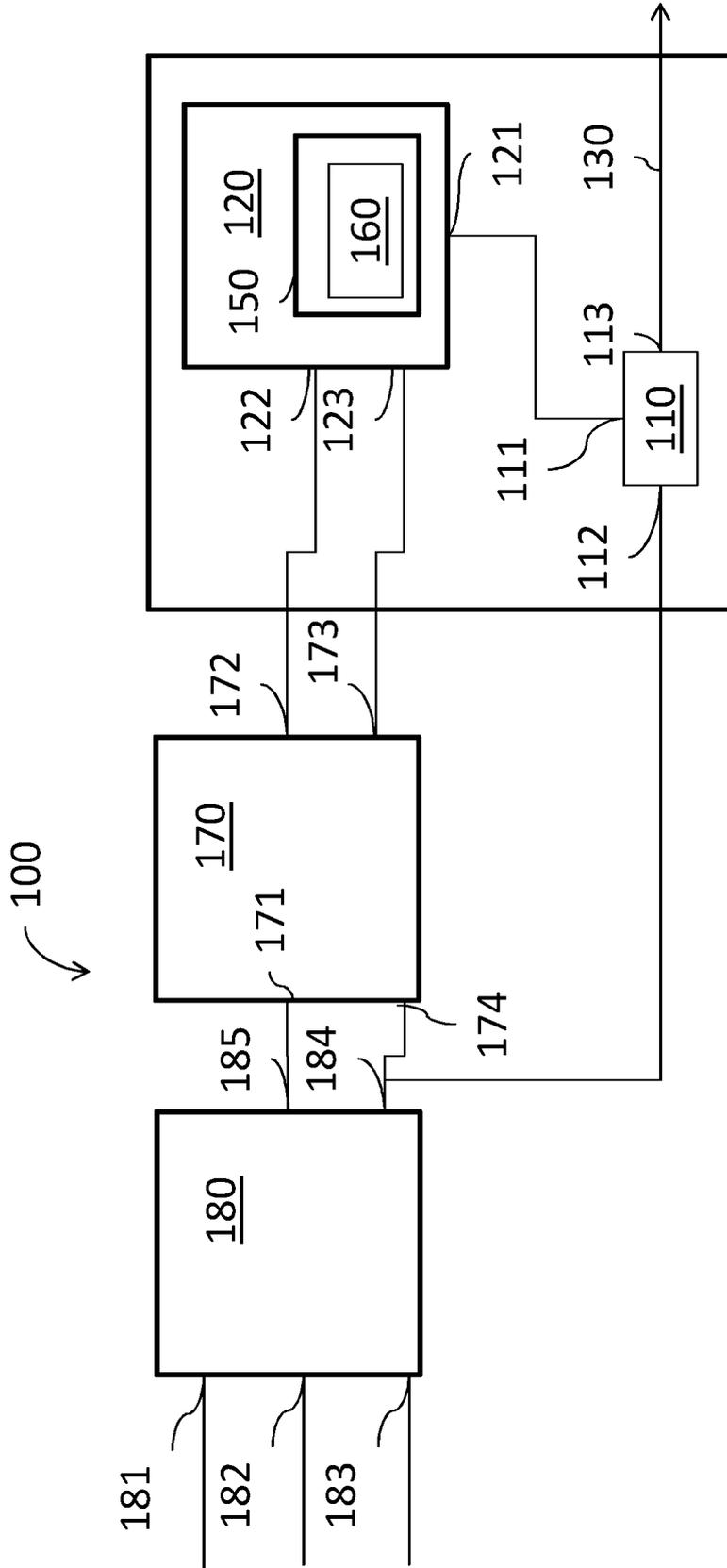


Figure 6

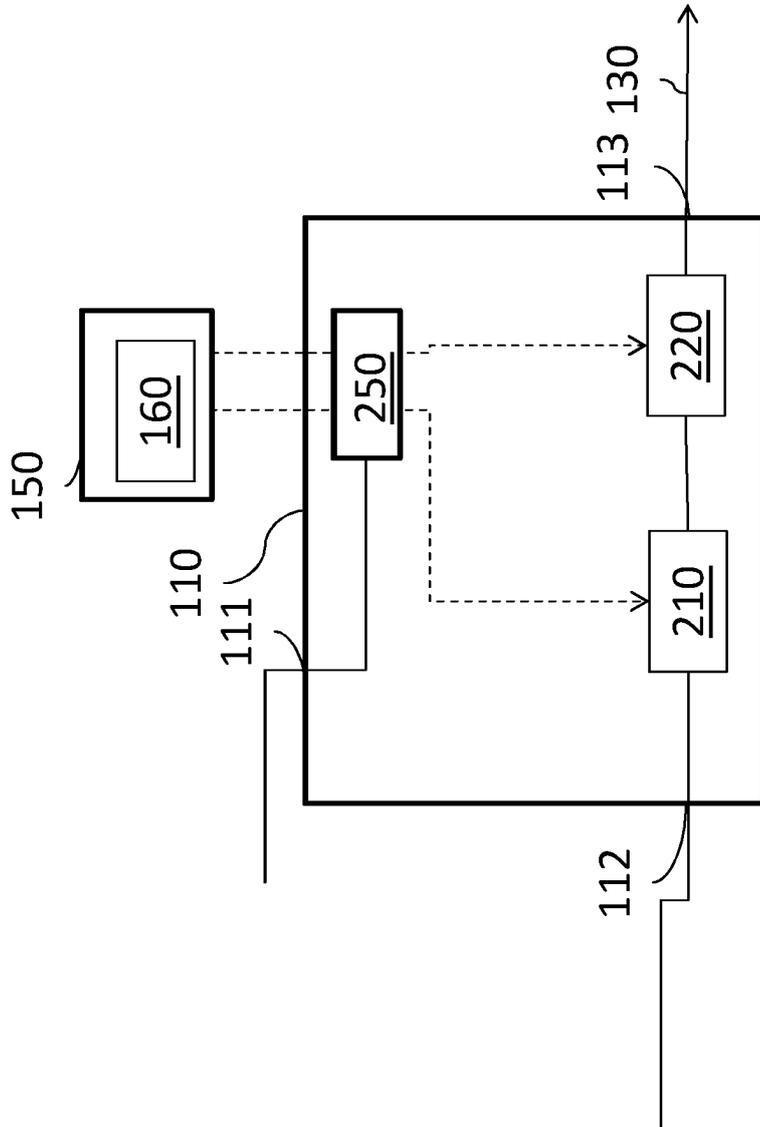


Figure 7

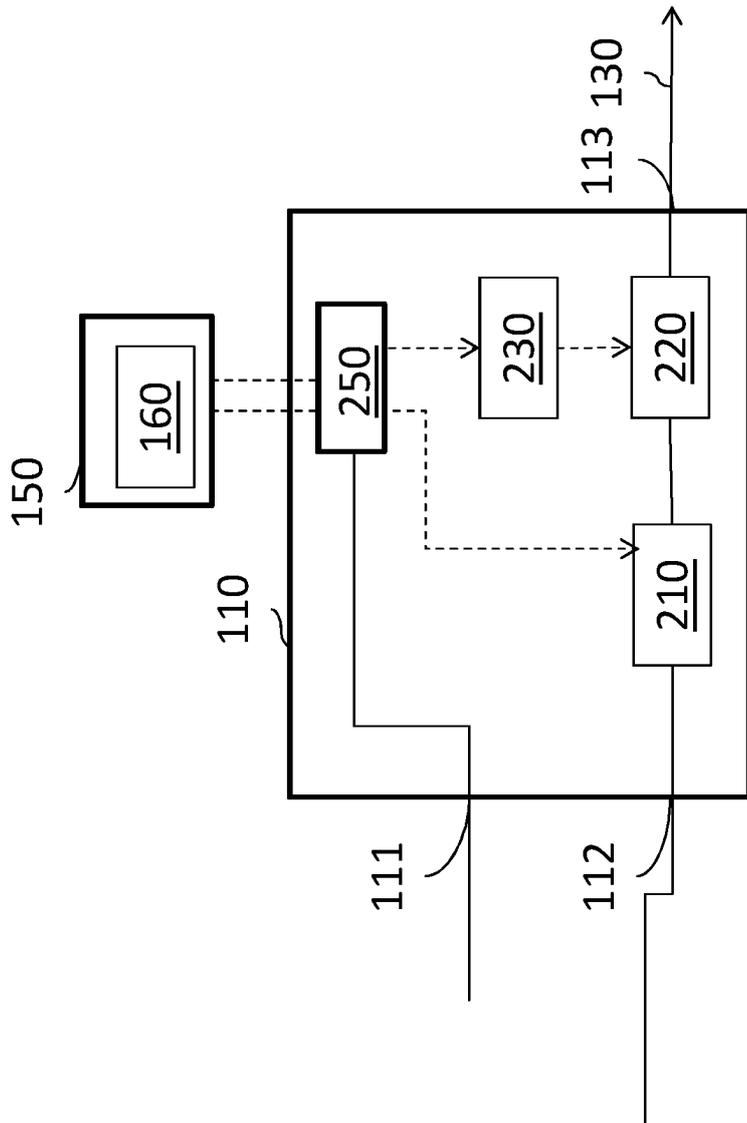


Figure 8

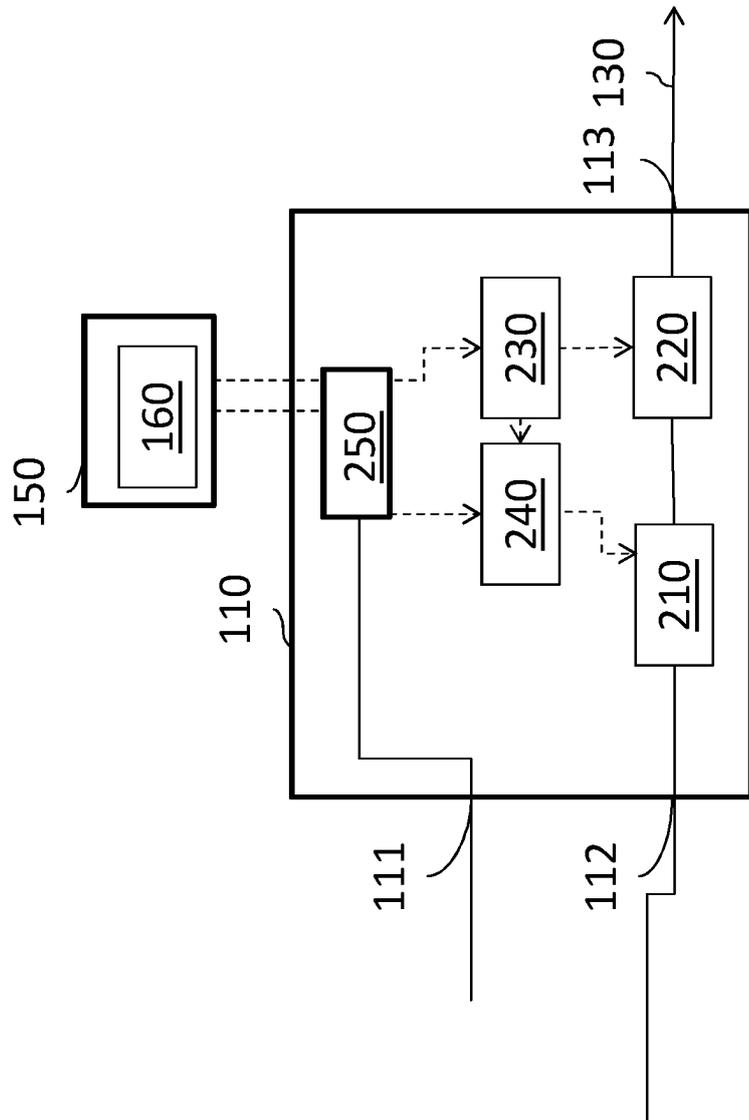


Figure 9

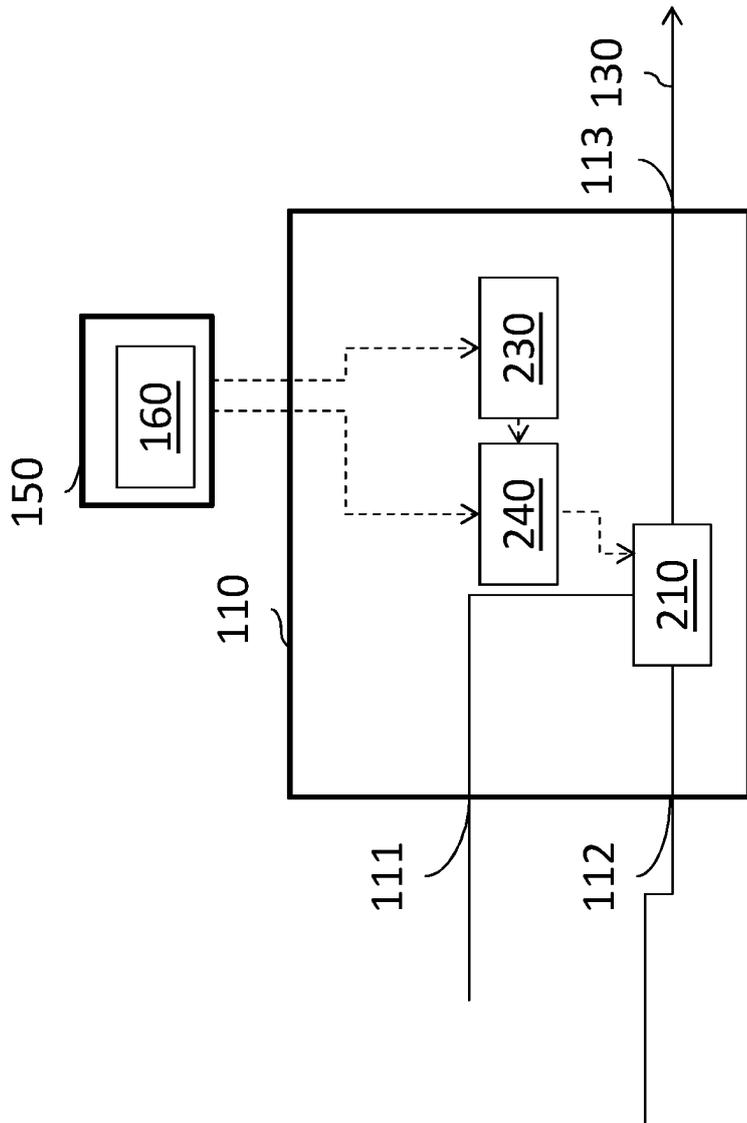
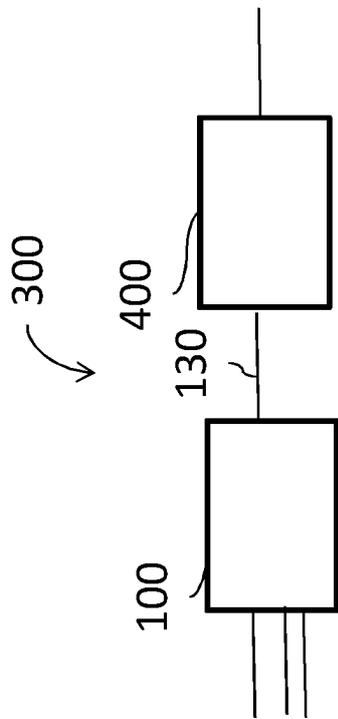
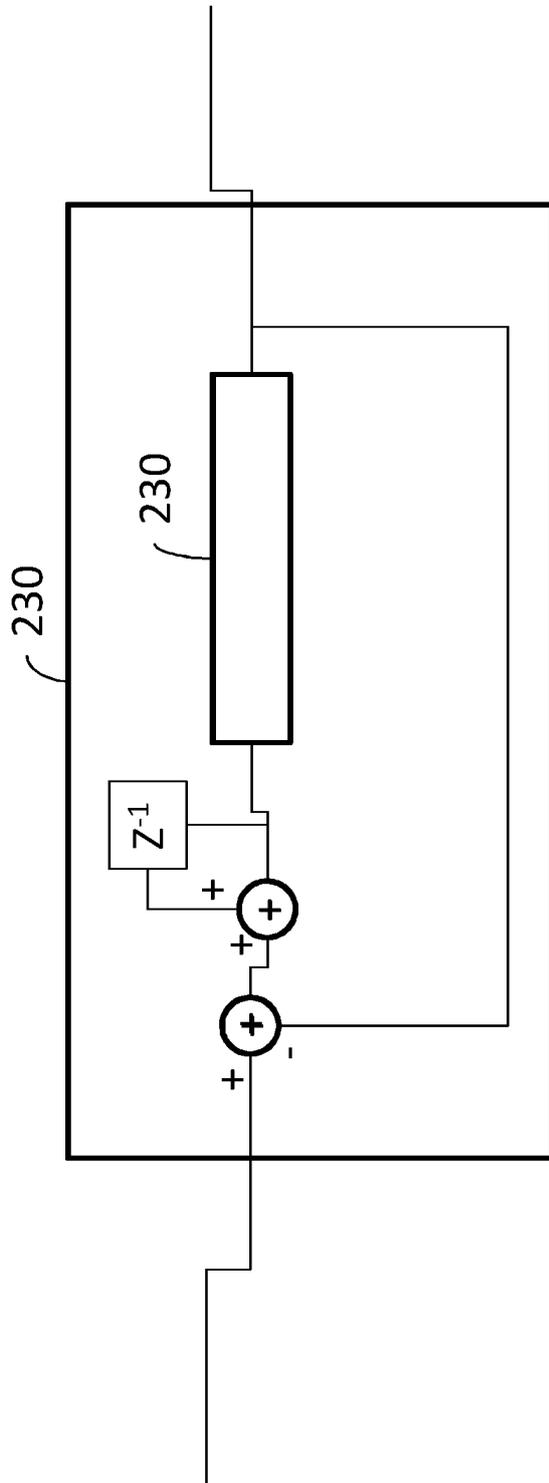


Figure 10



Figur 11



Figur 12