



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 23 513 T2** 2006.07.20

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 206 866 B1**

(51) Int Cl.⁸: **H04L 27/26** (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 23 513.0**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US00/23184**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 957 735.4**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2001/015402**

(86) PCT-Anmeldetag: **23.08.2000**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **01.03.2001**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **22.05.2002**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **26.10.2005**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **20.07.2006**

(30) Unionspriorität:
379780 24.08.1999 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,
LI, LU, MC, NL, PT, SE**

(73) Patentinhaber:
Ibiquity Digital Corp., Columbia, Md., US

(72) Erfinder:
**SHASTRI, Anjali, Columbia, US; KROEGER,
William, Brian, Sykesville, US**

(74) Vertreter:
derzeit kein Vertreter bestellt

(54) Bezeichnung: **VERFAHREN UND GERÄT ZUM VERRINGERN DES VERHÄLTNISSSES ZWISCHEN SPITZEN UND
MITTLERER LEISTUNG IN DIGITALEN RUNDFUNKSYSTEMEN**

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**

[0001] Diese Erfindung betrifft elektronische Signalverarbeitung und insbesondere Signalverarbeitung, die die Verringerung des Verhältnisses von Spitzenleistung zu mittlerer Leistung in Funkfrequenzsignalen betrifft.

[0002] Ein System dieser Art, das Frequenzmultiplexierung verwendet, ist in US-A-5 610 908 beschrieben.

[0003] Digitaler Tonrundfunk (DAB) ist ein Medium zur Bereitstellung von Ton in digitaler Qualität, der bestehenden analogen Rundfunkformaten überlegen ist. FM-In-Band-On-Channel-(IBOC-)DAB kann in einem Hybridformat, bei dem das digital modulierte Signal mit dem gegenwärtig gesendeten analogen FM-Signal koexistiert, oder in einem rein digitalen Format gesendet werden, bei dem das analoge FM-Signal beseitigt worden ist. IBOC erfordert keine neuen Spektrumzuweisungen, weil jedes DAB-Signal gleichzeitig innerhalb der gleichen spektralen Maske einer bestehenden FM-Kanalzuweisung gesendet wird. IBOC fördert die Wirtschaftlichkeit des Spektrums, während es Rundfunksendern ermöglicht, ihre jetzige Zuhörerschaft mit Ton in digitaler Qualität zu versorgen.

[0004] Die Vorteile der digitalen Tonsignalübertragung sind unter anderem eine bessere Signalqualität mit weniger Rauschen und einem größeren Dynamikbereich als mit bestehenden FM-Funkkanälen. Anfangs sollte das Hybridformat eingeführt werden, was es den bestehenden Empfängern ermöglicht, weiterhin das analoge FM-Signal zu empfangen, während es neuen IBOC-Empfängern ermöglicht, das digitale Signal zu decodieren. In nicht allzu ferner Zukunft, wenn IBOC-DAB-Empfänger reichlich vorhanden sind, könnten Rundfunkanbieter sich dafür entscheiden, das rein digitale Format zu senden. Das Ziel des Hybrid-FM-IBOC-DAB ist es, digitalen Stereoton (plus Daten) faktisch mit CD-Qualität bereitzustellen, während gleichzeitig das bestehende FM-Signal gesendet wird. Das Ziel des rein digitalen FM-IBOC-DAB ist es, Stereoton faktisch mit CD-Qualität zusammen mit einem Datenkanal mit einer Kapazität von bis zu 200 kbit/s bereitzustellen, abhängig vom Störfeld einer bestimmten Station.

[0005] Ein vorgeschlagenes FM-IBOC-Rundfunksystem verwendet eine Vielzahl von orthogonalen frequenzmultiplexierten (OFDM-)Trägern, um ein digitales Signal zu senden. Ein OFDM-Signal besteht aus der Summe mehrerer Träger, die mit unterschiedlichen gleich beabstandeten (äquidistanten) Frequenzen moduliert sind, die zueinander orthogonal sind. Dies stellt sicher, daß unterschiedliche Zwi-

schenträger einander nicht stören. Die Größe des gesendeten Signals in einem solchen System hat gelegentlich sehr hohe Spitzen. Somit müssen die linearen Leistungsverstärker, die in IBOC-DAB-Sendern verwendet werden, mit großen Leistungsreserven arbeiten, so daß die Außerbandleistung unterhalb der vorgeschriebenen Grenzen liegt. Dies führt zu sehr teuren und ineffizienten Verstärkern. Folglich gibt es die Notwendigkeit, die Verhältnisse von Spitzenleistung zu mittlerer Leistung (PAR) für ein OFDM-DAB-Signal zu verringern.

[0006] Diese Erfindung stellt ein effizientes Prinzip für die Verringerung des Verhältnisses von Spitzenleistung zu mittlerer Leistung von elektronischen Signalen unter Verwendung von orthogonaler Frequenzmultiplexierung bereit, wie es in FM-IBOC-DAB-Systemen verwendet werden kann.

ZUSAMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0007] Diese Erfindung stellt ein Verfahren zum Verringern des Verhältnisses von Spitzenleistung zu mittlerer Leistung in einem Funkfrequenzsignal bereit. Das Verfahren umfaßt die folgenden Schritte: Modulieren einer Vielzahl von Zwischenträgern mit einer Vielzahl von Datensymbolvektoren, um ein erstes modulierte Signal zu erzeugen; Begrenzen der Größe des ersten modulierten Signals, um ein erstes begrenztes modulierte Signal zu erzeugen; Demodulieren des ersten begrenzten modulierten Signals, um die Konstellationspunkte wiederherzustellen; Vorverzerren der Datensymbolvektoren, um eine Mindestgröße für ihre In-Phase- und Quadratur-Komponenten bereitzustellen, um vorverzernte Datensymbolvektoren zu erzeugen; Modulieren der Vielzahl von Trägern mit den vorverzernten Datensymbolvektoren, um ein zweites modulierte Signal zu erzeugen; Begrenzen der Größe des zweiten modulierten Signals, um ein zweites begrenztes modulierte Signal zu erzeugen; und Verringern von Intermodulationsprodukten in dem zweiten begrenzten modulierten Signal.

[0008] Eine alternative Ausführungsform, die insbesondere für ein rein digitales IBOC-DAB-System anwendbar ist, unterzieht außerdem die Datensymbolvektoren der Mitten-Zwischenträger einer Vorverzerung, während die Intermodulationsprodukte im zweiten begrenzten modulierten Signal verringert werden.

[0009] Die Erfindung umfaßt ebenfalls Sender, die das obige Verfahren ausführen.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0010] [Fig. 1](#) ist eine schematische Darstellung der Frequenzzuweisungen und relativen spektralen Leistungsdichte der Signalkomponenten für ein hybrides FM-IBOC-DAB-Signal.

[0011] [Fig. 2](#) ist eine schematische Darstellung der Frequenzzuweisungen und relativen spektralen Leistungsdichte der Signalkomponenten für ein rein digitales FM-IBOC-DAB-Signal.

[0012] [Fig. 3](#) ist ein vereinfachtes Blockschaltbild eines Funksenders, der das Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung zum Verringern des Verhältnisses von Spitzenleistung zu mittlerer Leistung einbeziehen kann.

[0013] [Fig. 4](#) ist eine graphische Darstellung einer Art der Begrenzung, die in dem Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung verwendet werden kann.

[0014] [Fig. 5](#) ist eine schematische Darstellung der Vorverzerrung der Datensymbole, wie sie in der Erfindung angewendet wird.

[0015] [Fig. 6](#) ist ein Ablaufplan des Verfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung, wie es auf ein hybrides digitales Tonrundfunk-System angewendet wird.

[0016] [Fig. 7](#) ist eine graphische Darstellung einer anderen Art der Begrenzung, die in dem Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung verwendet werden kann.

[0017] [Fig. 8](#) ist ein Diagramm der Ergebnisse einer Simulation der spektralen Leistungsdichten einer modulierten Wellenform, die gemäß der Erfindung verarbeitet wurde, wobei die Begrenzungsfunktion von [Fig. 4](#) verwendet wurde.

[0018] [Fig. 9](#) stellt die Bitfehlerraten für die verschiedenen in [Fig. 8](#) dargestellten Szenarien dar.

[0019] [Fig. 10](#) ist ein Diagramm der Ergebnisse einer Simulation der spektralen Leistungsdichten einer modulierten Wellenform, die gemäß der Erfindung verarbeitet wurde, wobei angenommen wurde, daß ein Hochleistungsverstärker die Begrenzungsfunktion von [Fig. 7](#) verwendet.

[0020] [Fig. 11](#) stellt die Bitfehlerraten für die verschiedenen in [Fig. 10](#) dargestellten Szenarien dar.

[0021] [Fig. 12](#) ist ein Ablaufplan des Verfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung, wie es auf einen rein digitalen Tonrundfunksender angewendet wird.

[0022] [Fig. 13](#) ist ein Diagramm der Ergebnisse einer Simulation der spektralen Leistungsdichten einer modulierten Wellenform, die gemäß der Erfindung verarbeitet wurde, wobei die Begrenzungsfunktion von [Fig. 4](#) verwendet wurde.

[0023] [Fig. 14](#) stellt die Bitfehlerraten für die verschiedenen in [Fig. 13](#) dargestellten Szenarien dar.

[0024] [Fig. 15](#) ist ein Diagramm der Ergebnisse einer Simulation der spektralen Leistungsdichten einer modulierten Wellenform, die gemäß der Erfindung verarbeitet wurden, wobei angenommen wurde, daß ein Hochleistungsverstärker die Begrenzungsfunktion von [Fig. 7](#) verwendet.

[0025] [Fig. 16](#) stellt die Bitfehlerraten für die verschiedenen in [Fig. 15](#) dargestellten Szenarien dar.

BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0026] Mit Bezug auf die Zeichnungen ist [Fig. 1](#) eine schematische Darstellung der Frequenzzuweisungen (spektrale Anordnung) und der relativen spektralen Leistungsdichte der Signalkomponenten für ein hybrides FM-IBOC-DAB-Signal **10** gemäß der vorliegenden Erfindung. Das hybride Format schließt das herkömmliche analoge FM-Stereosignal **12** ein, das eine spektrale Leistungsdichte hat, die durch die dreieckige Form **14** dargestellt ist, die in einem Abschnitt des Kanals mit dem Mittenfrequenzband **16** angeordnet ist. Die spektrale Leistungsdichte (PSD) eines typischen analogen FM-Rundfunksignals ist nahezu dreieckig mit einem Anstieg von ungefähr $-0,35$ dB/kHz von der Mittenfrequenz. Eine Vielzahl von digital modulierten gleichmäßig beabstandeten Zwischenträgern ist auf jeder Seite des analogen FM-Signals angeordnet, in einem oberen Seitenband **18** und einem unteren Seitenband **20**, und wird gleichzeitig mit dem analogen FM-Signal gesendet. Alle Träger werden mit einem Leistungspegel gesendet, der in die Kanalmaske **22** der Fernmeldeverwaltung der Vereinigten Staaten fällt. Die vertikale Achse in [Fig. 1](#) stellt die spektrale Spitzenleistungsdichte anstelle einer eher herkömmlichen Charakterisierung der mittleren spektralen Leistungsdichte dar.

[0027] In einem vorgeschlagenen Modulationsformat wird eine Vielzahl von gleichmäßig beabstandeten orthogonalen frequenzmultiplexierten (OFDM-)Zwischenträgern auf jeder Seite des analogen FM-Wirtssignals plaziert, die das Spektrum von ungefähr 129 kHz bis ungefähr 199 kHz von der FM-Wirtsmittenfrequenz aus belegen, wie durch das obere Seitenband **18** und das untere Seitenband **20** in [Fig. 1](#) dargestellt. In dem hybriden System ist die gesamte DAB-Leistung in den OFDM-modulierten Zwischenträgern in jedem Seitenband auf ungefähr -25 dB relativ zu der analogen FM-Leistung ihres Wirts eingestellt. Das DAB-Signal wird auf den OFDM-Zwischenträgern gesendet, die sich auf jeder Seite des analogen Spektrums befinden. Das DAB-System weist 191 Träger oberhalb und 191 Träger unterhalb des FM-Wirtsspektrums auf. Jeder DAB-Zwischenträger ist mit einer Symbolrate von 344,53125 Hz QPSK-moduliert. Die In-Phase- und Quadraturphase-Impulsformen laufen an den Rändern in Wurzel-Rolloff-Form (root raised cosine tape-

red) spitz zu (Überschußzeit = $7/128$), um die spektralen Nebenzipfel zu unterdrücken. Diese Impulsform führt zu einem Frequenzabstand der orthogonalen Zwischenträger von 363,3728 Hz.

[0028] Der digital modulierte Teil des hybriden Signals ist eine Teilmenge des rein digitalen DAB-Signals, das im rein digitalen IBOC-DAB-Format gesendet wird. Die spektrale Anordnung und die relativen Signalleistungsdichtepiegel der digitalen OFDM-Zwischenträger in einem vorgeschlagenen rein digitalen FM-DAB-Format, das durch Bezugszeichen **24** dargestellt ist, sind in [Fig. 2](#) dargestellt. Das analoge FM-Signal von [Fig. 1](#) ist durch eine optionale zusätzliche Gruppe von OFDM-Zwischenträgern ersetzt worden, die als das erweiterte rein digitale Signal **26** bezeichnet werden, das im Mittelfrequenzband **28** angeordnet ist. Erneut sind gleichmäßig beabstandete OFDM-Zwischenträger in einem oberen Seitenband **30** und einem unteren Seitenband **32** angeordnet. Die Seitenbänder des rein digitalen Formats von [Fig. 2](#) sind breiter als die Seitenbänder von [Fig. 1](#). Außerdem ist der spektrale Leistungsdichtepiegel der rein digitalen IBOC-Signalseitenbänder auf ungefähr 10 dB höher eingestellt als jener, der in den hybriden IBOC-Seitenbändern zugelassen ist. Dies gibt dem rein digitalen IBOC-Signal einen erheblichen Vorteil in der Leistungsfähigkeit. Obendrein liegt die spektrale Leistungsdichte des erweiterten rein digitalen Signals ungefähr 15 dB unterhalb jener der hybriden IBOC-Seitenbänder. Dies minimiert oder beseitigt jegliche Störprobleme in Bezug auf angrenzende hybride oder rein digitale IBOC-Signale, während zusätzliche Kapazität für andere digitale Dienste bereitgestellt wird.

[0029] Der rein digitale Modus ist eine logische Erweiterung des hybriden Modus, bei der das analoge Signal, das früher den zentralen ± 100 -kHz-Bereich belegt hat, durch digitale Zwischenträger mit niedrigem Pegel ersetzt wird. Auf jeder Seite der Träger mit niedrigem Pegel befinden sich zwei digitale Seitenbänder, die sich vom hybriden Modus durch Erhöhung der Bandbreite auf ungefähr 100 kHz und durch Erhöhung der Leistung um ungefähr 10 dB unterscheiden. Ein vorgeschlagenes rein digitales DAB-System weist 267 Träger in jedem Seitenband und 559 Träger in der Mitte auf. Jeder DAB-Zwischenträger ist QPSK-moduliert. Die In-Phase- und Quadratur-Phase-Impulsformen laufen an den Rändern in Wurzel-Rolloff-Form spitz zu (Überschußzeit = $7/128$), um die spektralen Seitenlappen zu unterdrücken. Diese Impulsform führt zu einem Frequenzabstand der orthogonalen Zwischenträger von 363,3728 Hz. Die spektralen Leistungsdichtefunktionen für das gesendete Signal sollten weitgehend innerhalb der Maske für rein digitales FM-IBOC liegen.

[0030] [Fig. 3](#) ist ein funktionales Blockschaltbild, das eine Implementierung der vorliegenden Erfin-

dung in einem IBOC-DAB-FM-Sender darstellt. Ein Symbolgenerator **34** erzeugt Quadratur-Phasenumtastungs-(QPSK-)Datensymbole, die die zu sendende Information enthalten. Diese Symbole werden an einen Modulator **36** übergeben, wo eine Vielzahl von OFDM-Zwischenträgern moduliert wird, um das DAB-Signal (normiert) zu erzeugen. Diese Modulation weist das Durchleiten der Datensymbole durch eine Inverse Schnelle Fourier-Transformation (IFFT) auf, um die OFDM-Modulation zu verwirklichen. Ein zyklischer Präfix wird zusammen mit einem Fenster in Wurzel-Rolloff-Form auf das modulierte Signal angewendet (Überschußzeit = $7/128$). Die Kombination aus IFFT und Windowing-Operation wird fortan als der DAB-Modulator bezeichnet.

[0031] Block **38** ist der Hauptblock, wo die Verringerung des Verhältnisses von Spitzenleistung zu mittlerer Leistung verwirklicht wird. Das modulierte Ausgangssignal des DAB-Modulators **36** wird als Eingangssignal an diesen Block übergeben. Das Ausgangssignal des Blocks **38** ist das Signal, das mit einem verringerten PAR gesendet werden soll. Um die PAR-Verringerung zu bewerkstelligen, wird das modulierte Signal in der Amplitude begrenzt, wie durch Block **40** dargestellt, dann wird es wie in Block **42** demoduliert, und die vom Demodulator erlangten Symbolvektoren werden vorverzerrt oder beschränkt, um ein Minimum der In-Phase- und Quadratur-Komponenten im Block **44** zu haben. Die beschränkten Symbole werden dann im Block **46** moduliert, um ein zweites modulierte Signal zu erzeugen, das in Block **48** einer weiteren Begrenzung unterzogen wird. Diese Begrenzung führt zu unerwünschten Intermodulationsprodukten. Die Intermodulationsprodukte im begrenzten zweiten modulierten Signal werden dann im Block **50** verringert oder entfernt, bevor das Signal an einen Hochleistungsverstärker **52** zum Rundsenden über Antenne **54** übergeben wird.

[0032] [Fig. 4](#) ist ein Diagramm, das die Arbeitsweise eines Begrenzers darstellt, der verwendet werden kann, um die Funktion von Block **40** auszuführen. Der Begrenzer wird auf einen bestimmten Schwellwert oder Grenzwert K_1 eingestellt. Zu jedem Zeitpunkt, wenn die Eingangssignalleistung K_1 überschreitet, wird sie auf K_1 gekürzt. Da das Eingangssignal normiert ist, stellt dies sicher, daß das PAR des Signals am Ausgang des Begrenzers K_1 ist. Somit kann die Arbeitsweise des Begrenzers (für reales x) wie folgt dargestellt werden. Wenn der Wert des Eingangssignals (X) kleiner als $-K_1$ ist, dann wird das Ausgangssignal des Begrenzers gleich $-K_1$ gesetzt; wenn der Wert des Eingangssignals (X) größer als K_1 ist, dann wird das Ausgangssignal des Begrenzers gleich K_1 gesetzt; und wenn das Eingangssignal zwischen $-K_1$ und K_1 liegt, dann wird das Ausgangssignal gleich dem Eingangssignal gesetzt. Ein K_1 von 1,58 bedeutet, daß für diese Arbeitsweise das Verhältnis von Spitzenwert zu Mittelwert auf 4 dB eingestellt ist.

[0033] Das begrenzte modulierte Signal wird dann an einen DAB-Demodulator **42** übergeben. Im DAB-Demodulator wird an den modulierten Abtastwerten zuerst eine inverse Zyklischer-Präfix-und-Windowing-Operation durchgeführt. Dem folgt die Schnelle Fourier-Transformation (FFT), um die OFDM-Demodulation zu verwirklichen. Die Kombination aus Windowing-Operation und FFT wird fortan als der DAB-Demodulator bezeichnet.

[0034] Als nächstes werden die im Demodulations-schritt wiederhergestellten Konstellationspunkte der Datensymbolvektoren so beschränkt, daß sie ein Minimum der In-Phase- und Quadratur-Komponenten haben, um die durch das Kürzen im Begrenzer eingeführte Verzerrung zu verringern. Um diese Einschränkung zu erreichen, wird in diesem Schritt jeder OFDM-Symbolvektor dazu gezwungen, in einem bestimmten Bereich **54**, **56**, **58** oder **60** rings um den Konstellationspunkt zu liegen, wie in [Fig. 5](#) dargestellt. In [Fig. 5](#) haben die Konstellationspunkte **62**, **64**, **66** und **68** eine erwartete In-Phase- und Quadratur-Größe von "A". Ein vorbestimmter Bruchteil von "A", der mit "F" bezeichnet ist, definiert den Bereich, auf den die Datensymbole eingeschränkt werden. Somit wird die Operation des Einschränkens jedes Elements des OFDM-Symbolvektors wie folgt dargestellt.

[0035] Wenn das eingegebene Symbol $(x)x = a + b \cdot i$ ist, wobei "a" die In-Phase-Komponente ist und "b" die Quadraturkomponente ist, dann wird die Ausgabe (y) als $y = a' + b' \cdot i$ definiert, wobei a' und b' wie folgt definiert werden:

```
if abs(a) <= F·A
if a < 0, a' = -(F·A)
else, a' = F·A
else a' = a
if abs(b) <= F·A
if b < 0, b' = -(F·A)
else, b' = F·A
else b' = b.
```

[0036] Mit dieser Einschränkung kann man sehen, daß die In-Phase und Quadraturkomponenten der Symbol-Konstellationspunkte gezwungen werden, daß sie mindestens eine Mindestgröße haben, die gleich einem vorbestimmten Bruchteil der erwarteten In-Phase- und Quadraturgröße ist.

[0037] Als nächstes wird der eingeschränkte Symbolvektor durch den DAB-Modulator **46** moduliert, und das modulierte Ausgangssignal wird durch den Begrenzer **48** geleitet. Der Begrenzer **48** verwendet eine Begrenzungsfunktion ähnlich der von [Fig. 4](#), aber mit einem Schwellwert von K2. Dies stellt sicher, daß das Signal am Ausgang des Begrenzers **48** ein PAR von K2 hat, da das Eingangssignal normiert ist.

[0038] Um zu erreichen, daß das gesendete Signal

weitgehend innerhalb der Maske für hybrides FM-IBOC liegt, wird das Signal in Block **50** gesäubert, indem die Nichtdaten-Zwischenträger nullgesetzt werden. Die aufgrund dieser Eliminierungsoperation eingeführte Verzerrung ist minimal. In der bevorzugten Ausführungsform eines FM-IBOC-DAB-Systems betrifft der tatsächliche Vorgang das Kürzen der Nichtdaten-Zwischenträger für alle inaktiven Kanäle (außerhalb der beiden Seitenlappen) auf null.

[0039] [Fig. 6](#) ist ein Ablaufplan, der das PAR-Verringerungsverfahren der Erfindung darstellt. Block **70** stellt dar, daß der DAB-Eingangs-OFDM-Symbolvektor aus Zwischenträgerdaten in den DAB-Modulator **72** eingegeben wird. Das dadurch entstehende erste modulierte Signal auf der Leitung **74** wird in Block **76** unter Verwendung eines ersten Schwellwerts K1 begrenzt. Dies erzeugt ein begrenztes erstes modulierte Signal auf der Leitung **78**, das anschließend im Block **80** demoduliert wird, um die Konstellationspunkte der Datensymbolvektoren auf der Leitung **82** wiederherzustellen. Die wiederhergestellten Konstellationspunkte werden im Block **84** vorverzerrt, so daß sie so eingeschränkt sind, daß sie In-Phase- und Quadraturkomponenten mit einer vorbestimmten Mindestgröße haben, wie oben erörtert. Der DAB-Modulator **86** moduliert die eingeschränkten Symbolvektoren, um auf der Leitung **88** ein zweites modulierte Signal zu erzeugen. Dieses zweite modulierte Signal wird im Begrenzer **90** begrenzt, der einen zweiten Schwellwert K2 hat.

[0040] Da die Begrenzungsoperation Intermodulationsprodukte erzeugt, werden diese in den folgenden Schritten verringert. Das zweite begrenzte modulierte Signal auf der Leitung **92** wird an einen Demodulator in Block **94** übergeben. Das Ausgangssignal des Demodulators auf der Leitung **96** wird zu einem Säuberungsschritt im Block **98** übergeben, wo die Nichtdaten-Zwischenträger auf null gekürzt werden. Das daraus entstehende Signal auf der Leitung **100** wird im Block **102** moduliert, und das dritte modulierte Signal auf der Leitung **104** wird im Block **106** unter Verwendung eines weiteren Begrenzungsschwellwerts (K3) begrenzt. In der bevorzugten Ausführungsform der Erfindung werden die Schritte in den Blöcken **94**, **98**, **102** und **106** zweimal wiederholt, wobei bei der ersten Wiederholung im Begrenzer **106** der Schwellwert K4 verwendet wird. Bei der zweiten Wiederholung wird nicht der Begrenzer **106** verwendet, sondern das Signal wird auf der Leitung **108** an einen Hochleistungsverstärker zum Rundsenden übergeben.

[0041] Zu Simulationszwecken werden für den Hochleistungsverstärker zwei Modelle verwendet. Modell 1 verwendet eine "Z-Kurven"-Begrenzungsfunktion, wie in [Fig. 4](#) beschrieben. Der Begrenzer wird auf einen bestimmten Schwellwert K5 einge-

stellt. Zu einem jeglichen Zeitpunkt wird die Signalleistung, wenn sie K5 überschreitet (für ein normiertes Eingangssignal), auf K5 gekürzt. Modell 2 verwendet eine "S-Kurven"-Begrenzungsfunktion. In diesem Fall wird eine skalierte Fehlerfunktion **110** als Modell des Hochleistungsverstärkers verwendet (wie in [Fig. 7](#) dargestellt). Der Arbeitspunkt wird durch K5 eingestellt. Ein K5 von 6 dB bedeutet, daß der Effektivwert des Signals 6 dB unterhalb des 1-dB-Kompressionspunktes liegt.

[0042] [Fig. 8](#) ist ein Diagramm, das die simulierten Ergebnisse der spektralen Leistungsdichten der OFDM-Zwischenträger in einem beispielhaften digitalen Tonrundfunksignal unter Verwendung folgender Begrenzungswerte darstellt: K1 = 3; K2, K3 und K4 = 4; und Bruchteil F = 7/8, wobei der Begrenzer von [Fig. 4](#) mit verschiedenen Kriterien für das abschließende Kürzen verwendet wird. Das durch Kurve **112** dargestellte Signal stellt das Kürzen bei $5,5 + 0,85$ dB dar. Kurve **114** stellt das Kürzen bei $5,0 + 0,85$ dB dar, Kurve **116** stellt das Kürzen bei $4,5 + 0,86$ dB dar und Kurve **118** stellt die Ergebnisse für Kürzen bei $4,0 + 0,88$ dB dar. [Fig. 9](#) stellt die entsprechenden Bitfehlerraten für diese Szenarien dar, wobei gestrichene Zahlen für entsprechende Ergebnisse verwendet werden. Kurve **119** stellt die ungekürzten Ergebnisse dar.

[0043] [Fig. 10](#) ist ein Diagramm, das die simulierten Ergebnisse der spektralen Leistungsdichten der OFDM-Zwischenträger in einem beispielhaften digitalen Tonrundfunksignal unter Verwendung folgender Begrenzungswerte darstellt: K1 = 3; K2, K3 und K4 = 4; und Bruchteil F = 7/8, wobei beim PAR-Verringerungsverfahren der Begrenzer von [Fig. 4](#) verwendet wird und für einen Hochleistungsverstärker im Ausgang des Senders der Begrenzer von [Fig. 7](#) verwendet wird. Das ungekürzte Signal ist durch Kurve **120** dargestellt. Kurve **122** stellt das Kürzen bei $\text{PAR} = 5,17 + 1,09$ dB, $\text{sig}_{\text{rms}} = -8$ (sig_{rms} = Signaleffektivwert) dar. [Fig. 11](#) stellt die entsprechenden Bitfehlerraten für diese Szenarien dar, wobei gestrichene Zahlen für entsprechende Ergebnisse verwendet werden.

[0044] [Fig. 12](#) ist ein Ablaufplan, der das PAR-Verringerungsverfahren der Erfindung für ein rein digitales Signal darstellt. Block **124** stellt dar, daß der DAB-Eingangs-OFDM-Symbolvektor von Zwischenträgerdaten in den DAB-Modulator **126** eingegeben wird. Das entstehende erste modulierte Signal auf der Leitung **128** wird im Block **130** unter Verwendung eines ersten Schwellwerts K1 begrenzt. Dies erzeugt ein begrenztes erstes moduliertes Signal auf der Leitung **132**, das anschließend im Block **134** demoduliert wird, um die Konstellationspunkte der Datensymbolvektoren auf der Leitung **136** wiederherzustellen. Die wiederhergestellten Konstellationspunkte werden im Block **138** vorverzerrt, so daß sie so eingeschränkt sind, daß sie In-Phase- und Quadraturkom-

ponenten mit einer vorbestimmten Mindestgröße haben, wie oben erörtert. Außerdem werden unerwünschte Nichtdaten-Zwischenträger in diesem Schritt ebenfalls auf Null gekürzt. Der DAB-Modulator **140** moduliert die eingeschränkten Symbolvektoren, um ein zweites moduliertes Signal auf der Leitung **142** zu erzeugen. Dieses zweite modulierte Signal wird im Begrenzer **144**, der einen zweiten Schwellwert K2 hat, begrenzt.

[0045] Da die Begrenzungsoperation Intermodulationsprodukte erzeugt, werden diese in den folgenden Schritten verringert. Das zweite begrenzte modulierte Signal auf der Leitung **146** wird im Block **148** an einen Demodulator übergeben. Das Demodulierte Ausgangssignal auf der Leitung **150** wird an den Block **152** übergeben, wo die Datensymbole von den Mitenträgern vorverzerrt und die Nichtdaten-Zwischenträger auf Null gekürzt werden. Das entstehende Signal auf der Leitung **154** wird im Block **156** moduliert, und das dritte modulierte Signale auf der Leitung **158** wird im Block **160** unter Verwendung eines weiteren Begrenzungsschwellwerts (K3) begrenzt. In der bevorzugten Ausführungsform der Erfindung werden die Schritte in den Blöcken **148**, **152**, **156** und **160** zweimal wiederholt, wobei im Begrenzer **160** bei der ersten Wiederholung der Schwellwert K4 verwendet wird. Bei der zweiten Wiederholung wird nicht der Begrenzer **160** verwendet, sondern das Signal wird auf der Leitung **162** an einen Hochleistungsverstärker zum Rundsenden übergeben.

[0046] [Fig. 13](#) ist ein Diagramm, das die simulierten Ergebnisse der spektralen Leistungsdichten der OFDM-Zwischenträger in einem beispielhaften digitalen Tonrundfunksignal unter Verwendung folgender Begrenzungswerte darstellt: K1 = 3; K2, K3 und K4 = 4; und Bruchteil F = 7/8, wobei der Begrenzer von [Fig. 4](#) mit verschiedenen Kriterien für das abschließende Kürzen verwendet wird. Das ungekürzte Signal wird durch Kurve **164** dargestellt. Kurve **166** stellt das Kürzen bei $4,5 + 0,78$ dB dar, Kurve **168** stellt das Kürzen bei $5,0 + 0,77$ dB dar und Kurve **170** stellt die Ergebnisse für Kürzen bei $5,5 + 0,77$ dB dar. [Fig. 14](#) stellt die entsprechenden Bitfehlerraten für diese Szenarien dar, wobei gestrichene Zahlen für entsprechende Ergebnisse verwendet werden.

[0047] [Fig. 15](#) ist ein Diagramm, das die simulierten Ergebnisse der spektralen Leistungsdichten der OFDM-Zwischenträger in einem beispielhaften Abtastwert-Tonrundfunksignal unter Verwendung eines Begrenzungswertes darstellt: K1 = 3; K2, K3 und K4 = 4; und Bruchteil F = 7/8, wobei beim PAR-Verringerungsverfahren der Begrenzer von [Fig. 4](#) verwendet wird und für einen Hochleistungsverstärker im Ausgang des Senders der Begrenzer von [Fig. 7](#) verwendet wird. Das ungekürzte Signal ist durch Kurve **172** dargestellt. Kurve **174** stellt das Kürzen bei $\text{sig}_{\text{rms}} = 6$, $\text{PAR} = 6,15 + 0,95$ dB dar, und Kurve **176** stellt das

Kürzen bei $\text{sig}_{\text{rms}} = 8$, $\text{PAR} = 6,38 + 0,88 \text{ dB}$ dar. **Fig. 16** stellt die entsprechenden Bitfehlerraten für diese Szenarien dar, wobei gestrichene Zahlen für entsprechende Ergebnisse verwendet werden.

[0048] Alle Simulationen sind unter Verwendung von 512 OFDM-Symbolen ausgeführt worden. Die ausgewählten optimalen Parameter waren $K1 = 3 \text{ dB}$, $K2 = 4 \text{ dB}$, $K3 = 4 \text{ dB}$, $K4 = 4 \text{ dB}$, $F = 7/8$. Die betrachteten Maße der Leistungsfähigkeit waren die spektrale Leistungsdichte (PSD) und die Bitfehlerrate (BER). Ebenso wurden die demodulierten Signalpunkte eingezeichnet, um die eingeführte Verzerrung darzustellen.

[0049] In der letzten Stufe kann die Abtastfrequenz verdoppelt werden, indem das Signal im Frequenzbereich mit Nullen aufgefüllt wird. Um die Komplexität des PAR-Verringerungsprinzips zu verringern, könnte der letzte Schritt zweimal statt dreimal ausgeführt werden. Es würde zu einem Verlust an Leistungsfähigkeit kommen, aber die PSDs liegen immer noch innerhalb der Maske für hybrides FM-IBOC.

[0050] Diese Erfindung beschreibt einen neuartigen Ansatz zur Verringerung des Verhältnisses der Spitzenleistung zur mittleren Leistung (PAR) bei OFDM für FM-IBOC-DAB-Systeme. Simulationsergebnisse (unter Verwendung von Z- und S-Kurven für Leistungsverstärker) für diesen Ansatz zeigen, daß die Erfindung ein PAR bis hinunter zu 4–7 dB und immer noch innerhalb der FM-Maske erreichen kann. Die durch dieses Vorverzerrungsprinzip eingeführte Verzerrung ist minimal. Insbesondere durch Verwendung der Parameter $K1 = 3 \text{ dB}$, $K2 = 4 \text{ dB}$, $K3 = 4 \text{ dB}$, $K4 = 4 \text{ dB}$, $F = 7/8$ wird ein sehr guter Spektrumbelegungsplan für das DAB-Signal erreicht, das weitgehend innerhalb der FM-Maske liegt. Ebenso ist die mit diesem besonderen Wertesatz eingeführte Verzerrung minimal.

[0051] Die vorliegende Erfindung verwendet eine Kombination aus der Vorverzerrung des Sendesignals zusammen mit dem Kürzen, um das PAR des gesendeten Signals zu minimieren. Die PAR-Verringerungen im optimierten Sendesignal sind anhand von Simulationsergebnissen demonstriert worden. Wenngleich die vorliegende Erfindung in Bezug auf ihre bevorzugten Ausführungsformen dargestellt worden ist, versteht es sich, daß verschiedene Veränderungen an dem offenbarten Verfahren und System vorgenommen werden können, ohne vom Schutzbereich der Erfindung abzuweichen, der durch die beigefügten Ansprüche einschließlich ihrer Äquivalente definiert ist. Zum Beispiel ist die Erfindung in Bezug auf ihre Anwendung beim digitalen Tonrundfunk dargestellt worden, aber sie hat eine allgemeinere Anwendbarkeit für andere Systeme zum Senden von digitaler Information durch Mehrfachträger-Modulation.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Verringern des Verhältnisses von Spitzenleistung zu mittlerer Leistung in einem Funkfrequenzsignal, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfaßt: Modulieren einer Vielzahl von Zwischenträgern mit einer Vielzahl von Datensymbolvektoren, um ein erstes modulierte Signal zu erzeugen; Begrenzen der Größe des ersten modulierten Signals, um ein erstes begrenztes modulierte Signal zu erzeugen; und Demodulieren des ersten begrenzten modulierten Signals, um die Datensymbolvektoren wiederherzustellen; gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:

Vorverzerren der Datensymbolvektoren, um eine Mindestgröße für ihre In-Phase- und Quadratur-Komponenten bereitzustellen, um vorverzernte Datensymbolvektoren zu erzeugen; Modulieren der Vielzahl von Trägern mit den vorverzernten Datensymbolvektoren, um ein zweites modulierte Signal zu erzeugen; und Begrenzen der Größe des zweiten modulierten Signals, um ein zweites begrenztes modulierte Signal zu erzeugen; Verringern von Intermodulationsprodukten in dem zweiten begrenzten modulierten Signal.

2. Verfahren nach Anspruch 1, ferner dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt des Verringerns von Intermodulationsprodukten in dem zweiten begrenzten modulierten Signal die folgenden Schritte umfaßt: Demodulieren des zweiten modulierten Signals, um ein zweites demoduliertes Signal zu erzeugen; Kürzen der Nichtdaten-Zwischenträger in dem zweiten demodulierten Signal auf null; und Modulieren des zweiten demodulierten Signals, um ein drittes modulierte Signal zu erzeugen.

3. Verfahren nach Anspruch 2, ferner gekennzeichnet durch den folgenden Schritt: Begrenzen des dritten modulierten Signals.

4. Verfahren nach Anspruch 1, ferner dadurch gekennzeichnet, daß die Datensymbolvektoren eine Vielzahl von Konstellationspunkten aufweisen, die Datensymbole darstellen, wobei die Konstellationspunkte eine In-Phase-Komponente und eine Quadratur-Komponente aufweisen, und daß der Vorverzerrungsschritt die folgenden Schritte umfaßt: Skalieren der In-Phase-Komponente jedes Konstellationspunktes auf eine Größe, die größer oder gleich einem ersten vorbestimmten Bruchteil der erwarteten Größe der In-Phase-Komponente ist; und Skalieren der Quadratur-Komponente jedes Konstellationspunktes auf eine Größe, die größer oder gleich einem zweiten vorbestimmten Bruchteil der erwarteten Größe der Quadratur-Komponente ist.

5. Verfahren nach Anspruch 1, ferner dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt des Begrenzens der

Stärke des ersten modulierten Signals, um ein erstes begrenztes modulierte Signal zu erzeugen, den folgenden Schritt umfaßt:

Setzen der Höchstgröße des ersten modulierten Signals auf eine vorbestimmte konstante Größe.

6. Verfahren nach Anspruch 1, ferner dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt des Begrenzens der Größe des ersten modulierten Signals, um ein erstes begrenztes modulierte Signal zu erzeugen, den folgenden Schritt umfaßt:

Setzen der Mindestgröße des ersten modulierten Signals auf eine vorbestimmte Größe, die durch eine skalierte Z-Kurve definiert ist.

7. Verfahren zum Verringern des Verhältnisses von Spitzenleistung zu mittlerer Leistung in einem Funkfrequenzsignal, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfaßt: Modulieren einer Vielzahl von Zwischenträgern mit einer Vielzahl von Datensymbolvektoren, um ein erstes modulierte Signal zu erzeugen, wobei eine erste Gruppe der Zwischenträger in oberen und unteren Seitenbändern eines Funkkanals liegt und eine zweite Gruppe der Zwischenträger in einem Mittenband des Funkkanals liegt; und Begrenzen der Größe des ersten modulierten Signals, um ein erstes begrenztes modulierte Signal zu erzeugen; gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:

Entfernen von Intermodulationsprodukten in dem ersten begrenzten modulierten Signal;

Demodulieren des ersten begrenzten modulierten Signals, um Datenkonstellationspunkte wiederherzustellen;

Vorverzerren der Datensymbolvektoren auf der ersten und zweiten Gruppe von Zwischenträger, um eine Mindestgröße für ihre In-Phase- und Quadratur-Komponenten bereitzustellen, um vorverzernte Datensymbolvektoren zu erzeugen;

Modulieren der Vielzahl von Zwischenträgern mit den vorverzernten Datensymbolvektoren, um ein zweites modulierte Signal zu erzeugen;

Begrenzen der Größe des zweiten modulierten Signals, um ein zweites begrenztes modulierte Signal zu erzeugen;

Entfernen von Intermodulationsprodukten in dem zweiten begrenzten modulierten Signal; und

Vorverzerren der Datensymbolvektoren auf der zweiten Gruppe von Zwischenträgern, um eine Mindestgröße für ihre In-Phase- und Quadratur-Komponenten bereitzustellen, um zusätzliche vorverzernte Datensymbolvektoren zu erzeugen.

8. Verfahren nach Anspruch 7, ferner dadurch gekennzeichnet, daß die Datensymbolvektoren eine Vielzahl von Konstellationspunkten aufweisen, die Datensymbolen entsprechen, wobei die Konstellationspunkte eine In-Phase-Komponente und eine Quadratur-Komponente aufweisen, und daß der Vorverzerrungsschritt die folgenden Schritte umfaßt:

Skalieren der In-Phase-Komponente jedes Konstellationspunktes auf eine Größe, die größer oder gleich einem ersten vorbestimmten Bruchteil der erwarteten Größe der In-Phase-Komponente ist; und

Skalieren der Quadratur-Komponente jedes Konstellationspunktes auf eine Größe, die größer oder gleich einem zweiten vorbestimmten Bruchteil der erwarteten Größe der Quadratur-Komponente ist.

9. Funkfrequenzsender, der ein verringertes Verhältnis von Spitzenleistung zu mittlerer Leistung in einem Funkfrequenzsignal bereitstellt, wobei der Sender folgendes umfaßt: ein Mittel (36) zum Modulieren einer Vielzahl von Zwischenträgern mit einer Vielzahl von Datensymbolvektoren, um ein erstes modulierte Signal zu erzeugen; ein Mittel (40) zum Begrenzen der Größe des ersten modulierten Signals, um ein erstes begrenztes modulierte Signal zu erzeugen; und ein Mittel (42) zum Demodulieren des ersten begrenzten modulierten Signals, um die Datensymbolvektoren wiederherzustellen; gekennzeichnet durch: ein Mittel (44) zum Vorverzerren der Datensymbolvektoren, um eine Mindestgröße für ihre In-Phase- und Quadratur-Komponenten bereitzustellen, um vorverzernte Datensymbolvektoren zu erzeugen; ein Mittel (46) zum Modulieren der Vielzahl von Zwischenträgern mit den vorverzernten Datensymbolvektoren, um ein zweites modulierte Signal zu erzeugen; ein Mittel (48) zum Begrenzen der Größe des zweiten modulierten Signals, um ein zweites begrenztes modulierte Signal zu erzeugen; ein Mittel (50) zum Verringern von Intermodulationsprodukten in dem zweiten begrenzten modulierten Signal.

10. Funkfrequenzsender, der ein verringertes Verhältnis von Spitzenleistung zu mittlerer Leistung in einem Funkfrequenzsignal bereitstellt, wobei der Sender folgendes umfaßt: ein Mittel (36) zum Modulieren einer Vielzahl von Zwischenträgern mit einer Vielzahl von Datensymbolvektoren, um ein erstes modulierte Signal zu erzeugen, wobei eine erste Gruppe der Zwischenträger in oberen und unteren Seitenbändern eines Funkkanals liegt und eine zweite Gruppe der Zwischenträger in einem Mittenband des Funkkanals liegt; und ein Mittel (40) zum Begrenzen der Größe des ersten modulierten Signals, um ein erstes begrenztes modulierte Signal zu erzeugen, und zum Entfernen von Intermodulationsprodukten in dem ersten begrenzten modulierten Signal; gekennzeichnet durch:

ein Mittel (42) zum Demodulieren des ersten begrenzten modulierten Signals, um Datenkonstellationspunkte wiederherzustellen;

ein Mittel (44) zum Vorverzerren der Datensymbolvektoren auf der ersten und zweiten Gruppe von Zwischenträgern, um eine Mindestgröße für ihre In-Phase- und Quadratur-Komponenten bereitzustellen, um vorverzernte Datensymbolvektoren zu erzeugen;

ein Mittel **(46)** zum Modulieren der Vielzahl von Trägern mit den vorverzerrten Datensymbolvektoren, um ein zweites modulierte Signal zu erzeugen;
ein Mittel **(48)** zum Begrenzen der Größe des zweiten modulierten Signals, um ein zweites begrenztes modulierte Signal zu erzeugen;
ein Mittel **(50)** zum Entfernen von Intermodulationsprodukten in dem zweiten begrenzten modulierten Signal; und
ein Mittel **(44)** zum Vorverzerren der Datensymbolvektoren auf der zweiten Gruppe von Zwischenträgern, um eine Mindestgröße für ihre In-Phase- und Quadratur-Komponenten bereitzustellen, um zusätzliche vorverzerrte Datensymbolvektoren zu erzeugen.

Es folgen 9 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

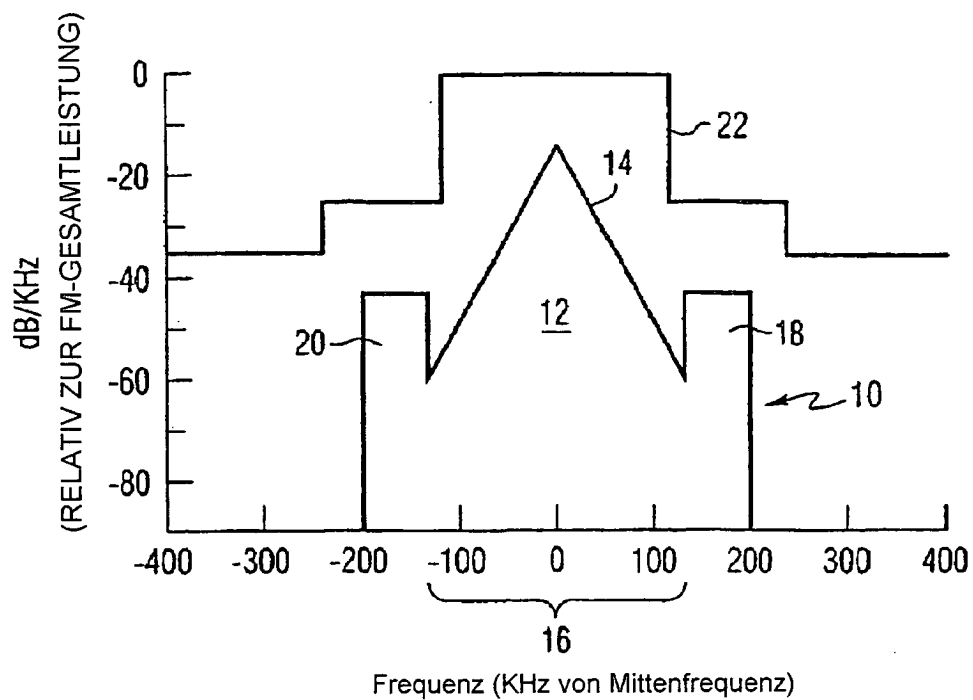


FIG. 1

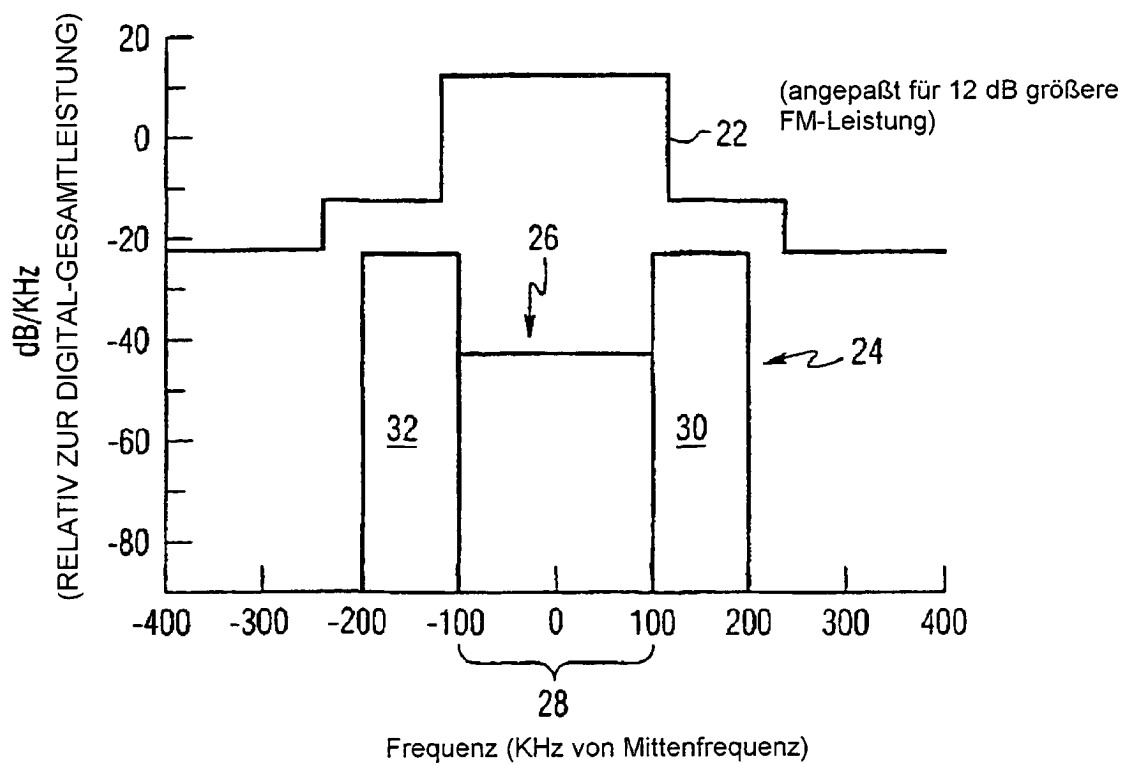


FIG. 2

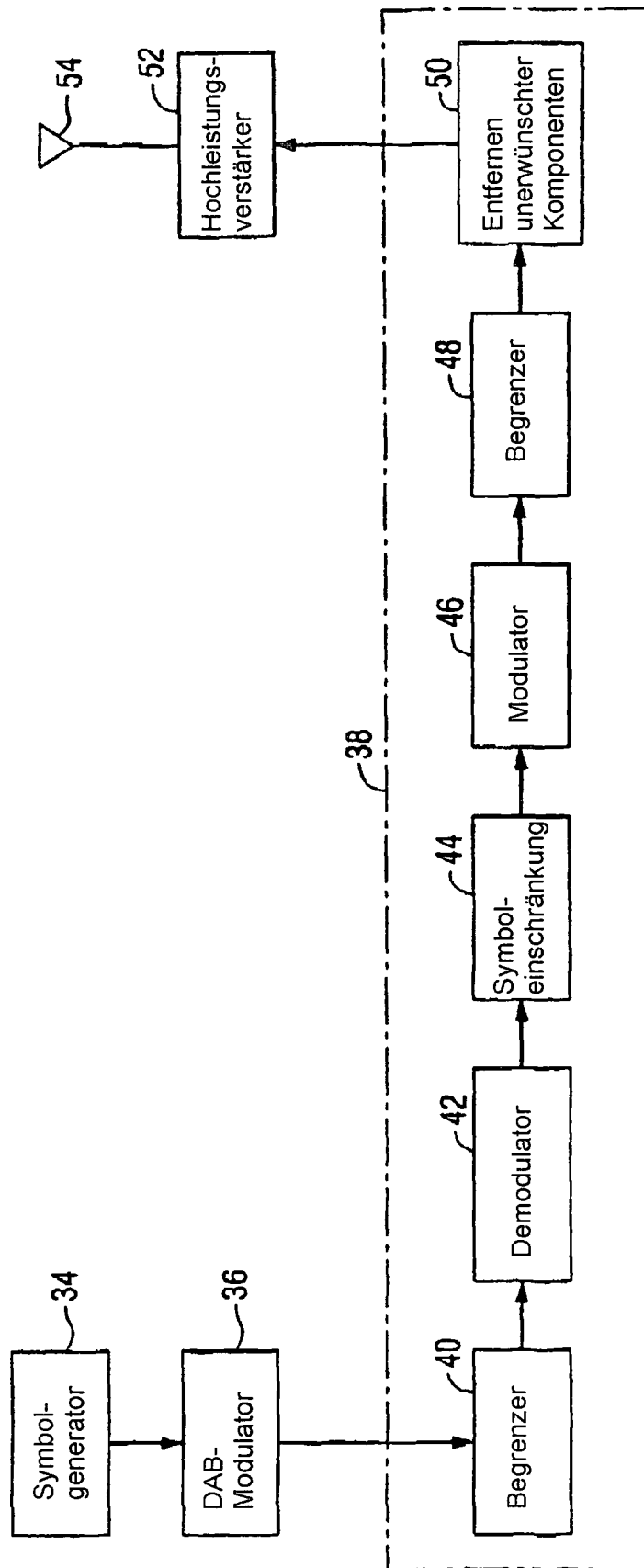


FIG. 3

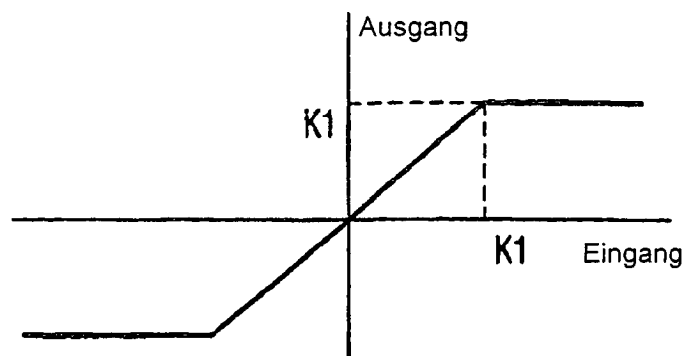


FIG. 4

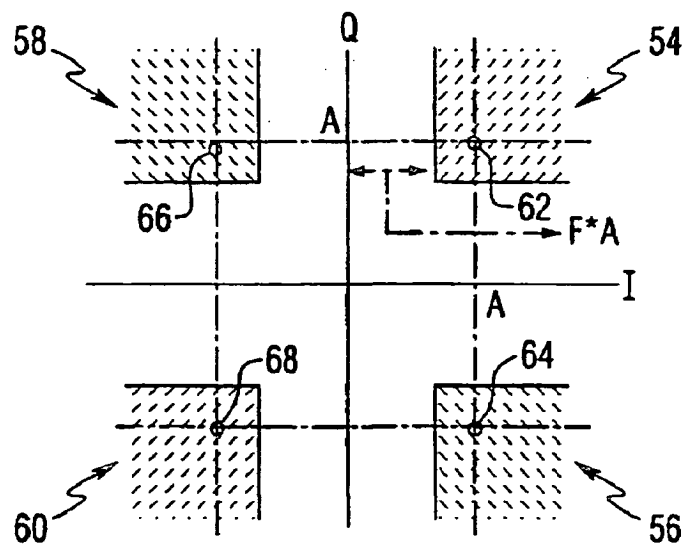


FIG. 5

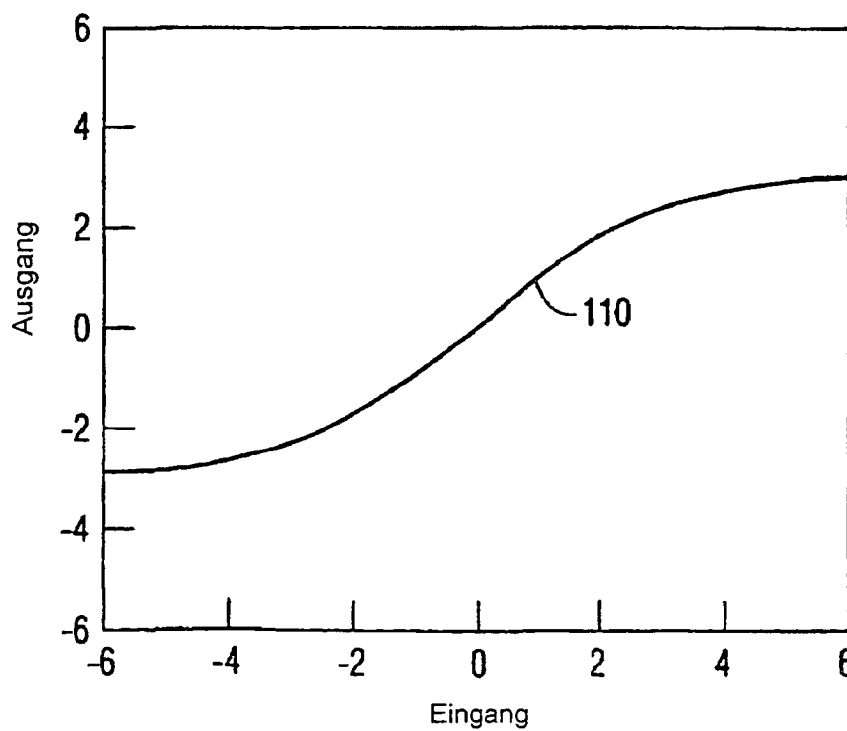


FIG. 7

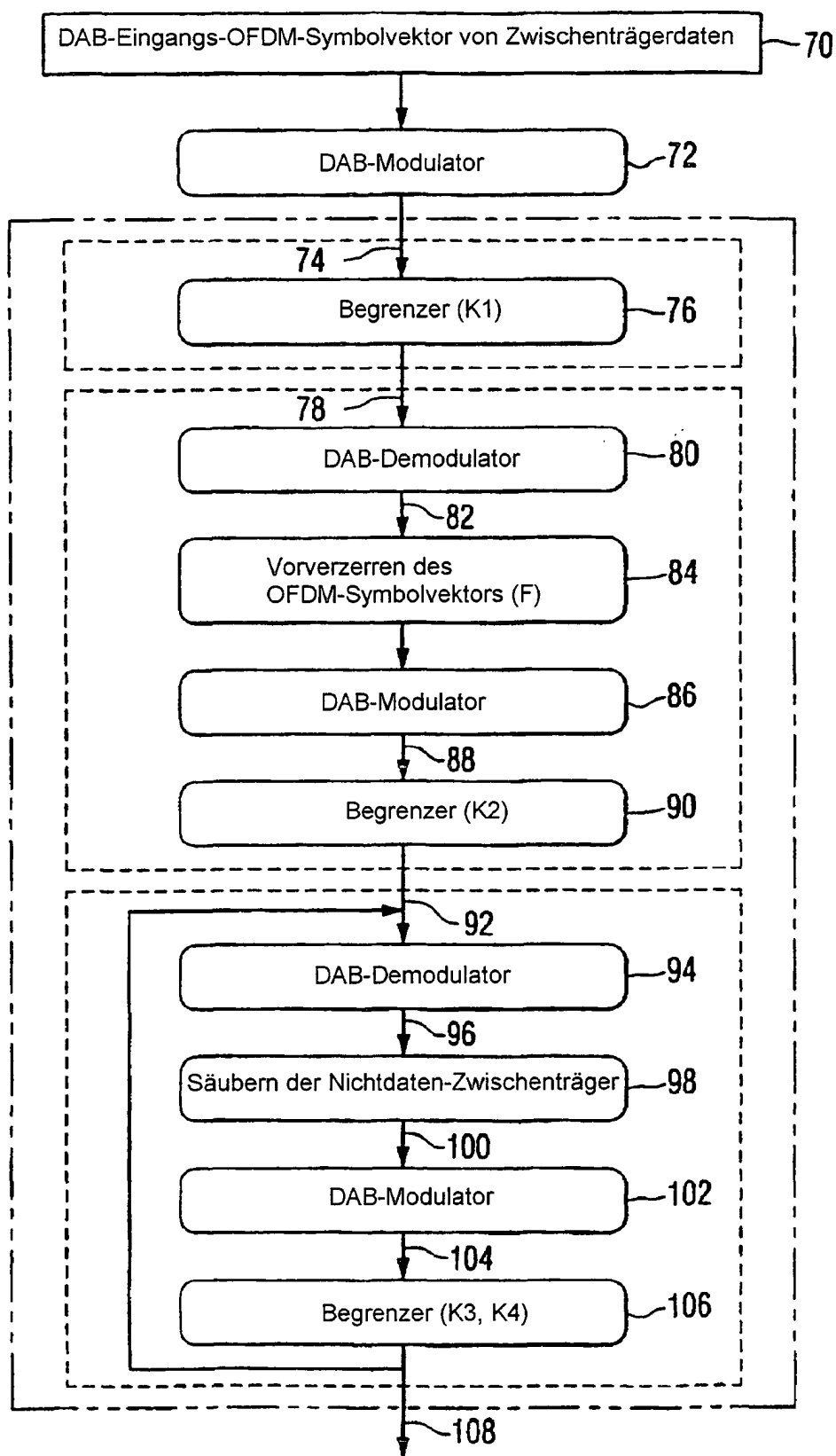


FIG. 6

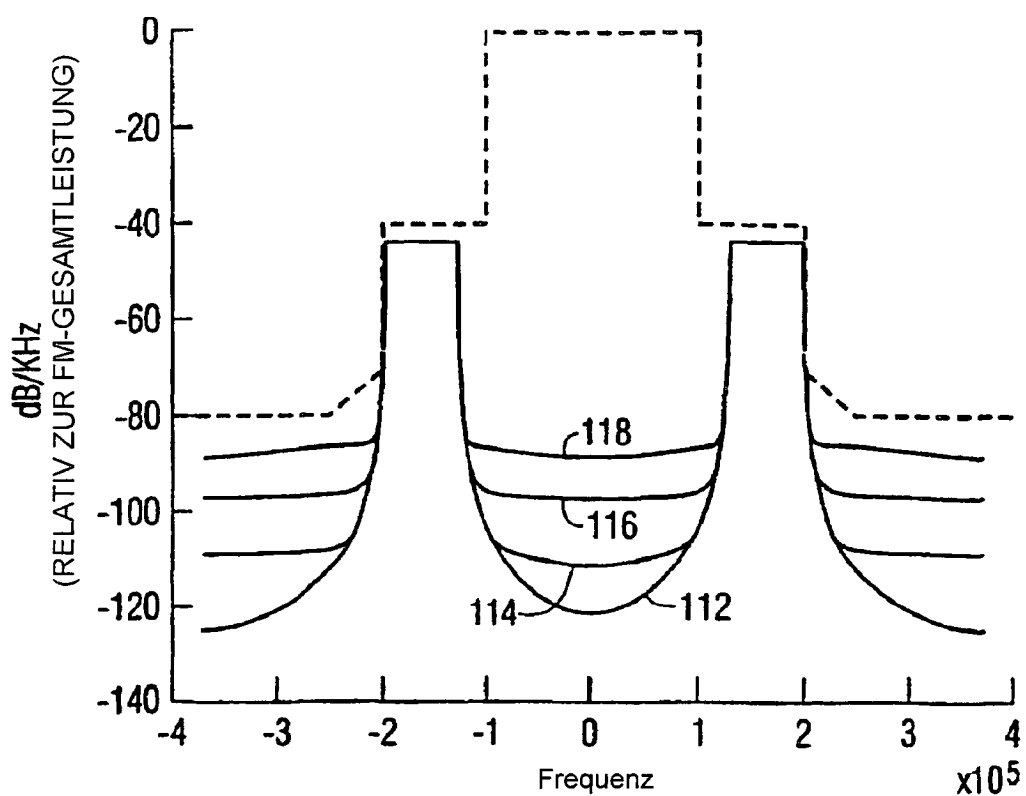


FIG. 8

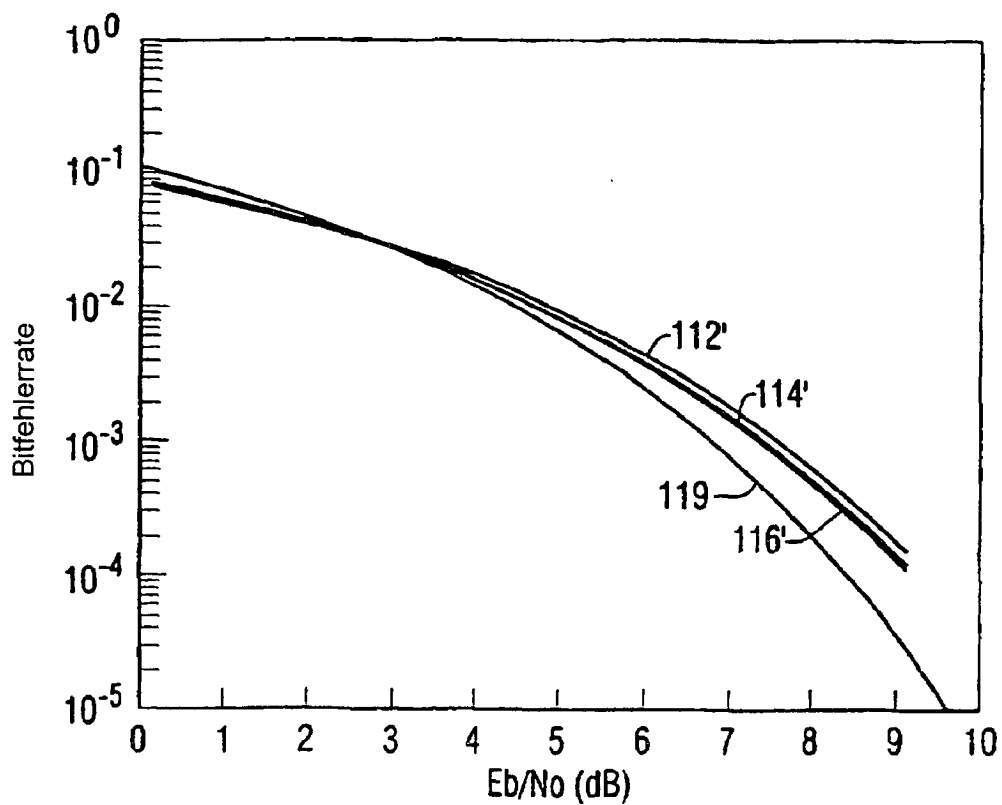


FIG. 9

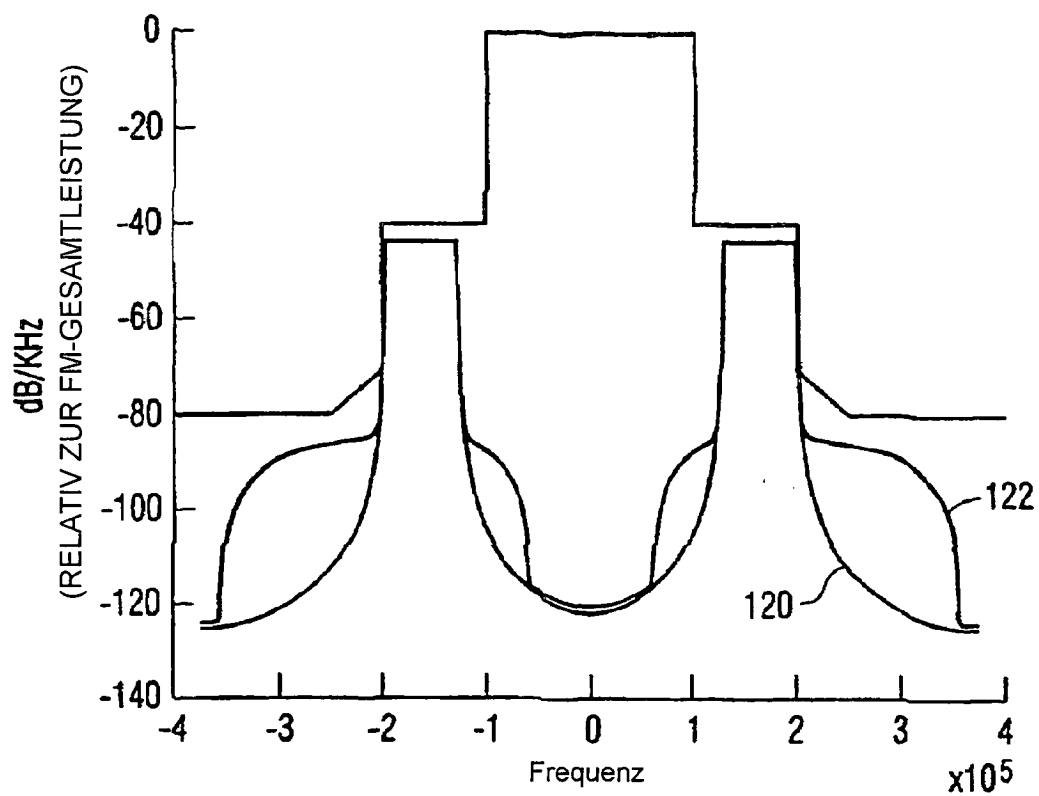


FIG. 10

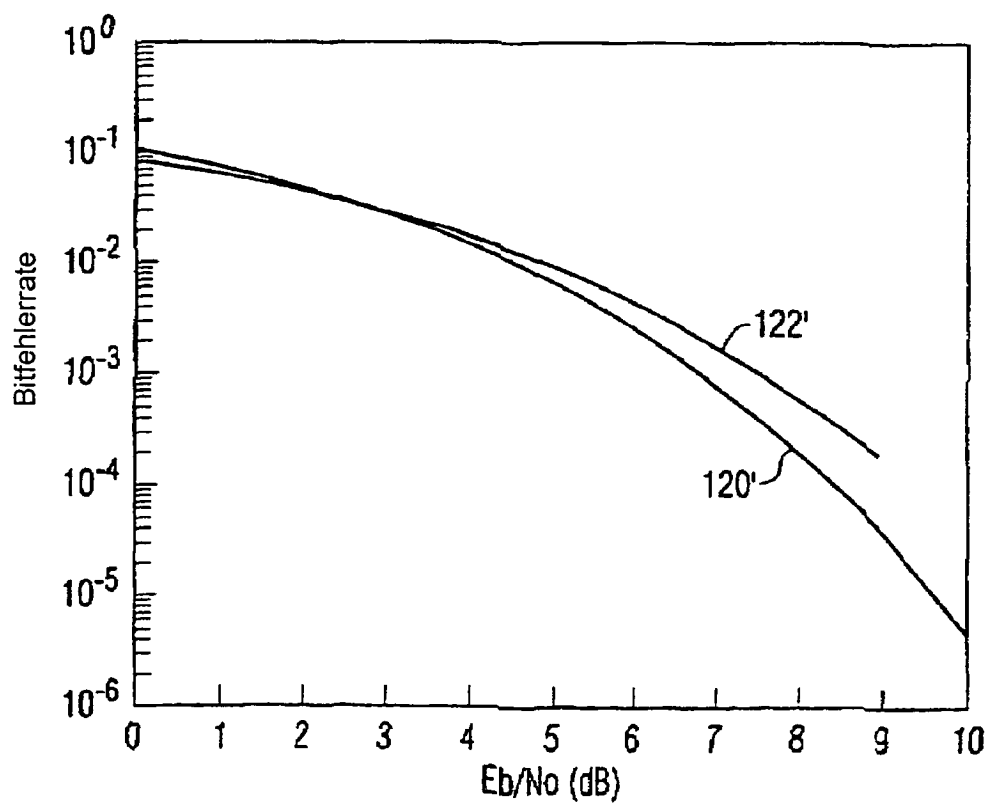
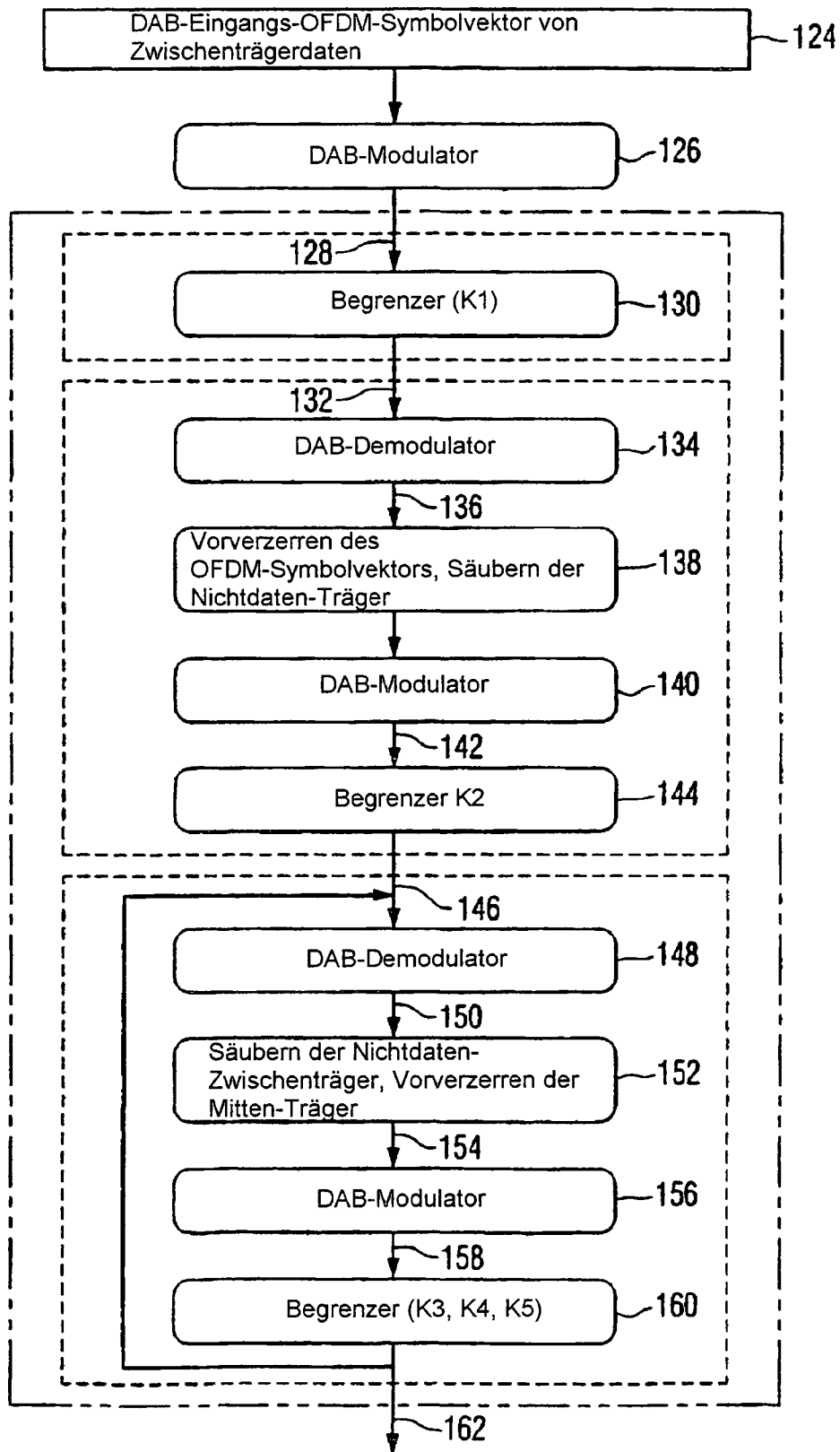


FIG. 11

**FIG. 12**

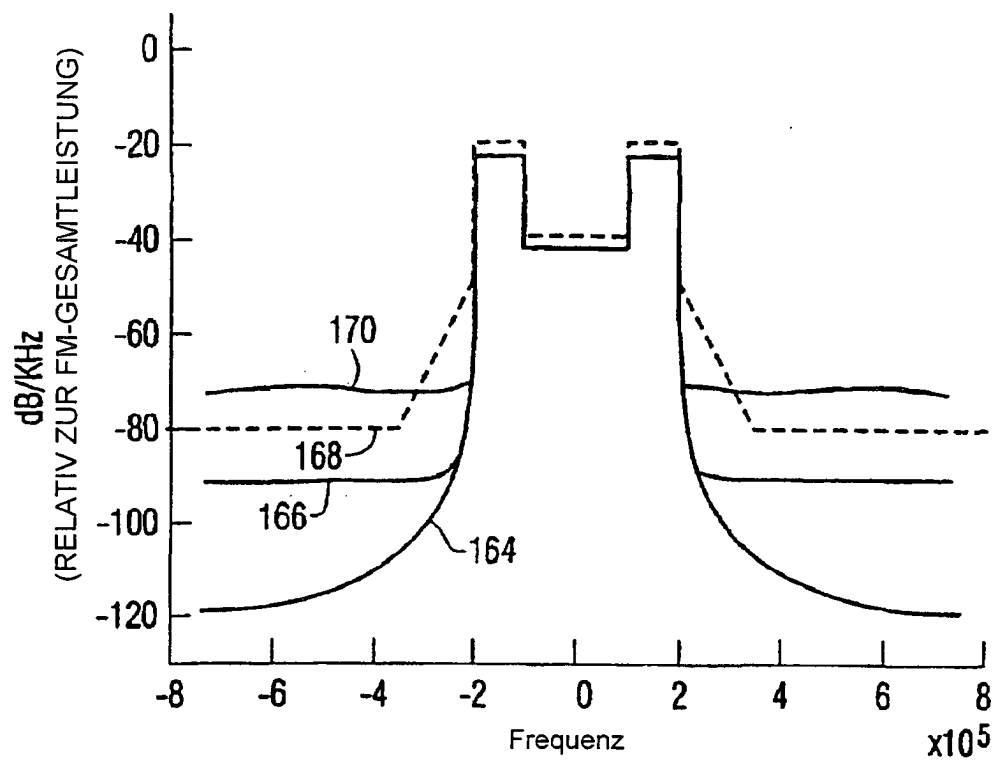


FIG. 13

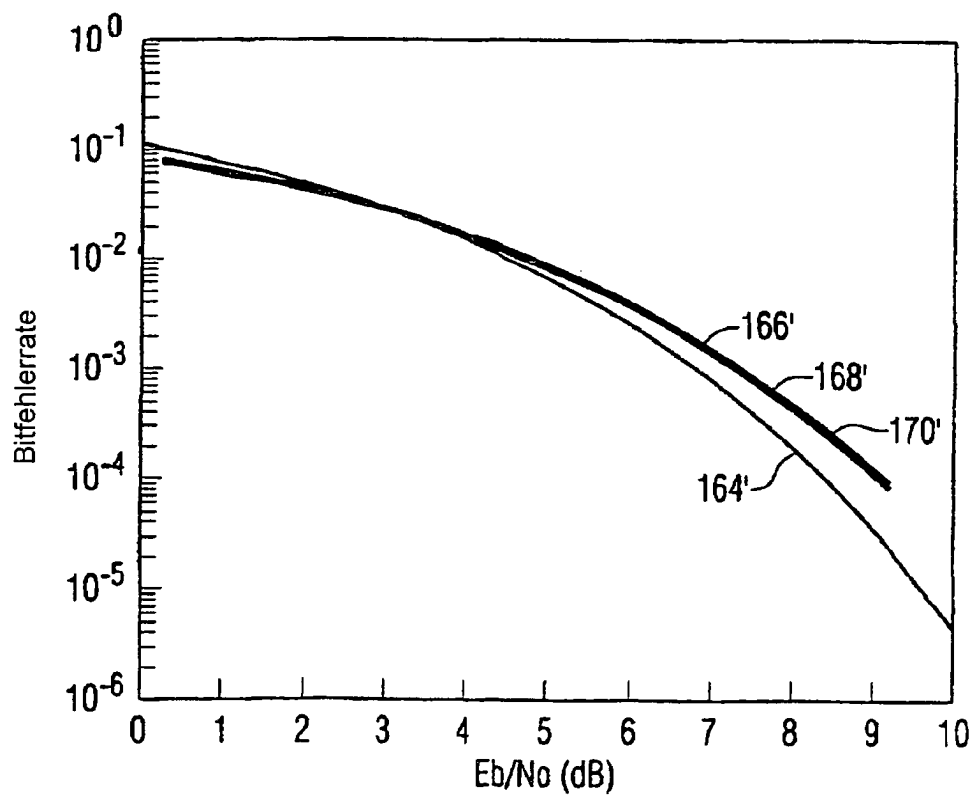


FIG. 14

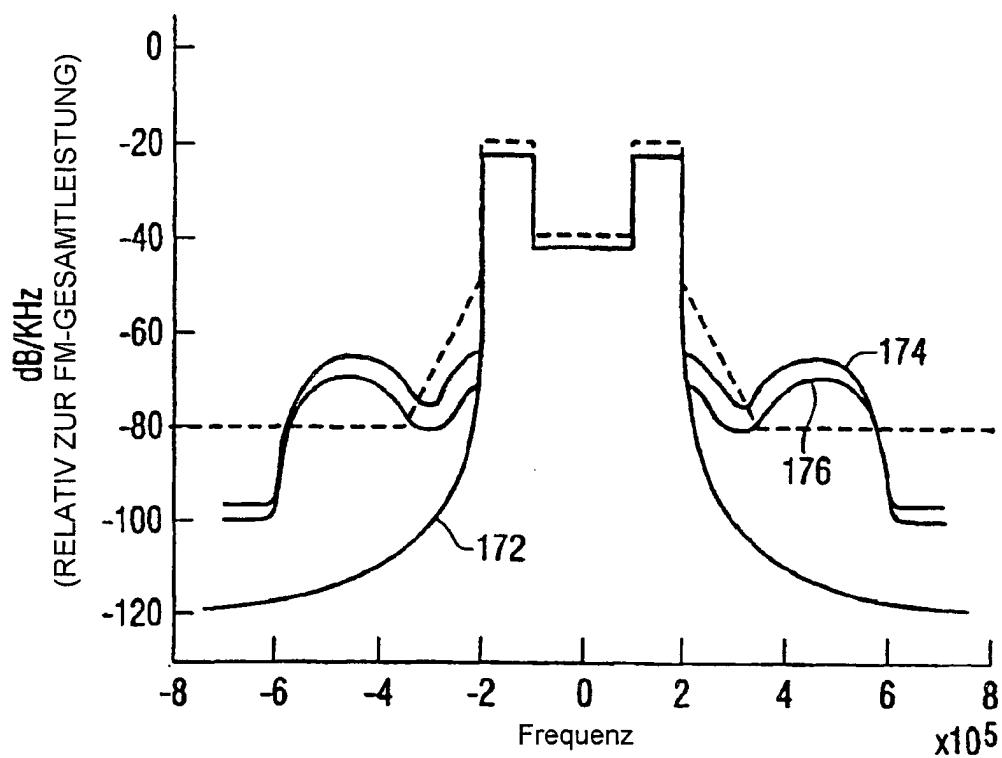


FIG. 15

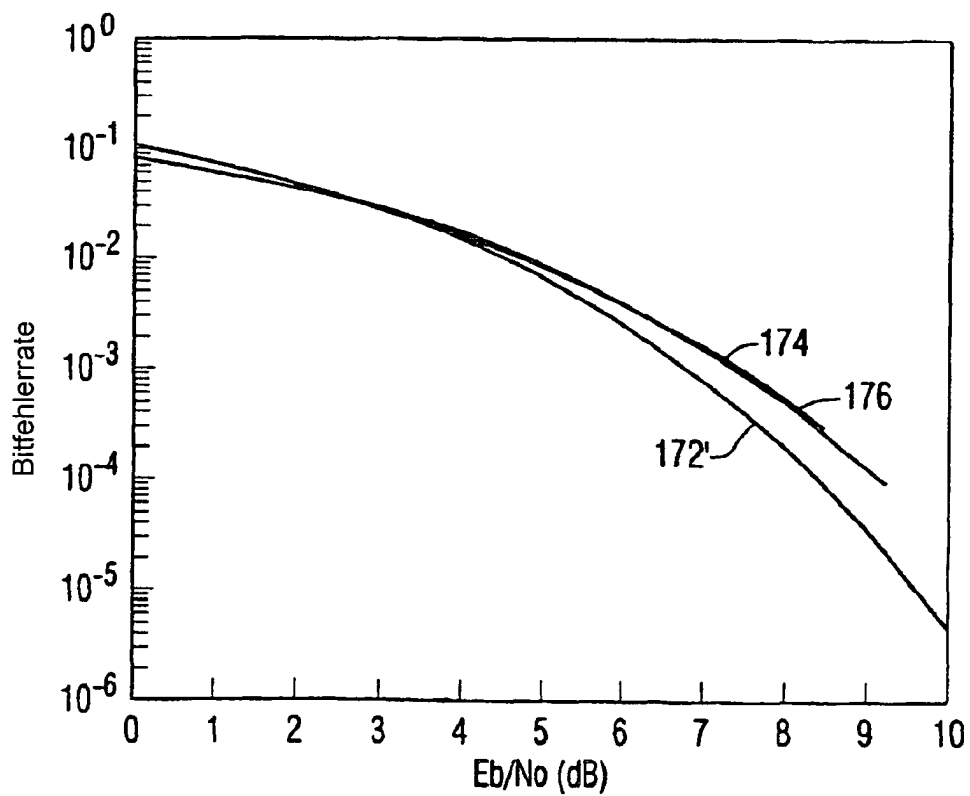


FIG. 16