



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 602 03 672 T2 2006.03.02**

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 292 019 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **602 03 672.0**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **02 251 247.9**

(96) Europäischer Anmeldetag: **22.02.2002**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **12.03.2003**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **13.04.2005**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **02.03.2006**

(51) Int Cl.⁸: **H03F 1/32 (2006.01)**

(30) Unionspriorität:

928628 13.08.2001 US

(73) Patentinhaber:

Lucent Technologies Inc., Murray Hill, N.J., US

(74) Vertreter:

derzeit kein Vertreter bestellt

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB, IT

(72) Erfinder:

**Giardina, Charles Robert, Mahwah, US; Kim,
Jaehyeong, Pine Brook, US; Lai, Haobo, Keamy,
US**

(54) Bezeichnung: **Mehrstufiges und/oder verschachteltes Vorverzerrungssystem und Verfahren**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

1. Erfindungsgebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft die Kommunikation und insbesondere ein System und Verfahren zum Verringern von Verzerrung unter Verwendung von Vorverzerrung.

2. Stand der Technik

[0002] Ein idealer Leistungsverstärker verstärkt ein Eingangssignal ohne Wellenformveränderung. Der ideale Leistungsverstärker ist daher durch eine Übertragungsfunktion (Eingangssignal gegenüber Ausgangssignal) charakterisiert, die linear ohne Übertragungsfunktionssprünge ist. In der Praxis weist jedoch ein Leistungsverstärker eine Übertragungsfunktion mit nichtlinearen und "linearen" Bereichen auf. Ob der Leistungsverstärker in einem linearen oder nichtlinearen Gebiet arbeitet, hängt teilweise von der Amplitude des Eingangssignals ab. Damit der Leistungsverstärker so linear wie möglich arbeitet, ist er so ausgelegt, daß er bei dem gegebenen Bereich möglicher Eingangssignalamplituden innerhalb seines linearen Bereichs arbeitet. Wenn das Eingangssignal eine Amplitude aufweist, die bewirkt, daß der Leistungsverstärker außerhalb des linearen Bereichs arbeitet, werden durch den Leistungsverstärker nichtlineare Komponenten bzw. eine Verzerrung des Signals eingeführt. Wenn das Eingangssignal Spitzenamplituden besitzt, die bewirken, daß der Verstärker komprimiert, in Sättigung geht (keine nennenswerte Steigerung der Ausgangsamplitude bei einer Steigerung der Eingangsamplitude) oder abschaltet (keine nennenswerte Verringerung der Ausgangsamplitude bei einer Verringerung der Eingangsamplitude), wird das Ausgangssignal beschnitten oder nichtlinear verzerrt. Im allgemeinen ist ein Verstärker als eine Abschneideschwelle aufweisend charakterisiert, und Eingangssignale mit die Abschneideschwelle überschreitenden Amplituden werden am Verstärkerausgang abgeschnitten. Zusätzlich zum Verzerrern des Signals erzeugt das Abschneiden bzw. die nichtlineare Verzerrung des Eingangssignals ein spektrales Nachwachsen bzw. Nachbarkanalleistung (ACP – Adjacent Channel Power), die eine Nachbarfrequenz stören kann.

[0003] Bei drahtlosen Kommunikationssystemen wird gewöhnlich eine hohe Leistungsverstärkung von Signalen zur Übertragung angetroffen, mit sehr großen Spitze-Mittelwert-Leistungsverhältnissen (PAR – Peak to Average Power Ratio). Beispielsweise trägt in einem TDMA-System (Time Division Multiple Access) wie beispielsweise GSM (Global System for Mobile Communications) oder North American TDMA, wenn mehrere Trägersignale zur Verstärkung

mit einem Leistungsverstärker kombiniert werden, das sich ergebende PAR ungefähr 9–10 dB für eine große Anzahl von Trägern ist. Bei einem CDMA-System (Code Division Multiple Access) kann ein einziger belasteter 1,25-MHz-breiter Träger typischerweise ein PAR von 11,3 dB aufweisen. Für OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) können Mehrträgersignale ein PAR von bis zu 20 dB aufweisen. Diese Signale müssen ziemlich linear verstärkt werden, um die Erzeugung von ACP zu vermeiden.

[0004] Leider steht der Wirkungsgrad des Basisstationsverstärkers im umgekehrten Verhältnis zu seiner Linearität. Um einen hohen Grad Linearität zu erreichen, werden die Verstärker so vorgespannt, daß sie im A- oder "leichten" AB-Betrieb (einen AB-Betrieb, der dem A-Betrieb näher als dem B-Betrieb ist) arbeiten. Der maximale Wechselstrom-Gleichstrom-Wirkungsgrad, der für A-Betrieb erreichbar ist, ist 50%, während der eines AB-Verstärkers zwischen 50 und 78,5 liegt (wobei der letztere den maximalen Wirkungsgrad eines B-Verstärkers darstellt). Je näher der bestimmte AB-Betrieb dem A-Betrieb liegt, desto niedriger ist der maximale Wirkungsgrad.

[0005] Typischerweise wird durch die strengen Linearitätsanforderungen in modernen drahtlosen Kommunikationssystemen die Verwendung der relativ unwirksamen A- oder leichten AB-Betriebsarten diktiert. Als Ergebnis wird durch die Verstärker bedeutende Gleichstromleistung verbraucht, wodurch Hitze erzeugt wird, die unter Kontrolle gebracht werden muß, um eine Verschlechterung der Verstärkerleistung und -zuverlässigkeit zu vermeiden. Daher wird die Verwendung von aufwendigen Wärmesenken und Lüftern zu einem notwendigen Nebenprodukt des Systems mit hoher Linearität. Natürlich vermehren sich durch diese Maßnahmen die Kosten, die Größe und das Gewicht der Basisstationseinrichtung. Mit fortschreitendem Zuwachs der Anzahl von Benutzern drahtloser Kommunikation wächst auch die Anzahl von Basisstationen und die Notwendigkeit, sie klein, leicht und kostengünstig zu halten. So hat sich ein großer Teil der Forschung darauf konzentriert, den Verstärkerwirkungsgrad in diesen und anderen Systemen zu verbessern.

[0006] Es werden verschiedene Linearisierungsverfahren benutzt, um die Verwendung kostengünstiger und leistungseffizienter Verstärker zu ermöglichen und dabei ein annehmbares Maß an Linearität aufrechtzuerhalten. In modernen Verstärkern wird routinemäßig Vorwärtskorrektur eingesetzt, um die Linearität des Hauptverstärkers mit verschiedenen Eingangsmustern zu verbessern. Der wesentliche Bestandteil der Vorwärtskorrektur besteht darin, die vom Hauptverstärker erzeugte Verzerrung auf einem Vorwärtsweg zu isolieren. Die Verzerrung wird für einen Korrekturverstärker auf dem Vorwärtsweg bereitgestellt, der die Verzerrung verstärkt. Die Verzerrung

auf dem Vorwärtsweg wird mit der Verzerrung auf dem Hauptsignalweg kombiniert, um die Verzerrung auf dem Hauptsignalweg aufzuheben. Durch Vorverzerrungsverfahren wird das Eingangssignal vor der Verstärkung verzerrt, indem die Übertragungsfunktionseigenschaften für den Verstärker berücksichtigt werden. Das gewünschte verstärkte Signal wird damit durch absichtliches Verzerrern des Signals vor dem Verstärker aus dem vorverzerrten Eingangssignal erreicht, so daß die Nichtlinearität des Verstärkers kompensiert werden kann.

[0007] **Fig. 1** zeigt ein allgemeines Funktionsblockdiagramm eines adaptiven Leistungsverstärker-Vorverzerrungssystems **10**. Das digitale Basisband-Eingangssignal u_n auf einem Hauptsignalweg **12** wird in die Vorverzerrungsfunktion **14** ($A(\cdot)$) eingegeben, um eine vorverzerrte Ausgabe x_n zu erzeugen, wobei n der Zeitindex ist. Nach Digital-Analog-Wandlung durch den Digital-Analog-(D/A)-Wandler **16** wird das sich ergebende Analogsignal in einem Aufwärtsumsetzungsverfahren **18** in der Frequenz auf Hochfrequenz (HF) hochgemischt. Die HF-Analogsignale werden vom Leistungsverstärker **20** zur drahtlosen Übertragung unter Verwendung der Antenne **22** verstärkt. Ein Duplikat der verstärkten HF-Analogsignale wird vom Hauptsignalweg **12** auf einen Vorverzerrungs-Rückkopplungsweg **24** abgekoppelt. Die verstärkten HF-Analogsignale auf dem Vorverzerrungs-Rückkopplungsweg **24** werden durch ein Abwärtsumsetzungsverfahren **26** heruntergemischt.

[0008] Die heruntergemischten Analogsignale auf dem Vorverzerrungs-Rückkopplungsweg **24** werden für einen Analog-Digital-(A/D)-Wandler **28** zur Umwandlung in den digitalen Bereich bereitgestellt. Das sich ergebende Digitalsignal, das die Ausgabe des Verstärkers **20** darstellt, wird für einen Verstärkerkenndatenschätzblock **30** zusammen mit dem digitalen Basisbandsignal x_n bereitgestellt, das die entsprechende Eingabe in den Verstärker **20** darstellt. Mit den gegebenen Digitalsignalen x_n vor Verstärkung und den sich aus der Verstärkung der analogen und frequenzgewandelten Versionen der Digitalsignale x_n ergebenden Digitalsignalen y_n kann der Verstärkerkenndatenschätzblock **30** die Kenndaten- oder Modellfunktion des Verstärkers **20** bestimmen. Sobald die Modell- oder Kenndatenfunktion des Verstärkers **20** geschätzt ist, wird durch ein Vorverzerrungsberechnungsverfahren **34** die Vorverzerrungsfunktion als Kehrwert der Verstärkerkenndatenfunktion bestimmt und die an das Eingangssignal u_n angelegte Vorverzerrungsfunktion **14** ($A(\cdot)$) wird auf Grundlage des Vorverzerrungsberechnungsverfahrens **34** aktualisiert.

[0009] **Fig. 2** ist ein allgemeines Blockdiagramm für ein adaptives digitales Verzerrungssystem. Ein Verstärker **40** ist durch eine Basisbandfunktion $B(\cdot)$ mit komplexen Eingängen und komplexen Ausgängen

gekennzeichnet. Es gibt viele Verfahren für adaptive digitale Vorverzerrung, die im allgemeinen wie oben erwähnt in zwei Schritte eingeteilt sind. Als erstes bestimmt ein Verstärker Kenndatenschätzblock **42** die Kenndaten- oder Modellfunktion $B(\cdot)$ des Verstärkers **20**, wo richtige Modellierung und Parameterschätzung auf Grundlage der Modellfunktion benötigt wird. Unter Verwendung von Eingangssignalwerten x_n und entsprechenden verstärkten Ausgangssignalwerten y_n wird das Modell vom Verstärkercharakterisierungsschätzblock **34** über Zeit für den Verstärker **40** angepaßt. Als zweites bestimmt das Vorverzerrungsberechnungsverfahren **44** die Vorverzerrungsfunktion als Kehrwert der Modellfunktion $B(\cdot)$ und aktualisiert die an das digitale Eingangssignal u_n angelegte Vorverzerrungsfunktion **46**.

[0010] Im allgemeinen ist die Ausgabe y_n des Verstärkers **40** eine Funktion von Eingangssignalwerten $\{x_n, x_{n-1}, x_{n-2} \dots\}$ und vorherigen Ausgangssignalwerten $\{y_n, y_{n-1}, y_{n-2} \dots\}$. b sei der Vektor von Koeffizienten für $B(\cdot)$, dann erhält die Schätzung der Verstärkerkenndaten b aus der folgenden Gleichung:

$$b = \arg \min E[|B(x_n, x_{n-1}, x_{n-2} \dots, y_{n-1}, y_{n-2}, \dots) - y_n|^2],$$

wobei $E[\cdot]$ Erwartungswert bedeutet und $\arg \min f(\cdot)$ die Argumente der Funktion $f(\cdot)$ bedeutet, die $f(\cdot)$ zu einem Minimum machen. Anders gesagt ist b der Vektor von Koeffizienten, der die Leistung des Schätzfehlers $B(\cdot) - y_n$ minimiert. Die Vorverzerrungsfunktion $A(\cdot)$ wird durch Bestimmen der umgekehrten Funktion von $B(\cdot)$ erzeugt.

[0011] Aufgrund des Potentials für hohe Spitzenleistungen in drahtlosen Kommunikationssignalen werden von CDMA-, TDMA- und FDMA-Basisstationen (Frequency Division Multiple Access) typischerweise Hochfrequenz-(HF-)Verstärker benutzt, die im AB-Betrieb arbeiten und mit einem hohen Strom vorgespannt sind, um diese Spitzenleistungen verarbeiten zu können. Der Wirkungsgrad dieser Verstärker beträgt typischerweise weniger als 10%. Dieser niedrige Wirkungsgrad führt zu höherem Stromverbrauch, geringerer Gesamtzuverlässigkeit und höheren Betriebstemperaturen. Dementsprechend besteht ein Erfordernis für eine wirkungsvollere Leistungsverstärkerarchitektur, mit der Signale mit möglicherweise hohen Spitzenleistungen linear verstärkt werden können.

[0012] In WO-A-00/70750 ist ein digitales Rundfunksystem mit einem Leistungsverstärker beschrieben, das ein Informationssignal auf einen Leistungspegel zum Erregen einer Antenne zur Abgabe eines Rundfunksignals verstärkt. Durch den Leistungsverstärker wird nichtlineare Verzerrung am Informationssignal verursacht. Durch die Verarbeitungsschaltungen werden lineare Verzerrungen am Informationssignal verursacht. Durch ein einzelnes gespeichertes

Filter wird ein Informationssignal vorverzerrt, um lineare Verzerrung von einem Leistungsverstärker und nichtlineare Verzerrung von Vorverstärkungs-Verarbeitungsschaltungen zu kompensieren. Lineare Verzerrung von Nachverstärkungs-Verarbeitungsschaltungen wird durch einen linearen Entzerrer kompensiert.

[0013] In US-A-6,211,733 ist eine Verstärkeranordnung zum Verstärken eines Eingangssignals unter Verwendung eines verzerrenden Hauptleistungsverstärkers beschrieben. Durch das Verfahren und die Vorrichtung wird dem Eingangssignal in den Hauptverstärker ein Vorverzerrungssignal hinzugefügt, das die durch den Hauptleistungsverstärker zugefügte Verzerrung kompensieren soll. Das Eingangssignal in die Vorverzerrungsschaltung wird durch Messen von Spitze-Spitze-Signalwerten der Verzerrung im Ausgangssignal des Hauptleistungsverstärkers abgeändert. Die Spitze-Spitze-Werte werden in einem Signal gemessen, das durch Vergleichen eines aus dem Hauptverstärker abgeleiteten Ausgangssignals mit einem aus dem Eingangssignal abgeleiteten Ausgangssignal abgeleitet wird. Durch einen digitalgesteuerten Prozessor werden verschiedene Phasen- und Verstärkungsregler iterativ abgeändert, um das Ausgangssignal des Verstärkers einzustellen.

[0014] In US-A-5 483 681 ist eine Vorrichtung zum Kompensieren der Phasendrehung in der Rückkopplungsschleife eines kartesischen Rückkopplungsleistungsverstärkers in einer Sender-Endstufe zur Quadraturmodulation des komplexen Differenzsignals zwischen einem komplexen Eingangssignal und dem entsprechenden komplexen Rückkopplungssignal mit einem komplexen Modulationssignal zum Bilden eines modulierten realwertigen ersten Signals und zur Quadraturmodulation des Ausgangssignals aus dem Leistungsverstärker mit einem komplexen Demodulationssignal zum Bilden des komplexen Rückkopplungssignals. Die Phasenverschiebung zwischen dem ersten Signal und dem zweiten Signal und zwischen der Quadraturkomponente des ersten Signals und des zweiten Signals wird detektiert, um die Phasendrehung der Rückkopplungsschleife zu bestimmen. Weiterhin kann die Phasendrehung des komplexen Modulationssignals mit einer durch die bestimmte Phasendrehung definierten kompensierenden Phasendrehung geändert werden.

Kurze Beschreibung der Erfindung

[0015] Ein Verfahren und System gemäß der Erfindung entsprechend den unabhängigen Ansprüchen. Bevorzugte Ausführungsformen entsprechen den abhängigen Ansprüchen.

[0016] Die vorliegende Erfindung ist ein mehrstufiges und/oder verschachteltes Vorverzerrungssystem und -verfahren unter Verwendung einer inneren Vor-

verzerrungsfunktion zum Einstellen eines in eine Verzerrungserzeugungsschaltung eingegebenen Signals und mindestens einer äußeren Vorverzerrungsfunktion zum Einstellen des in die innere Vorverzerrungsfunktion eingegebenen Signals. So kann die innere Vorverzerrungsfunktion die Verzerrung von der die Verzerrung erzeugenden Schaltung verringern, und jede verbleibende Verzerrung kann durch die äußere Vorverzerrungsfunktion verringert werden. Beispielsweise umfaßt in einem adaptiven Vorverzerrungssystem, wo die die Verzerrung erzeugende Schaltung ein Verstärker ist, eine innere Vorverzerrungsschleife eine innere Vorverzerrungsfunktion, die das Signal auf dem Hauptsignalweg vor dem Verstärker verzerrt. Die innere Vorverzerrungsfunktion kann unter Verwendung einer Ausgabe der inneren Vorverzerrungsfunktion und einer Ausgabe des Verstärkers erzeugt werden. Eine äußere Vorverzerrungsschleife umfaßt eine äußere Vorverzerrungsfunktion, die das Eingangssignal vor der inneren Vorverzerrungsfunktion verzerrt. Die äußere Vorverzerrungsfunktion kann unter Verwendung einer Ausgabe zu der äußeren Vorverzerrungsfunktion und die Ausgabe zu der inneren Vorverzerrungsfunktion bestimmt werden. Das Signal auf dem Signalweg wird damit in mehreren Stufen vor dem Verstärker vorverzerrt, um die durch die Verstärkung des Signals erzeugte Verzerrung zu kompensieren, und das sich ergebende verstärkte Signal wird mit verringerter Verzerrung erzeugt.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0017] Weitere Aspekte und Vorteile der vorliegenden Erfindung mögen bei dem Lesen der nachfolgenden ausführlichen Beschreibung und Bezugnahme auf die Zeichnungen offenbar werden. In den Zeichnungen zeigt:

[0018] [Fig. 1](#) ein allgemeines Funktionsblockdiagramm eines typischen adaptiven Leistungsverstärker-Vorverzerrungssystems;

[0019] [Fig. 2](#) ein allgemeines Modell eines adaptiven Leistungsverstärker-Vorverzerrungssystems; und

[0020] [Fig. 3](#) ein allgemeines Funktionsblockdiagramm für verschachtelte Vorverzerrungsschaltungen gemäß den Grundsätzen der vorliegenden Erfindung.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG

[0021] Eine beispielhafte Ausführungsform eines adaptiven Vorverzerrungssystems und -verfahrens gemäß den Grundsätzen der vorliegenden Erfindung wird unten beschrieben, das verschachtelte Vorverzerrungsschleifen benutzt. [Fig. 3](#) zeigt ein verschachteltes Vorverzerrungssystem **60** mit einer in-

neren Vorverzerrungsschleife **62** einschließlich einer im Block **63** implementierten inneren Vorverzerrungsfunktion ($A_{in}(\cdot)$) zum Verzerrern eines Signals v_n und Erzeugen eines vorverzerrten Signals x_n zu einer eine Verzerrung erzeugenden Schaltung ($B(\cdot)$) wie beispielsweise einem Verstärker **64**. Innerhalb der inneren Schleife **62** dieser Ausführungsform wird die Ausgabe y_n des Verstärkers **64** und die Ausgabe x_n des inneren Vorverzerrungsfunktionsblocks **63** durch einen inneren Vorverzerrungsschätzblock **66** dazu benutzt, die innere Vorverzerrungsfunktion $A_{in}(\cdot)$ zu erzeugen, beispielsweise durch Schätzen, Bestimmen, Kalibrieren und/oder Aktualisieren der inneren Vorverzerrungsfunktion ($A_{in}(\cdot)$).

[0022] Die verschachtelte Vorverzerrungsschaltung **60** enthält mindestens eine äußere Vorverzerrungsfunktionsschleife **68** einschließlich mindestens einer äußeren Vorverzerrungsfunktion $A_{out}(\cdot)$. In der in [Fig. 3](#) dargestellten Ausführungsform umfaßt die äußere Vorverzerrungsschleife **68** eine im Block **70** implementierte äußere Vorverzerrungsfunktion zum Verzerrern des Eingangssignals u_n vor der inneren Vorverzerrungsfunktion **63**, um ein vorverzerrtes Signal v_n zu erzeugen, das in die innere Vorverzerrungsschleife **62** eingegeben wird. Innerhalb der äußeren Vorverzerrungsschleife **68** dieser Ausführungsform wird die Ausgabe y_n der inneren Vorverzerrungsschleife **62** und die Ausgabe v_n der äußeren Vorverzerrungsfunktion **70** von dem äußeren Vorverzerrungsschätzblock **72** dazu benutzt, die äußere Vorverzerrungsfunktion $A_{out}(\cdot)$ zu erzeugen, beispielsweise durch Schätzen, Bestimmen, Kalibrieren und/oder Aktualisieren der äußeren Vorverzerrungsfunktion ($A_{out}(\cdot)$). So kann die innere Vorverzerrungsschleife **62** die Nichtlinearität des Verstärkers **64** verringern, und jegliche verbleibende Nichtlinearität kann durch die äußere Vorverzerrungsschleife **68** verringert werden.

[0023] In Abhängigkeit von der Ausführungsform können die inneren und/oder äußeren Vorverzerrungsfunktionen auf verschiedene Weise erzeugt werden. Beispielsweise kann die innere Vorverzerrungsfunktion **63** wie oben beschrieben durch den inneren Vorverzerrungsbestimmungsblock **66** dadurch erzeugt werden, daß zuerst die Kenndaten- oder Modellfunktion $B(\cdot)$ des Verstärkers **64** bestimmt wird. Unter Verwendung von Eingangssignalwerten x_n und entsprechenden verstärkten Ausgangssignalwerten y_n kann die Verstärkerkenndatenfunktion über Zeit angepaßt werden. Als nächstes kann die Vorverzerrungsfunktion als der Kehrwert der Modellfunktion $B(\cdot)$ erzeugt werden und die an das Signal v_n angelegte Vorverzerrungsfunktion **63** wird aktualisiert. Wie oben erwähnt ist die Ausgabe y_n des Verstärkers **64** eine Funktion von Eingangssignalwerten $\{x_n, x_{n-1}, x_{n-2}, \dots\}$ und vorherigen Ausgangssignalwerten $\{y_{n-1}, y_{n-2}, \dots\}$. b sei der Vektor von Koeffizienten für $B(\cdot)$, dann erhält die Schätzung der Verstärkerkenndaten b aus

der folgenden Gleichung:

$$b = \arg \min E[|B(x_n, x_{n-1}, x_{n-2}, \dots, y_{n-1}, y_{n-2}, \dots) - y_n|^2],$$

wobei $E[\cdot]$ Erwartungswert bedeutet und $\arg \min f(\cdot)$ die Argumente der Funktion $f(\cdot)$ bedeuten, die $f(\cdot)$ zu einem Minimum machen. Anders gesagt ist b der Vektor von Koeffizienten, der die Leistung des Schätzfehlers $B(\cdot)-y_n$ minimiert. Die innere Vorverzerrungsfunktion $A(\cdot)$ wird durch Bestimmen der umgekehrten Funktion von $B(\cdot)$ erhalten.

[0024] Die äußere Vorverzerrungsfunktion **70** kann wie oben beschrieben durch den äußeren Vorverzerrungsbestimmungsblock **72** erzeugt werden, indem zuerst die Kenndaten- oder Modellfunktion ($C(\cdot)$) der inneren Vorverzerrungsschleife **62** bestimmt wird. Unter Verwendung der Eingangssignalwerte v_n und entsprechenden verstärkten Ausgangssignalwerte y_n kann die Charakterisierungsfunktion für die innere Vorverzerrungsschleife **62** über Zeit angepaßt werden. Als nächstes kann die Vorverzerrungsfunktion als der Kehrwert der Modellfunktion für die innere Vorverzerrungsschleife **62** erzeugt werden und die an das Signal v_n angelegte Vorverzerrungsfunktion **70** wird aktualisiert. Die Ausgabe y_n der inneren Vorverzerrungsschleife **62** ist eine Funktion von Eingangssignalwerten $\{v_n, v_{n-1}, v_{n-2}, \dots\}$ und vorherigen Ausgangssignalwerten $\{y_{n-1}, y_{n-2}, \dots\}$. c sei der Vektor von Koeffizienten für die Kenndatenfunktion der inneren Vorverzerrungsschleife **62**, dann erhält die Schätzung der inneren Vorverzerrungsschleifenkenndaten c aus der folgenden Gleichung:

$$c = \arg \min E[|C(v_n, v_{n-1}, v_{n-2}, \dots, y_{n-1}, y_{n-2}, \dots) - y_n|^2],$$

wobei $E[\cdot]$ Erwartungswert bedeutet und $\arg \min f(\cdot)$ die Argumente der Funktion $f(\cdot)$ bedeutet, die $f(\cdot)$ zu einem Minimum machen. Anders gesagt ist c der Vektor von Koeffizienten, der die Leistung des Schätzfehlers $C(\cdot)-y_n$ minimiert. Die äußere Vorverzerrungsfunktion $A_{out}(\cdot)$ wird durch Bestimmen der umgekehrten Funktion von $C(\cdot)$ erhalten.

[0025] In alternativen Ausführungsformen können die innere und äußere Vorverzerrungsschleife **62** und **68** umfassende zusätzliche äußere Vorverzerrungsschleifen die umfaßten Vorverzerrungsschleifen für die Zwecke des Charakterisierens der umfaßten Vorverzerrungsschleifen und/oder Erzeugens der zusätzlichen äußeren Vorverzerrungsfunktionen als Verstärker behandeln, wie ein Fachmann mit Hilfe der vorliegenden Offenbarung verstehen würde.

[0026] In alternativen Ausführungsformen werden die in den Blöcken **63** und/oder **70** implementierten inneren und/oder äußeren Vorverzerrungsfunktionen durch direktes Schätzen der Vorverzerrungsfunktion unter Verwendung der Eingaben und Ausgaben des Verstärkers (bzw. umfaßten Vorverzerrungsschlei-

fe(n)) ohne Berechnung der Kenndatenfunktion des Verstärkers (bzw. umfaßten Vorverzerrungsschleife(n)) und ihres Kehrwerts bestimmt. Beispielsweise wird eine Folge von Eingangssignalen $\{v_n\}$ für die im Block **63** implementierte innere Vorverzerrungsfunktion ($A_{in}(\cdot)$) bereitgestellt, um das vorverzerrte Signal bzw. die Ausgabe der Vorverzerrungsfunktion $x_n = A0_{in}(v_n) + A1_{in}(v_{n-1}) + A2_{in}(v_{n-2}) \dots$ zu erzeugen. Die vorverzerrte Folge von Signalen $\{x_n\}$ wird für den Verstärker **64** zur Verstärkung bereitgestellt. Das verstärkte Signal wird als eine Folge $\{y_n\}$ von Signalen erzeugt, die dieselbe Wellenform wie das Eingangssignal $\{v_n\}$ aufweist, da $A_{in}(\cdot)$ und $B(\cdot)$ umgekehrte Funktionen sind. Da $A_{in}(\cdot)$ und $B(\cdot)$ umgekehrte Funktionen sind, können die Folgen $\{y_n\}$ und $\{x_n\}$ als Eingaben bzw. Ausgaben der Vorverzerrungsfunktion $A_{in}(\cdot)$ angesehen werden. Anstatt ein Modell $B(\cdot)$ für den Verstärker **64** zu bestimmen und dann eine umgekehrte Funktion $A_{in}(\cdot)$ aus dem Verstärkermodell $B(\cdot)$ zu berechnen, kann die innere Vorverzerrungsfunktion $A_{in}(\cdot)$ direkt am Vorverzerrungsfunktionsschätzblock **66** unter Verwendung der eigentlichen Ausgabe x_n der inneren Vorverzerrungsschaltungen bzw. des Blocks **63** und einer erwarteten Ausgabe des Vorverzerrungsblocks **63** geschätzt werden, die unter Verwendung einer Ausgabe y_n des Verstärkers **64** bestimmt werden kann. Bei dieser Ausführungsform kann die Vorverzerrungsfunktion $A_{in}(\cdot)$ wie in der nachfolgenden Gleichung beschrieben geschätzt werden. a sei der Vektor von Koeffizienten $A_{in}(\cdot)$, dann erhält die Schätzung der Vorverzerrungsfunktion a aus der folgenden Gleichung:

$$a = \arg \min E[|A_{in}(y_n, y_{n-1}, y_{n-2}, \dots, x_{n-1}, x_{n-2}, \dots) - x_n|^2].$$

[0027] Zum direkten Bestimmen der in Block **70** implementierten äußeren Vorverzerrungsfunktion $A_{out}(\cdot)$ kann die innere Schleife **62** als ein Verstärker mit einer Verstärkerkenndatenfunktion $C(\cdot)$ behandelt werden. Beispielsweise wird eine Folge von Eingangssignalen $\{u_n\}$ für die im Block **70** implementierte äußere Vorverzerrungsfunktion ($A_{out}(\cdot)$) bereitgestellt, um das vorverzerrte Signal bzw. die Ausgabe der Vorverzerrungsfunktion $v_n = A0_{out}(u_n) + A1_{out}(u_{n-1}) + A2_{out}(u_{n-2}) \dots$ zu erzeugen. Die vorverzerrte Folge von Signalen $\{v_n\}$ wird für die innere Schleife **62** zur Verstärkung bereitgestellt. Das verstärkte Signal wird als eine Folge $\{y_n\}$ von Signalen erzeugt, die dieselbe Wellenform wie das Eingangssignal $\{u_n\}$ aufweist, da $A_{out}(\cdot)$ und $C(\cdot)$ umgekehrte Funktionen sind. Da $A_{out}(\cdot)$ und $C(\cdot)$ umgekehrte Funktionen sind, sind die Folgen $\{y_n\}$ und $\{u_n\}$ Eingaben bzw. Ausgaben der Vorverzerrungsfunktion $A_{out}(\cdot)$. Anstatt ein Modell $C(\cdot)$ für die innere Schleife **62** zu bestimmen und dann eine umgekehrte Funktion aus dem Modell zu berechnen, kann die äußere Vorverzerrungsfunktion $A_{out}(\cdot)$ direkt am Vorverzerrungsfunktionsschätzblock **72** unter Verwendung der eigentlichen Ausgabe v_n der äußeren Vorverzerrungsschaltung bzw. des Blocks **70** und einer erwarteten Ausgabe des Vorverzerrungsblocks

70, die unter Verwendung einer Ausgabe y_n der inneren Schleife **62** bestimmt werden kann, geschätzt werden. Bei dieser Ausführungsform kann die äußere Vorverzerrungsfunktion $A_{out}(\cdot)$ wie in der nachfolgenden Gleichung beschrieben geschätzt werden. a sei ein Vektor von Koeffizienten für $A_{out}(\cdot)$, dann erhält die Schätzung der Vorverzerrungsfunktion a aus der folgenden Gleichung:

$$a = \arg \min E[|A_{out}(y_n, y_{n-1}, y_{n-2}, \dots, u_{n-1}, u_{n-2}, \dots) - u_n|^2].$$

[0028] Leistungsverstärker weisen in Abhängigkeit von Signalfrequenzspeichereigenschaften auf, wobei die Ausgabe des Verstärkers nicht nur eine Funktion des gegenwärtigen Eingangssignals, sondern auch die Funktion der vergangenen Eingangs- und Ausgangssignale ist. So wird bei dieser Ausführungsform das Vorverzerrungsmodell unter Verwendung eines gegenwärtigen und mindestens eines vergangenen Signalwerts erzeugt. Die Vorverzerrungsschaltung **60** enthält damit Schaltungen zum Aufbewahren aufeinanderfolgender zeitlich beabstandeter Signalwerte der verschiedenen Signale, und solche Schaltungen können Verzögerungen, Schieberegister, Puffer, Gatteranordnungen oder sonstige Formen von Speicherung oder Weisen zum Aufbewahren aufeinanderfolgender zeitlicher Signalwerte enthalten. Bei alternativen Ausführungsformen kann die Vorverzerrungsfunktion einfach auf einem gegenwärtigen Eingangssignal beruhen und dadurch speicherlose Vorverzerrung bereitstellen.

[0029] Wie ein Fachmann verstehen würde, gibt es viele Freiheitsgrade zum Wählen des Modells der Vorverzerrungsfunktion, beispielsweise unter Verwendung verschiedener Formen von polynomer Schätzung. Die Schätzung und Implementierung kann durch Wahl eines einfachen Vorverzerrungsmodells erleichtert werden. Wenn jedoch das Vorverzerrungsmodell zu allgemein gehalten wird, könnte die Schätzung und Implementierung schwierig sein. In Abhängigkeit von dem Vorverzerrungsmodell oder -funktion(en) kann die Vorverzerrungsschaltung **60** auf verschiedene Weisen implementiert werden. Beispielsweise können der(die) Vorverzerrungsfunktionsschätzblock(-blöcke) **66** und/oder **72** und/oder der(die) Vorverzerrungsfunktionsblock (-blöcke) **63** und/oder **70** mit Verarbeitungsschaltungen implementiert werden, die die Vorverzerrungsfunktion erzeugen und die Vorverzerrungsfunktion an das Eingangssignal anlegen, indem sie Phasen- und/oder Amplitudeneinstellungssignale für Amplituden- und/oder Phaseinsteller erzeugen, um das Eingangssignal zu verzerren. Als Alternative kann(können) der Vorverzerrungsfunktionsschätzblock(-blöcke) **66** und/oder **72** mit Verarbeitungsschaltungen implementiert werden, die die Vorverzerrungsfunktion erzeugen und den (die) Vorverzerrungsfunktionsblock(-blöcke) **63** und/oder **70** aktualisieren, der(die) die Vorverzerrungsfunktion an das Eingangssignal

anlegen. Der(die) Vorverzerrungsfunktionsblock(-blöcke) **63** und/oder **70** können unter Verwendung von Nachschlagetabellen wie beispielsweise feldprogrammierbaren Gatteranordnungs-Nachschlagetabellen implementiert werden, die durch die Verarbeitungsschaltungen aktualisiert werden können, die Phasen- und/oder Amplitudeneinstellungssignale für Amplituden- und/oder Phaseinsteller erzeugen, um das Eingangssignal auf Grundlage der Signalwerte zu verzerren. Kombinationen verschiedener Komponenten wie beispielsweise Mischer, Summierer und Nachschlagetabellen können dazu benutzt werden, die Vorverzerrungsfunktion an das vorzuverzerrende Signal anzulegen, wie der Fachmann es verstehen würde.

[0030] Zusätzlich zu der oben beschriebenen Ausführungsform sind alternative Konfigurationen des Vorverzerrungssystems gemäß den Grundsätzen der vorliegenden Erfindung möglich, die Komponenten weglassen und/oder hinzufügen und/oder Variationen oder Teile des beschriebenen Systems benutzen. Beispielsweise können mehr als zwei Vorverzerrungsfunktionen, -stufen und/oder -schleifen zum Vorverzerrern eines Signals vor einer Verzerrung erzeugenden Schaltung benutzt werden. Zusätzlich können die Vorverzerrungsschaltungen oder Teile derselben auf Basisband, Zwischenfrequenz (ZF) und/oder Hochfrequenz (HF) im Analogbereich und/oder Digitalbereich oder in anderen Verstärker- oder elektrischen Schaltungsanordnungen implementiert werden.

[0031] Die Ausführungsform des Vorverzerrungssystems ist im Zusammenhang mit einer adaptiven Vorverzerrungsarchitektur zum Verringern der am Ausgang eines Verstärkers erzeugten Verzerrung beschrieben worden, aber das Vorverzerrungssystem kann in einem mehrstufigen Vorverzerrungssystem unter Verwendung einzelner oder mehrfacher fester Vorverzerrungsfunktionen benutzt werden, um ein Signal zum Verringern der durch jegliche, eine Verzerrung erzeugende Schaltung erzeugte Verzerrung vorzuverzerren, das auf das Signal einwirkt. In Abhängigkeit von der Anwendung kann die Vorverzerrungsschaltung in oder zusätzlich zu einer Vorwärtskopplung oder sonstigen Linearisierungs- oder Wirkungsgrad-verbessernden Verfahren positioniert sein. Weiterhin können die inneren und äußeren Vorverzerrungsfunktionen unterschiedliche Modelle und unterschiedliche Vorverzerrungsfunktionsbestimmungs- und Implementierungsverfahren benutzen. Weiterhin kann als solches ein äußeres Vorverzerrungsverfahren um ein bestehendes Vorverzerrungsverfahren herum implementiert werden, um verbesserte Leistung zu bieten. Das beschriebene Vorverzerrungssystem benutzt eine bestimmte Konfiguration getrennter Funktionsblöcke, aber es versteht sich, daß das Vorverzerrungssystem und Teile desselben in anwendungsspezifischen integrierten Schaltungen,

softwaregesteuerter Bearbeitungsschaltung, Firmware, Hardware, diskreten Bauteilen oder Kombination(en) oder Teil(en) derselben implementiert werden können, wie es ein gewöhnlicher Fachmann mit Hilfe der vorliegenden Offenbarung verstehen würde.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Vorverzerrern eines Eingangssignals (u_n) mit folgenden Schritten:

Verwenden mindestens einer äußeren Vorverzerrungsfunktion (**70**) zum Einstellen des Eingangssignals (u_n) zum Erzeugen eines äußeren vorverzerrten Signals (v_n), das an eine innere Vorverzerrungsfunktion (**63**) anzulegen ist;

Verwenden der inneren Vorverzerrungsfunktion (**63**) zum Einstellen des äußeren vorverzerrten Signals (v_n) zum Erzeugen eines inneren vorverzerrten Signals (X_n), das an eine Verzerrungserzeugungsschaltung anzulegen ist; und

Erzeugen der äußeren Vorverzerrungsfunktion (**70**) unter Verwendung des äußeren vorverzerrten Signals (v_n) und einer Ausgabe (y_n) der Verzerrungserzeugungsschaltung;

GEKENNZEICHNET DURCH:

Erzeugen der inneren Vorverzerrungsfunktion (**63**) unter Verwendung des inneren vorverzerrten Signals (X_n) und der Ausgabe (y_n) der Verzerrungserzeugungsschaltung.

2. Verfahren nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch:

Verwenden eines Verstärkers als die Verzerrungserzeugungsschaltung (**64**).

3. Vorverzerrungssystem (**60**) mit Folgendem: einer Verzerrungserzeugungsschaltung (**64**); und Vorverzerrungsschaltungen (**63**, **66**, **70**, **72**) zur Verwendung von mindestens einer äußeren Vorverzerrungsfunktion (**70**) zum Einstellen eines Eingangssignals (u_n) zum Erzeugen eines äußeren vorverzerrten Signals (v_n), das an eine innere Vorverzerrungsfunktion (**63**) anzulegen ist; und zum Einstellen des äußeren vorverzerrten Signals (v_n) unter Verwendung der inneren Vorverzerrungsfunktion (**63**) zum Erzeugen eines inneren vorverzerrten Signals (X_n), das an die Verzerrungserzeugungsschaltung anzulegen ist; wobei die Vorverzerrungsschaltungen zum Erzeugen der äußeren Vorverzerrungsfunktion (**70**) unter Verwendung des äußeren vorverzerrten Signals (v_n) und einer Ausgabe (y_n) der Verzerrungserzeugungsschaltung (**64**) aufgebaut sind;

DADURCH GEKENNZEICHNET, DASS die Vorverzerrungsschaltungen zum Erzeugen der inneren Vorverzerrungsfunktion (**63**) unter Verwendung des inneren vorverzerrten Signals (X_n) und der Ausgabe (y_n) der Verzerrungserzeugungsschaltung aufgebaut sind.

4. System nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Verzerrungserzeugungsschaltung (64) ein Verstärker ist.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1
10

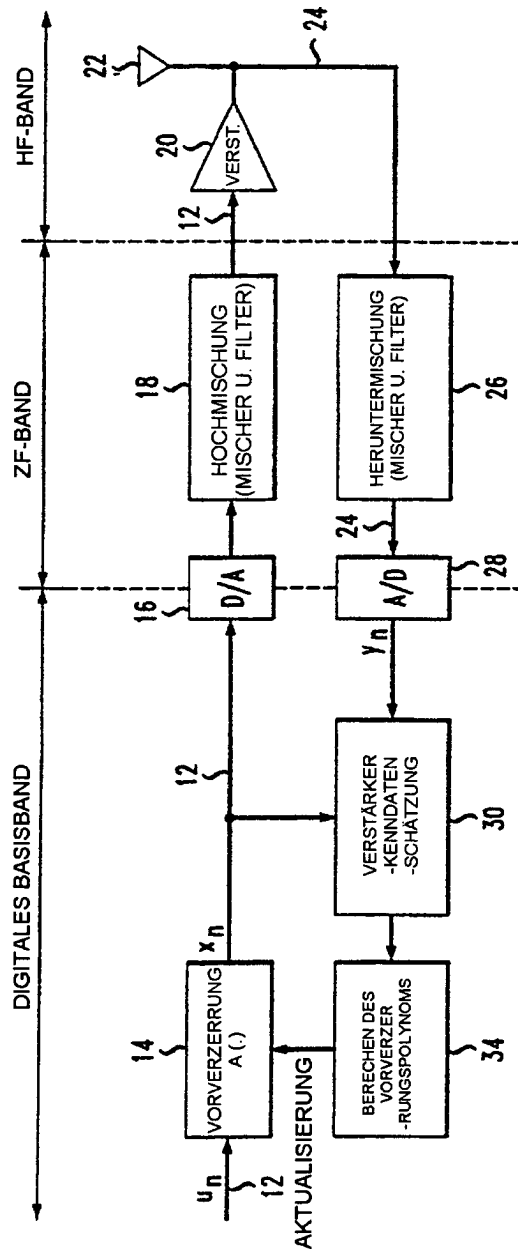


FIG. 2

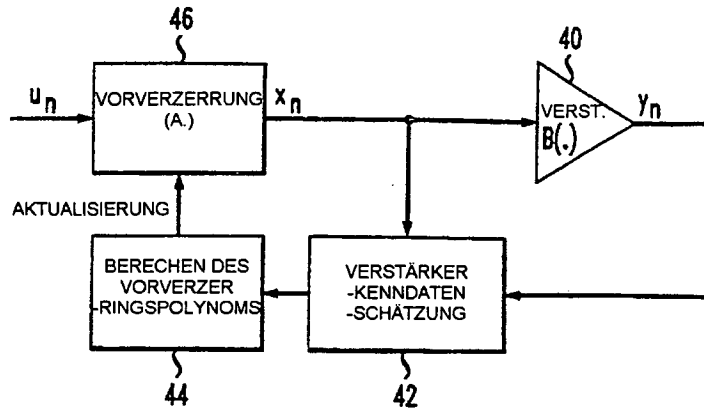


FIG. 3

