



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 05 961 T2 2004.09.09**

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 196 987 B1**

(51) Int Cl.⁷: **H03F 1/32**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 05 961.8**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/FR00/01977**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 949 683.7**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 01/006642**

(86) PCT-Anmeldetag: **07.07.2000**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **25.01.2001**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **17.04.2002**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **15.10.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **09.09.2004**

(30) Unionspriorität:
9909275 16.07.1999 FR

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB, IT, LU

(73) Patentinhaber:
Thales, Paris, FR

(72) Erfinder:
PERRIN, Olivier, 94117 Arcueil Cedex, FR; ANDRE, Frederic, 94117 Arcueil Cedex, FR

(74) Vertreter:
Spott & Weinmiller, 82340 Feldafing

(54) Bezeichnung: **LINEARISIERER FÜR MIKROWELLENVERSTÄRKER**

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

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf Mikrowellenverstärker.

[0002] Diese Verstärker können entweder als Wanderfeldröhre oder in Halbleitertechnologie hergestellt werden. Sie finden insbesondere in der Nachrichtentechnik und Radartechnik Anwendung.

[0003] Eine einzelne Verstärkerstufe hat unweigerlich einen Verstärkungsgrad, der ab einer bestimmten Eingangsleistung abnimmt, im allgemeinen unterhalb der Sättigungsenergie, bei der die Verstärkerstufe arbeiten soll, um einen ausreichenden Wirkungsgrad zu erreichen. Daraus ergeben sich Verzerrungen im übertragenen Signal, die ihrerseits Interferenzen zwischen Symbolen ergeben, die umso störender sind, je dichter das Durchlaßband ausgenutzt wird. Letzteres ist aber das verfolgte Ziel, insbesondere in der Nachrichtentechnik. Die Verzerrungen haben den weiteren Nachteil, daß sie gegenüber Temperaturänderungen nicht stabil sind.

[0004] Daher verwendet man Vorrichtungen, die eine Mikrowellen-Verstärkerstufe linearisieren sollen und deren gemeinsames Ziel es ist, die Nichtlinearitäten der Verstärkerstufe so zu korrigieren, daß ein konstanter Verstärkungsgrad der Verstärkerstufe bis in die Nähe der Sättigungsleistung und im ganzen Frequenzbereich der Stufe in einem Temperaturbereich entsprechend den Arbeitsbedingungen des Geräts gewährleistet ist.

[0005] Im wesentlichen unterscheidet man im Stand der Technik drei Arten von Linearisierungsvorrichtungen:

Die erste Art besteht aus Linearisierungsvorrichtungen mit Rückkopplungsschleife, in denen die Parameter der Amplitude und der Phase des Ausgangssignals der Verstärkerstufe gemessen werden und daraus Korrekturen abgeleitet werden, die an das Eingangssignal anzulegen sind, damit man ein lineares Ausgangssignal erhält (siehe insbesondere die Patente US 4 291 277, US 5 598 127, US 5 422 598, US 5 469 114, US 5 524 285 und US 5 722 076). Aufgrund der durch die Rückkopplungsschleife hervorgerufenen Verzögerung sind diese Vorrichtungen für Frequenzen des Durchlaßbands oberhalb von 100 MHz unbrauchbar.

Die zweite Art besteht aus Linearisierungsvorrichtungen mit offener Schleife, in denen verschiedene Techniken der digitalen Signalverarbeitung auf die Amplituden-, Phasen oder Impulskomponenten des Signals angewendet werden, um die Verzerrungen zu korrigieren (siehe insbesondere die Patente US 5 760 646, US 5 877 653 und US 5 886 573). Diese Vorrichtungen erfordern den Rückgriff auf komplexe Techniken der digitalen Signalverarbeitung und die Verwendung spezifischer Schaltungen, die an die Form der ausgesendeten Welle angepaßt sind. Dieser Weg ist derzeit wegen der Grenzen der Halbleitertechnologie für Trägerfrequenzen oberhalb einiger Gigahertz nicht praktikierbar.

Die dritte Art besteht aus Linearisierungsvorrichtungen mit Vorverzerrung, in denen das Eingangssignal vor dem Eingang in die Verstärkerstufe einer Verzerrung des Verstärkungsgrads unterworfen wird, die mit der Eingangsleistung zunimmt und möglichst genau die symmetrische Verzerrung der Verstärkerstufe kompensiert.

[0006] Die vorliegende Erfindung gehört zu dieser dritten Art (ebenso wie US 4 878 030, US 5 146 177, US 5 291 148, US 5 523 716, US 5 576 660 und US 5 736 898, wobei die letztgenannte Patentschrift von Kohl et al. den Stand der Technik bildet, auf den sich die vorliegende Erfindung bezieht).

[0007] In dem Patent von Kohl et al., dessen Prinzipschema in **Fig. 1** dargestellt ist, gelangt das Signal vom Eingang **10** an einen Separator **20**, bestehend aus zwei identischen Schottky-Dioden **22** und **23**, die parallel zwischen zwei Koppelschaltungen **21** und **24** angeschlossen sind. Die Parameter der Dioden sind so gewählt, daß die Separatorvorrichtung in Richtung auf einen sogenannten Kompressionskanal **30** nur Signale geringer Amplitude durchläßt, während die Signale großer Amplitude in einen anderen Kanal reflektiert werden, der Expansionskanal **40** genannt wird und an einen der Zweige des Eingangskopplers angeschlossen ist, sodaß diese Signale an einen Verstärker **50** gelangen. Der Kompressionskanal und der Expansionskanal werden durch einen Kombiekoppler **80** wieder kombiniert und gelangen an den Eingang **90** der Verstärkerstufe. Die Kanäle **30** und **40** sind je mit Phasensteuervorrichtungen **60** und **70** versehen.

[0008] Die Vorrichtung bietet den theoretischen Vorteil, daß eine automatische Steuerung der Phase des reflektierten Signals erfolgt. Dieser theoretische Vorteil läßt sich jedoch aufgrund der Streuung der Herstellungs- und Betriebsparameter der Dioden schwer in der Praxis realisieren. Wenn zudem die Separiervorrichtung von den idealen Betriebsbedingungen, die mit zwei identische Dioden erreicht werden, abweicht, stört das reflektierte Signal das Eingangssignal aufgrund eines Reflexionskoeffizienten, der sich mit der Eingangsleistung ändert.

[0009] Ziel der vorliegenden Erfindung ist es, diese Mängel des Stands der Technik zu korrigieren.

[0010] Hierzu ist Gegenstand der Erfindung eine Vorrichtung zur Linearisierung für eine Mikrowellen-Verstärkerstufe mit einem Eingang, gefolgt von einem Separator, der selektiv abhängig vom Pegel selektiv ist und unmittelbar einen Kompressionskanal und mittels Reflexion einen Expansionskanal speist, während die Ausgangssignale der beiden Kanäle über einen Kombinationskoppler gekoppelt und an die Verstärkerstufe weitergeleitet werden, dadurch gekennzeichnet, daß der Separator einen Zirkulator enthält, dessen Eingangszugang an den Eingang der Vorrichtung angeschlossen ist, daß eine einzige abhängig vom Pegel selektive Reflexionsschaltung hinter dem Eingangs-Ausgangs-Zugang des Zirkulators liegt, auf den einer der Kanäle folgt, und daß der Aus-

gangszugang des Zirkulators an den anderen Kanal angeschlossen ist.

[0011] Die Vorrichtung enthält weiter auf dem Kompressions- oder Expansionskanal eine Phasensteuerschaltung, die gemäß einem gewählten Phasenkompensationsgesetz eingestellt ist, und eine Amplitudensteuerschaltung.

[0012] Die Vorrichtung ist weiter durch Mikrowellenleiterstrecken auf dem Kompressions- und dem Expansionskanal gekennzeichnet, die im wesentlichen gleich sind.

[0013] Die Vorrichtung kann schließlich auch aus Bauelementen bestehen, die im passiven Modus arbeiten.

[0014] Die Erfindung, ihre verschiedenen Merkmale und Vorzüge werden nun anhand eines Ausführungsbeispiels und der beiliegenden Zeichnungen näher erläutert.

[0015] **Fig. 1** zeigt eine bekannte Linearisierungsschaltung mit Vorverzerrung. Sie wurde bereits beschrieben.

[0016] **Fig. 2** zeigt schematisch ein Beispiel für die Herstellung einer erfindungsgemäßen Linearisierungsvorrichtung mit Vorverzerrung.

[0017] **Fig. 3** zeigt schematisch, wie die Signale des Kompressions- und des Expansionskanals innerhalb der Linearisierungsvorrichtung gemäß der Erfindung kombiniert sind.

[0018] **Fig. 4** zeigt schematisch abhängig von der Eingangsleistung des Signals die Ausgangsleistung der erfindungsgemäßen Linearisierungsvorrichtung, die Ausgangsleistung der Verstärkerstufe ohne Linearisierungsvorrichtung und die Ausgangsleistung der Verstärkerstufe, die die erfindungsgemäße Linearisierungsvorrichtung enthält.

[0019] **Fig. 2** zeigt ein Beispiel einer Linearisierungsvorrichtung für eine erfindungsgemäße Mikrowellen-Verstärkerstufe. Wie in der vorausgegangenen Figur wird das Eingangssignal an einen Separator **20A** angelegt. Dieser Separator **20A** besteht jedoch nur aus zwei Elementen, nämlich einem Zirkulator **21A** und einer Schottky-Diode **22** anstelle von vier Elementen **21** bis **24** für den Separator **20**.

[0020] Die Schaltung der Schottky-Diode ist impedanzmäßig an die Signale geringer Amplitude angepaßt. Der Eingangsleistungspegel, an den die Diodeschaltung angepaßt ist, wird abhängig von den Betriebsparametern der zu linearisierenden Verstärkerstufe gewählt. Für diese Signale geringer Leistung wirkt die Schottky-Diode wie ein Kondensator. Die Art der Anpassung, die dem Fachmann bekannt ist, besteht darin, zwei Induktivitäten zu dem Kondensator hinzuzufügen, wobei die Werte der Induktivitäten aufgrund der Lösung der dem Fachmann bekannten Gleichungen gewählt werden, die die äquivalente Impedanz dieser Schaltung ergeben. Die Induktivitäten können sogar nur aus den Anschlußdrähten der Verdrahtung bestehen.

[0021] Für die Signale, deren Amplitude unter der liegt, an die die Schaltung ausgelegt ist, wird das Si-

gnal an den Kompressionskanal **30** übertragen.

[0022] Für die Signale einer Amplitude oberhalb der Amplituden, für die die Schaltung angepaßt ist, arbeitet die Schottky-Diode im Kurzschluß und das Signal wird zum Zirkulator **21A** reflektiert. Der Zirkulator enthält einen Eingangszugang **21B**, einen Eingangs-/Ausgangs-Zugang **21C** und einen Ausgangszugang **21D**. Wie der Fachmann auf dem Mikrowellengebiet weiß, bietet ein Zirkulator eine ausgezeichnete Isolierung des reflektierten Signals gegenüber dem Eingangssignal. Das Signal wird also ohne Verzerrung des Eingangssignals an den Expansionskanal übertragen.

[0023] Eine justierbare Dämpfungsschaltung **50A** liegt im Kompressionskanal. Sie kann auch durch eine Verstärkerschaltung im Expansionskanal ersetzt oder in gewissen Fällen ergänzt werden. In jedem Fall geht es darum, die Wirkungen der Trennung der beiden Kanäle zu verstärken.

[0024] Eine justierbare Phasensteuerschaltung **60** liegt entweder im Kompressions- oder im Expansionskanal. Diese Schaltung erlaubt es, die Phasenveränderung abhängig von den Merkmalen der Verstärkerstufe einzustellen. Die Einstellung kann so erfolgen, daß eine Phasenvoreilung am Ausgang der Vorrichtung erzeugt wird. Dies gilt, wenn die Verstärkerstufe eine Wanderfeldröhre ist. Die Justierung kann auch so erfolgen, daß eine Phasenverzögerung am Ausgang der Vorrichtung erzeugt wird. Dies gilt, wenn die Verstärkerstufe eine Halbleitervorrichtung ist. Wenn die Toleranzen bei der Herstellung der beiden Schaltungen gering sind, kann die Justierung für eine gleiche Art von Verstärkerstufe simuliert werden und keine Nachjustierung im Werk erforderlich machen.

[0025] Die Signale auf dem Kompressions- und dem Expansionskanal werden dann in einem klassischen Koppler **80** wieder kombiniert, und das Ausgangssignal **90** wird der Verstärkerstufe zugeführt.

[0026] **Fig. 3** zeigt in Form von Fresnel-Diagrammen, wie die für die erzeugten Signale repräsentativen Vektoren auf dem Kompressions- und Expansionskanal für zunehmende Pegel des Eingangssignals wieder kombiniert werden. Diese Darstellung entspricht einer Phasenvoreilung. Die **Fig. 3.1**, **3.2** und **3.3** zeigen drei Fälle der Rekombination zu einem Signal **300** aus den Signalen **100** des Kompressionskanals und den Signalen **200** des Expansionskanals. Der Pegel des Signals **200** nimmt mit dem Eingangssignal zu und das Ausgangssignal **300** vergrößert sich überproportional.

[0027] **Fig. 4** zeigt die Wirkung der Linearisierungsvorrichtung auf das Eingangssignal (in **Fig. 4.1**) und auf das Ausgangssignal der Verstärkerstufe (in **Fig. 4.3**), wobei man davon ausgeht, daß die Verstärkerstufe ein Signal gemäß **Fig. 4.2** erzeugen würde, wenn es keiner Linearisierungsvorrichtung unterworfen worden wäre. **Fig. 4.1** zeigt einen mit der Eingangsleistung P_e zunehmenden Verstärkungsgrad (P_s/P_e), **Fig. 4.2** zeigt einen abnehmenden Verstär-

kungsgrad und **Fig. 4.3** einen konstanten Verstärkungsgrad in einem weiten Bereich von Eingangsleistungen entsprechend den Betriebsbedingungen der Verstärkerstufe.

[0028] Die Kompressions- und Expansionskanäle haben im wesentlichen identische Mikrowellenlängen.

[0029] Die Bauelemente können ohne Stromversorgung sein. Die Vorrichtung hat dann einen rein passiven Betriebsmodus.

[0030] Die Bauelemente werden nach den dem auf dem Gebiet der Mikroelektronik versierten Fachmann bekannten Techniken angebracht. Die Schottky-Diode liegt entweder in Form eines nackten Chips auf einer Mikroschaltung eines Dünnschichtoder Dick-schicht-Aluminiumoxidssubstrats je nach der Betriebsfrequenz oder als ein CMS-Gehäuse (Bauelement, das auf die Fläche aufgebracht ist) auf einer noch preisgünstigeren Druckschaltung vor.

[0031] Anstelle einer Schottky-Diode könnte man auch ein anderes begrenzendes Bauelement mit nichtlinearer Wirkung verwenden, beispielsweise einen Feldeffekttransistor.

[0032] Obwohl die Erfindung besonders interessant für hohe Frequenzen jenseits von 5 GHz ist, zum Beispiel zwischen 10 und 20 GHz, kann sie doch auch in anderen Frequenzbändern Anwendung finden.

hängig von einem gewählten Phasenkompensationsgesetz justiert ist.

5. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Kompressionskanal (**30**) eine justierbare Dämpfungsschaltung (**50A**) enthält.

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Expansionskanal (**40**) eine Verstärkerschaltung mit variablem Verstärkungsgrad enthält.

7. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Kompressionskanal (**30**) und der Expansionskanal (**40**) im wesentlichen gleich lange Mikrowellen-Leiterstrecken besitzen.

8. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß sie im wesentlichen aus passiven Bauelementen besteht.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Linearisierung für eine Mikrowellen-Verstärkerstufe mit einem Eingang (**10**), gefolgt von einem Separator (**20A**), der abhängig vom Pegel selektiv ist und unmittelbar einen Kompressionskanal (**30**) und mittels Reflexion einen Expansionskanal (**40**) speist, während die Ausgangssignale der beiden Kanäle über einen Kombinationskoppler (**80**) gekoppelt und an die Verstärkerstufe weitergeleitet werden, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Separator einen Zirkulator (**21A**) enthält, dessen Eingangszugang (**21B**) an den Eingang (**10**) der Vorrichtung angeschlossen ist, daß eine einzige abhängig vom Pegel selektive Reflexionsschaltung (**22**) hinter dem Eingangs-Ausgangs-Zugang (**21C**) des Zirkulators liegt, auf den einer der Kanäle folgt, und daß der Ausgangszugang (**21D**) des Zirkulators an den anderen Kanal angeschlossen ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die einzige selektive Reflexionsschaltung (**22**) vom Begrenzertyp ist.

3. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 2, dadurch gekennzeichnet, daß die einzige pegelabhängig selektive Reflexionsschaltung (**22**) eine Schottky-Diode enthält, die in Ableitrichtung liegt.

4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß einer der beiden Kanäle eine Phasensteuerschaltung (**60**) enthält, die ab-

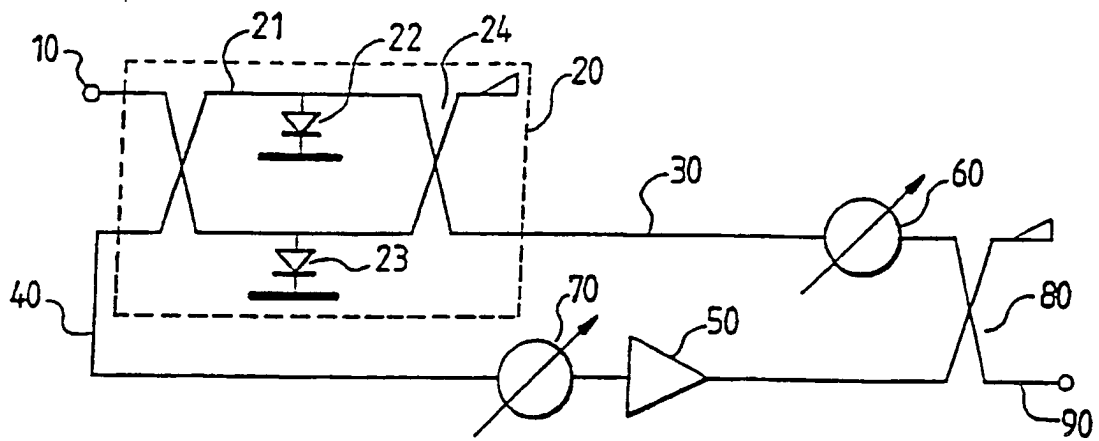


FIG.1

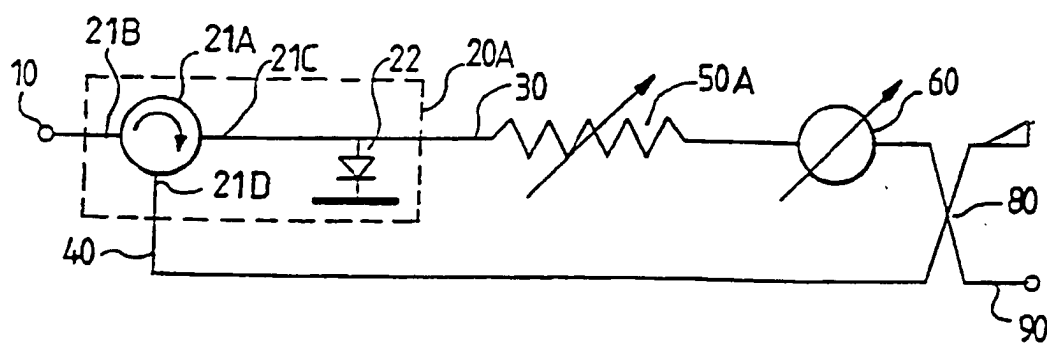


FIG.2

FIG.3

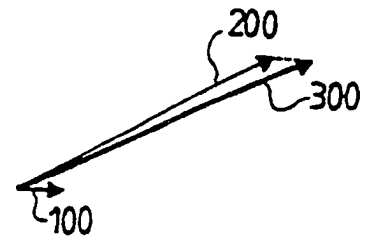
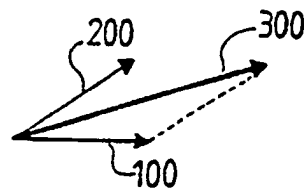
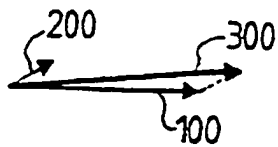


FIG.4

