



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 60 2005 001 259 T2 2007.10.04**

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 686 706 B1**

(51) Int Cl.⁸: **H04B 10/00 (2006.01)**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **60 2005 001 259.1**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **05 290 227.7**

(96) Europäischer Anmeldetag: **01.02.2005**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **02.08.2006**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **30.05.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **04.10.2007**

(73) Patentinhaber:

Alcatel Lucent, Paris, FR

(84) Benannte Vertragsstaaten:

AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LI, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR

(74) Vertreter:

Patentanwälte U. Knecht und Kollegen, 70435 Stuttgart

(72) Erfinder:

Charlet, Gabriel, 91190 Villiers-le-Baclet, FR; Bigo, Sebastien, 91300 Massy, FR; Barnasson, Eric, 91300 Massy, FR

(54) Bezeichnung: **Optischer Sender und Verfahren zur Modulation eines optischen Signals**

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] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Modulation eines optischen Signals und einen optischen Sender zur Durchführung des Verfahrens.

[0002] In der Literatur sind mehrere Verfahren zur Modulation optischer Übertragungssignale bekannt. Eines der bekanntesten ist die Technik der Modulation ohne Rückkehr zu Null (NRZ; "Non-Return to Zero"), die in [Fig. 2](#) dargestellt ist. Beim NRZ-Verfahren wird jedes logische Bit (logisch "1"-Impuls) mit einer Pulsweite gleich der vollen Bitperiode $T = 1/B$ übertragen, wobei B die Bitrate ist, bei der die Impulse zu übertragen sind (in Bit/s).

[0003] [Fig. 2a](#) stellt ein Diagramm der Intensität (durchgehende Linie) und der Phase (gestrichelte Linie) eines typischen NRZ-modulierten optischen Signals eines Bitsignals von 16 aufeinander folgenden Bits mit drei Paaren aufeinander folgender "1"-Bit-Impulse dar. Die Intensität des optischen Signals zwischen zwei aufeinander folgenden "1"-Impulsen jedes Paares bleibt konstant und kehrt nicht zu Null zurück. [Fig. 2b](#) stellt das optische Spektrum des optischen NRZ-Signals von [Fig. 2a](#) dar.

[0004] [Fig. 2c](#) stellt in schematischer Form die häufigste Methode zur Erzeugung eines optischen NRZ-Signals dar: Eine Laserquelle **1** erzeugt ein optisches Dauerstrichsignal (Trägersignal), das durch ein elektrisches NRZ-Bitsignal mit der Bitrate B in einem folgenden ersten Mach-Zehnder-Modulator **2** moduliert wird. Der Modulator **2** wandelt das elektrische Bitsignal in eine Intensitätsmodulation des optischen Signals um, sodass ein optisches Ausgangssignal des NRZ-Typs erzeugt wird.

[0005] [Fig. 3](#) zeigt das Modulationsverfahren mit Rückkehr zu Null (RZ, "Return to Zero") als alternative Möglichkeit zur Modulation eines optischen Signals. Beim RZ-Verfahren kehrt die Intensität des optischen Signals zwischen zwei aufeinander folgenden "1"-Impulsen zu Null zurück, vgl. [Fig. 3a](#). Infolgedessen ist die Pulsweite nicht länger gleich der vollen Bitperiode T . Die Bandbreite des optischen Spektrums des optischen RZ-Signals, die in [Fig. 3b](#) dargestellt ist, ist breiter als diejenige des optischen NRZ-Signals von [Fig. 2b](#). Die häufigste Methode zur Erzeugung eines RZ-Signals wird in [Fig. 3c](#) dargestellt. Zuerst wird ein NRZ auf die in [Fig. 2c](#) dargestellte Weise erzeugt, und anschließend tritt das NRZ-Signal in einen zweiten Mach-Zehnder-Modulator **3** ein, an den ein sinusförmiges elektrisches Signal angelegt wird, wodurch eine sinusförmige Intensitätsmodulation des NRZ-Signals mit einer Informationsfrequenz (in Hz) erzeugt wird, die der Bitrate B (in Bits) entspricht. Infolgedessen wird das NRZ-Ein-

gangssignal des zweiten Modulators **3** in ein RZ-Ausgangssignal umgewandelt.

[0006] Bei einer Kanalrate von 40 Gb/s haben zahlreiche Studien gezeigt, dass [die Methode,] von den oben beschriebenen herkömmlichen Modulationstechniken auszugehen, die nur auf der Intensitätsmodulation beruhen, ein leistungsfähiges Mittel ist, um Ausbreitungsbeeinträchtigungen zu beherrschen und dadurch die Spielräume des Systems auszuweiten. Unter diesen Beeinträchtigungen stellen nichtlineare Effekte innerhalb des Kanals anerkanntermaßen bei 40 Gb/s den größten Nachteil dar.

[0007] Beim Übergang in eine (inhärent dispersive) Lichtwellenleiterverbindung wird ein optischer Impuls innerhalb eines gegebenen Wellenlängenmultiplex-(WDM)Kanals verbreitert und neigt, falls er von benachbarten Impulsen umgeben sein sollte, dazu, diese zu überlagern. Infolgedessen treten musterabhängige Interaktionen auf. Diese Interaktionen können durch die Impulskompression nicht vollständig rückgängig gemacht werden, da sie nichtlinear sind. Sie werden normalerweise als kanalinterne nichtlineare Effekte bezeichnet.

[0008] Mehrere Modulationsformate sind wegen ihrer hervorragenden Festigkeit gegenüber nichtlinearen Effekten im Vergleich zu herkömmlichen intensitätsmodulierten RZ-(mit Rückkehr zu Null) und NRZ-(ohne Rückkehr zu Null)Verfahren lobend erwähnt worden. Eine grundlegende Lösung gegen kanalinterne Effekte besteht darin, die Impulsverbreiterung einzudämmen, was durch die Kombination von Intensitäts- und Phasenmodulation erreicht werden kann.

[0009] Das in [Fig. 4](#) dargestellte CSRZ ("Carrier-Suppressed RZ") wurde zu diesem Zweck vorgeschlagen. In diesem Format wird die Phase jedes Bits eines RZ-Signals um π gedreht, siehe [Fig. 4a](#) (gestrichelte Linie). Das optische Spektrum des CSRZ-Signals ist in [Fig. 4b](#) dargestellt.

[0010] Eine herkömmliche Vorrichtung zur Erzeugung eines CSRZ-Signals ist in [Fig. 4c](#) dargestellt, die der in [Fig. 3c](#) dargestellten ähnlich ist. Im Gegensatz zu [Fig. 3c](#) weist das sinusförmige Signal, das den Modulator steuert, die halbe Informationsfrequenz auf, sodass sowohl Frequenz als auch Phase eines NRZ-Eingangssignals vom ersten Modulator **2** geändert werden. Darüber hinaus ist der zweite Mach-Zehnder-Modulator **3** vorzugsweise, jedoch nicht notwendigerweise, ein zweiarmiger Modulator. In der zweiarmigen Konfiguration wird das Sinussignal mit der Hälfte der Frequenz, die der Bitrate B entspricht, an beide Arme angelegt. Obwohl es besser als RZ ist, ist das CSRZ-Verfahren nicht sehr wirksam gegen kanalinterne nichtlineare Effekte.

[0011] Eine weitere Lösung besteht darin, eine sinusförmige Phase auf ein RZ-Signal anzuwenden, um CRZ-Signale ("Chirped RZ") zu erzeugen; CRZ geht jedoch mit einer erhöhten Spektralbreite des Kanals einher, die jenseits dessen liegt, was für WDM-Anwendungen mit 40 Gb/s akzeptabel ist.

[0012] Noch ein weiteres Verfahren zur Abschwächung der kanalinternen nichtlinearen Effekte ist das in **Fig. 5** dargestellte PAPRZ ("Pair-wise Alternate Phase RZ"), das im Grundsatz ähnlich wie CSRZ ist, jedoch mit einer Phasenrotation um π bei jedem zweiten Bit statt bei jedem Bit; siehe hierzu **Fig. 5a** zur Phasenrotation und **Fig. 5b** zum optischen Spektrum. Eine herkömmliche Vorrichtung zur Erzeugung eines PAPRZ-Signals wird in **Fig. 5c** dargestellt. Das Verfahren umfasst die in **Fig. 3c** dargestellte Anordnung zur Erzeugung eines RZ-Signals, gefolgt von einem dritten Modulator **4** zur Erzeugung einer Phasenverschiebung jedes zweiten Bits des RZ-Signals, auf das ein rechteckähnliches Taktsignal mit einer Frequenz gleich einem Viertel der Informationsfrequenz B angewendet wird. Das PAPRZ-Verfahren ist wirksamer gegen kanalinterne Effekte als CSRZ, hat jedoch den Nachteil, dass drei Modulatoren **2**, **3**, **4** benötigt werden.

[0013] Es gibt noch weitere Ansätze zur Rotation der Phase eines optischen Signals in einer stärker zufallsabhängigen (musterabhängigen) Weise, z. B. die Familie der Phasendifferenzmodulation (DPSK, für "Differential Phase Shift Keying"), namentlich DPSK mit Rückkehr zu Null (RZ-DPSK) oder DPSK ohne Rückkehr zu Null (NRZ-DPSK). Der Nachteil der Modulationstechniken aus der DPSK-Familie besteht darin, dass ein elektrischer Vordcodierer, ein temperaturstabilisierter Mach-Zehnder-Differential-decodierer und ein abgeglicherer Empfänger erforderlich sind. Ein weiteres Verfahren der musterabhängigen Phasenverschiebung ist die so genannte Binärübertragung mit geglättetem Phasenverlauf (PSBT für "Phase Shaped Binary Transmission"), für deren Anwendung ein elektrischer Vordcodierer und eine sorgfältige Steuerung der HF-Signalkette erforderlich sind.

[0014] Ein System nach dem bisherigen Stand der Technik ist aus US 2002/0005975 bekannt.

Gegenstand der Erfindung

[0015] Ziel der Erfindung ist die Bereitstellung eines Modulationsverfahrens, das besonders gegen nichtlineare kanalinterne Effekte wirksam ist, sowie eines optischen Senders zur Durchführung des Verfahrens.

Kurzbeschreibung der Erfindung

[0016] Dieses Ziel wird durch ein Verfahren gemäß der obigen Beschreibung erreicht, bei dem die Inten-

sität des optischen Signals mit einem NRZ-Bitsignal moduliert wird und bei dem die Phase des optischen Signals mit einem periodischen Phasenverschiebungssignal moduliert wird, das für jedes zweite, dritte oder weitere folgende Bit eine alternierende Phasenverschiebung um π erzeugt.

[0017] Alle oben beschriebenen Lösungen sind entweder nicht so leistungsfähig oder erfordern kostspieligere Erzeugungstechniken als die Erfindung. Das Verfahren der Erfindung verbindet den größten Teil der hervorragenden Festigkeit des PAPRZ-Verfahrens gegenüber kanalinternen Effekten mit der relativen Einfachheit des CSRZ-Verfahrens.

[0018] Für den Fachmann ist offensichtlich, dass die Reihenfolge der Schritte des Verfahrens gemäß der Erfindung umgekehrt werden kann, d.h., dass das Verfahren gemäß der Erfindung auch durchgeführt werden kann, indem zuerst die Phase des optischen Signals mit einer Phasenverschiebung um π für jedes zweite, dritte usw. Bit moduliert wird und anschließend die Intensität des optischen Signals mit einem NRZ-Bitsignal moduliert wird.

[0019] In einer bevorzugten Variante erzeugt das Phasenverschiebungssignal jedes zweite Bit eine alternierende Phasenverschiebung um π , wodurch ein optisches NRZ-Signal mit paarweise alternierender Phase (PAPNRZ) entsteht. Das PAPNRZ-Modulationsverfahren ist dadurch besonders vorteilhaft, dass die Komplexität des PAPNRZ-Erzeugungsverfahrens ähnlich derjenigen der RZ- und CSRZ-Formate ist, jedoch geringer als die des PAPRZ-Formats. Das PAPNRZ-Spektrum ist fast so schmal wie das von NRZ, was nahelegt, dass Anwendungen mit hoher Spektraldichte erreicht werden können (größer als 0,4 Bit/s/Hz, Obergrenze ist noch zu definieren). Die Intensität der Wellenform des optischen PAPNRZ-Signals liegt zwischen der Intensität eines NRZ-Signals und eines RZ-Signals.

[0020] Die Erfindung wird auch in einem optischen Sender zur Durchführung des obigen Verfahrens ausgeführt; er umfasst einen ersten Modulator, der die Intensität des optischen Signals mit einem NRZ-Bitsignal moduliert, und einen zweiten Modulator, der die Phase des optischen Signals mit einem periodischen Phasenverschiebungssignal moduliert, das jeweils jedes zweite, dritte oder weitere folgende Bit eine alternierende Phasenverschiebung um π erzeugt.

[0021] Die Modulation kann unter Verwendung von nur zwei in Kaskade geschalteten Modulatoren durchgeführt werden. Der erste Modulator erzeugt ein optisches NRZ-Signal aus einem kontinuierlichen optischen Signal, und der zweite sorgt für den Phasenwechsel um π bei aufeinander folgenden Bits des Signals. Das optische Signal kann zuerst den ersten

Modulator und anschließend den zweiten Modulator durchlaufen oder umgekehrt.

Zeichnung

[0022] In einer stark bevorzugten Ausführungsform moduliert der zweite Modulator die Phase des optischen Signals mit einem Phasenverschiebungssignal, das jeweils jedes zweite Bit eine alternierende Phasenverschiebung um π erzeugt. Das auf diese Weise erzeugte PAPNRZ-modulierte Signal hat die weiter oben erwähnten vorteilhaften Eigenschaften.

[0023] In einer weiteren Ausführungsform wird der erste Modulator mit der Bitrate mit einem elektrischen NRZ-Bitsignal gespeist. Die Bitrate B für eine Übertragung von Informationsdaten mit 40 GBit/s beträgt 43 GBit/s, wenn der üblichste Kopfteil (Overhead) mit Vorwärtsfehlerkorrektur (FEC) eingeschlossen ist.

[0024] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist der zweite Modulator mit mindestens einem rechteckigen Phasenverschiebungssignal mit wenigstens einem Viertel der Informationsfrequenz getaktet. Bei einer Übertragung mit 40 GBit/s beträgt die Informationsfrequenz des Phasenverschiebungssignals $40 \text{ GHz}/4 = 10 \text{ GHz}$ (Vorwärtsfehlerkorrektur (FEC) nicht eingeschlossen).

[0025] In einer weiteren Ausführungsform liefert eine kontinuierliche Lichtquelle, insbesondere eine Laserquelle, das optische Signal. Die Laserquelle erzeugt ein optisches Dauerstrichsignal als Trägersignal.

[0026] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform entsprechen der erste und/oder der zweite Modulator dem Mach-Zehnder-Typ, welches ein Typ ist, der vorteilhaft in Anwendungen mit hoher Bitrate eingesetzt wird.

[0027] In einer stark bevorzugten Ausführungsform ist der zweite Modulator ein zweiarmiger Mach-Zehnder-Modulator. Der zweiarmige Mach-Zehnder-Modulator besitzt im wesentlichen dieselbe Transferfunktion wie ein einarmiger Modulator, der erforderliche Spannungshub ist jedoch zweimal so klein (weil er in zwei [Arme] unterteilt ist). Der doppelarmige Ansatz ist besonders nützlich, wenn die Elektronik noch nicht genug ausgereift ist, um eine ausreichend hohe Spannung mit guten Eigenschaften bereitzustellen, z.B. bei heutigen Bitraten von ungefähr 40 GBit/s.

[0028] Weitere Vorteile können der Beschreibung und der beigefügten Zeichnung entnommen werden. Die oben und weiter unten erwähnten Merkmale können im Einklang mit der Erfindung entweder einzeln oder gemeinsam in jeder beliebigen Kombination genutzt werden. Die erwähnten Ausführungsformen sind nicht als erschöpfende Aufzählung zu verstehen, sondern sie haben vielmehr beispielhaften Charakter für die Beschreibung der Erfindung.

[0029] Die Erfindung wird in der Zeichnung dargestellt.

[0030] Fig. 1 stellt eine typische 16-Bit-Intensitäts-/Phasen-Wellenform (Fig. 1a) und das optische Spektrum (Fig. 1b) eines optischen NRZ-Signals mit paarweise alternierender Phase (PAPNRZ) dar, das nach einer Variante des Verfahrens gemäß der Erfindung erzeugt wird, und umfasst auch eine schematische Darstellung einer Ausführungsform des optischen Senders gemäß der Erfindung (Fig. 1c);

[0031] Fig. 2 zeigt eine entsprechende Darstellung für ein optisches NRZ-Signal (ohne Rückkehr zu Null);

[0032] Fig. 3 zeigt eine entsprechende Darstellung für ein optisches RZ-Signal (mit Rückkehr zu Null);

[0033] Fig. 4 zeigt eine entsprechende Darstellung für ein optisches CSRZ-Signal (mit Trägerunterdrückung und Rückkehr zu Null);

[0034] Fig. 5 zeigt eine entsprechende Darstellung für ein optisches PAPRZ-Signal (mit paarweise alternierender Phase und Rückkehr zu Null);

[0035] Fig. 6 zeigt vier Diagramme, in denen der Q-Faktor über der Eingangsleistung der optischen Signale aufgetragen ist, die mit dem PAPNRZ-, dem NRZ-, dem RZ- und dem CSRZ-Modulationsverfahren erzeugt wurden.

[0036] Fig. 1c stellt einen optischen Sender dar, der eine Laserquelle 1 umfasst, auf die ein erster und ein zweiter Mach-Zehnder-Modulator 2, 3 folgen. Die Laserquelle 1 erzeugt ein optisches Dauerstrichsignal, dessen Intensität im ersten Mach-Zehnder-Modulator 2 mit einem elektrischen NRZ- (ohne Rückkehr zu Null) Bitsignal moduliert wird, das eine Bitrate von $B = 40 \text{ GBit/s}$ aufweist (Vorwärtsfehlerkorrektur (FEC) nicht eingeschlossen), die der Bitrate einer (nicht dargestellten), sich daran anschließenden optischen Übertragungsleitung entspricht. Das Ausgangssignal des ersten Modulators 2 ist das in Fig. 2a dargestellte optische NRZ-Signal. Das optische NRZ-Signal dient als Eingang für den zweiten zweiarmigen Mach-Zehnder-Modulator 3. Der zweite Modulator 3 moduliert die Phase des optischen NRZ-Signals, indem er an jeweils jedem zweiten Bit des optischen NRZ-Signals eine alternierende Phasenverschiebung um π erzeugt. Zwischen aufeinander folgenden Bitpaaren wird ein Phasensprung von $\pm \pi$ ausgeführt, sodass aufeinander folgende Bitpaare eine alternierende Phasenfolge von $0, \pi, 0, \pi$ usw. aufweisen. Die Phasenverschiebung wird erzeugt, indem beide Arme des zweiten Mach-Zehnder-Modulators 3 mit einem Taktsignal mit einer Frequenz getaktet wer-

den, die gleich einem Viertel der Informationsfrequenz B ist (d.h., $40/4 = 10$ GHz, Vorwärtsfehlerkorrektur (FEC) nicht eingeschlossen). Das auf diese Weise im zweiten Mach-Zehnder-Modulator **3** erzeugte Ausgangssignal ist ein optisches Signal mit paarweise alternierender Phase ohne Rückkehr zu Null (PAPNRZ).

[0037] Von dem ersten Mach-Zehnder-Modulator **2** von [Fig. 1c](#) wird angenommen, dass er Chirp-frei ist. Der zweite Mach-Zehnder-Modulator **3** von [Fig. 1c](#) ist ein zweiarmiger Modulator mit einer Gesamtsteuerspannung von $2V_{\pi}$, und zwar unabhängig von der tatsächlichen Bauweise des Mach-Zehnder-Modulators (ein- oder zweiarmige Konfiguration). Selbstverständlich ist das in [Fig. 1c](#) dargestellte Verfahren zur Erzeugung von PAPNRZ-Signalen nur eines von mehreren möglichen Erzeugungsverfahren für dieses Format. Als Alternative besteht die Möglichkeit, eine Phasenverschiebung um π nur jedes dritte, vierte, usw. Signal durchzuführen.

[0038] Die Eigenschaften des in der oben beschriebenen Weise erzeugten PAPNRZ-Signals sind in [Fig. 1a](#) und [Fig. 1b](#) dargestellt. Die Intensität der Wellenform des optischen PAPNRZ-Signals liegt zwischen der Intensität eines NRZ-Signals und eines RZ-Signals. Das PAPNRZ-Spektrum ist fast so schmal wie das von NRZ, was nahelegt, dass Anwendungen mit hoher Spektraldichte erzielt werden können.

[0039] Die Leistung des PAPNRZ-Verfahrens wird in [Fig. 6](#) mit anderen Verfahren verglichen; in dieser Figur ist der berechnete Q-Faktor (in dB) nach 1.500 km über eine Einmodenfaser (SMF für "Single Mode Fiber") für ein optisches PAPNRZ-, NRZ-, RZ- und CSRZ-Signal (Vorkompensation und Nachkompensation optimiert, Kompensationsverhältnis in der Leitung pro Abschnitt = 97 %) in Abhängigkeit von der Leitung am Fasereingang dargestellt (in dBm) (hierbei werden sowohl Rausch- als auch nichtlineare Effekte berücksichtigt).

[0040] Man kann sehen, dass die optimale Leistung für ein PAPNRZ-Signal ungefähr 2 dB höher ist als diejenige eines NRZ-, RZ- und CSRZ-Signals, was die hervorragende Festigkeit des PAPNRZ-Formats gegenüber nichtlinearen Effekten veranschaulicht. Dieses Merkmal äußert sich in einem Spielraum des Q-Faktors, der im Vergleich zu den RZ- und CSRZ-Formaten um mehr als 1 dB und im Vergleich zum NRZ-Format um 1,5 dB verbessert ist.

[0041] In jedem Fall ist in [Fig. 6](#) die Ausbreitung nur eines einzigen Kanals eines WDM-Signals simuliert. Zahlreiche Studien haben jedoch gezeigt, dass das nichtlineare Nebensprechen in WDM-Systemen bei 40 GBit/s vernachlässigbar ist, was zu dem Schluss führt, dass die Kurven von [Fig. 6](#) ohne weiteres auf

eine WDM-Umgebung angewendet werden können.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Modulation eines optischen Signals, umfassend die folgenden Schritte:
Modulieren der Intensität des optischen Signals mit einem Bitsignal ohne Rückkehr zu Null; und
Modulieren der Phase des optischen Signals jedes zweite, dritte oder weitere folgende Bit mit einer alternierenden Phasenverschiebung um π unter Verwendung eines periodischen Phasenverschiebungssignals.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Phase des optischen Signals jeweils jedes zweite Bit mit einem optischen Signal mit alternierender Phasenverschiebung um π moduliert wird.

3. Optischer Sender zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, umfassend:
einen ersten Modulator (**2**), der die Intensität des optischen Signals mit einem Bitsignal ohne Rückkehr zu Null moduliert; und
einen zweiten Modulator (**3**), der die Phase des optischen Signals jedes zweite, dritte oder weitere folgende Bit mit einer alternierenden Phasenverschiebung um π unter Verwendung eines periodischen Phasenverschiebungssignals moduliert.

4. Sender nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite Modulator (**3**) das optische Signal jeweils jedes zweite Bit mit einem optischen Signal mit alternierender Phasenverschiebung um π moduliert.

5. Sender nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Modulator (**2**) mit einem elektrischen Bitsignal ohne Rückkehr zu Null auf der Informationsfrequenz (B) gespeist wird.

6. Sender nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite Modulator (**3**) mit mindestens einem rechteckförmigen Phasenverschiebungssignal mit einem Viertel der Informationsfrequenz (B) gespeist wird.

7. Sender nach Anspruch 3, gekennzeichnet durch eine kontinuierliche Lichtquelle, insbesondere eine Laserquelle (**1**), die das optische Signal liefert.

8. Sender nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der erste und/oder der zweite Modulator (**2**, **3**) dem Mach-Zehnder-Typ entsprechen.

9. Sender nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite Modulator (**3**) ein zweiarmiger Mach-Zehnder-Modulator ist.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

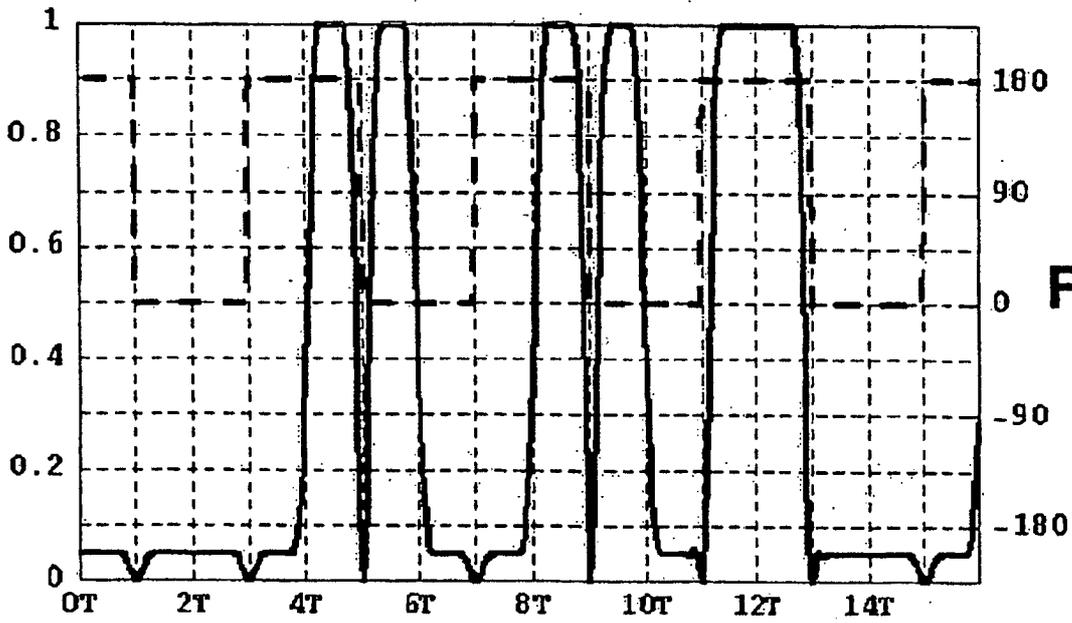


Fig. 1a

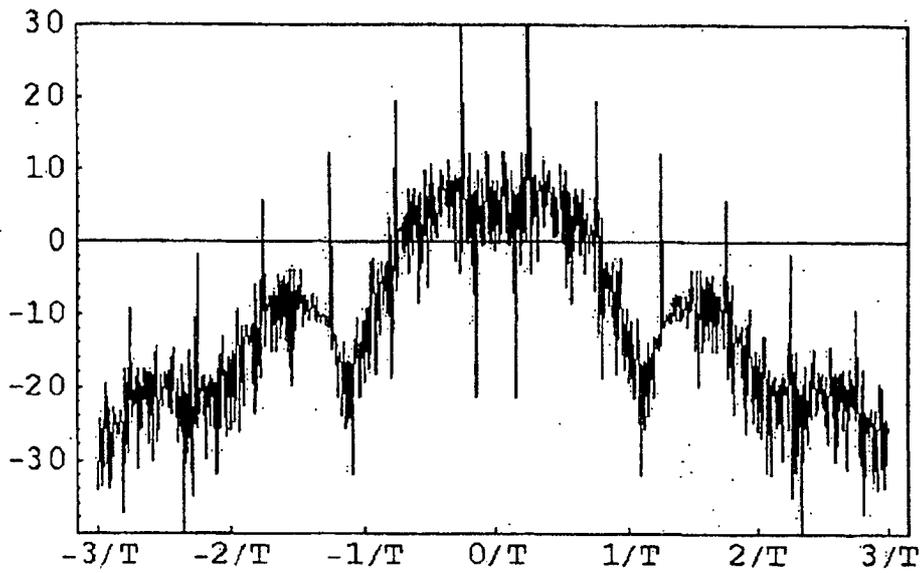


Fig. 1b

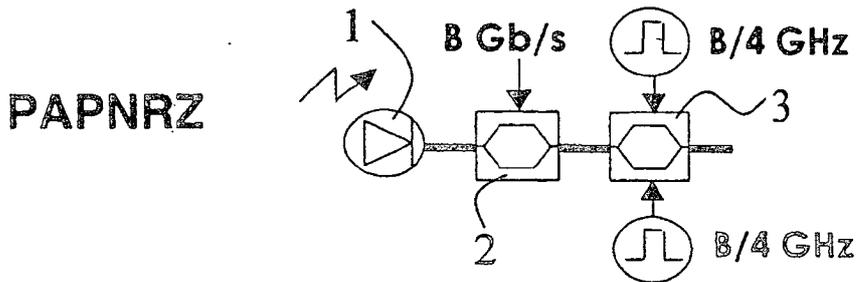


Fig. 1c

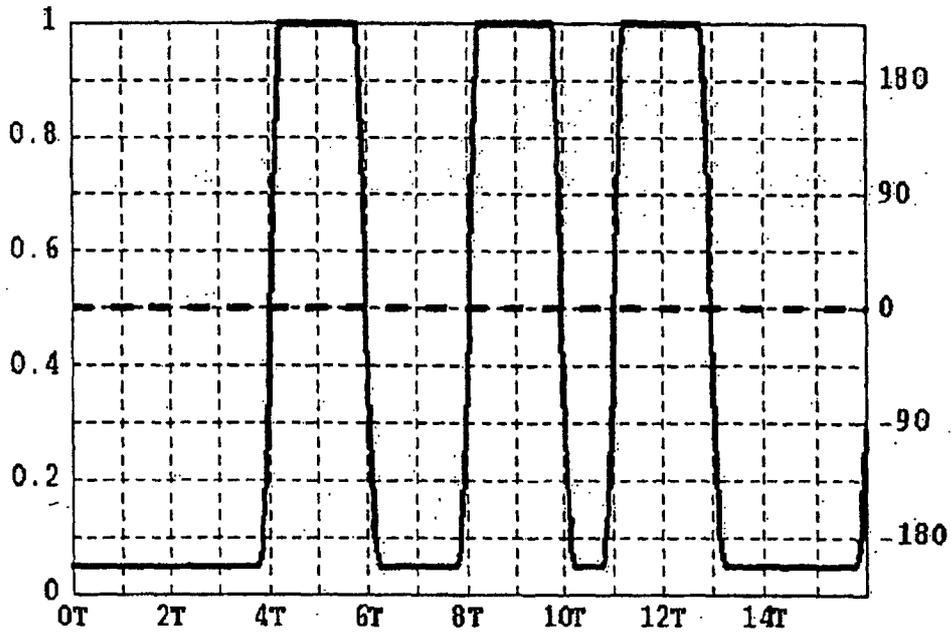


Fig. 2a

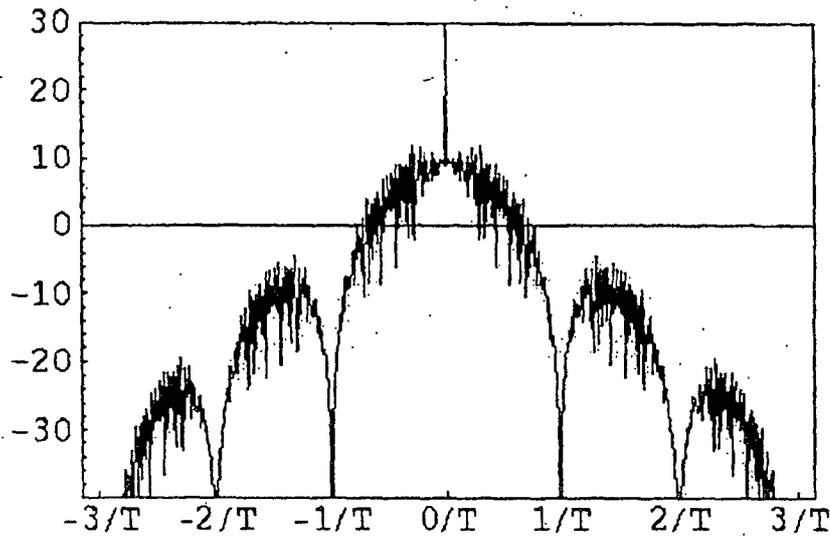


Fig. 2b

NRZ

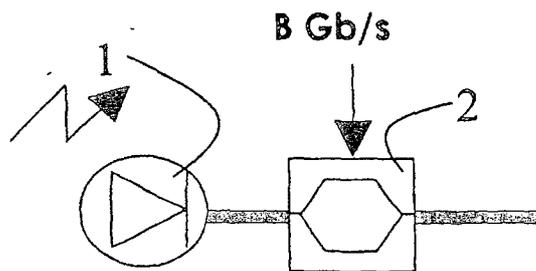


Fig. 2c

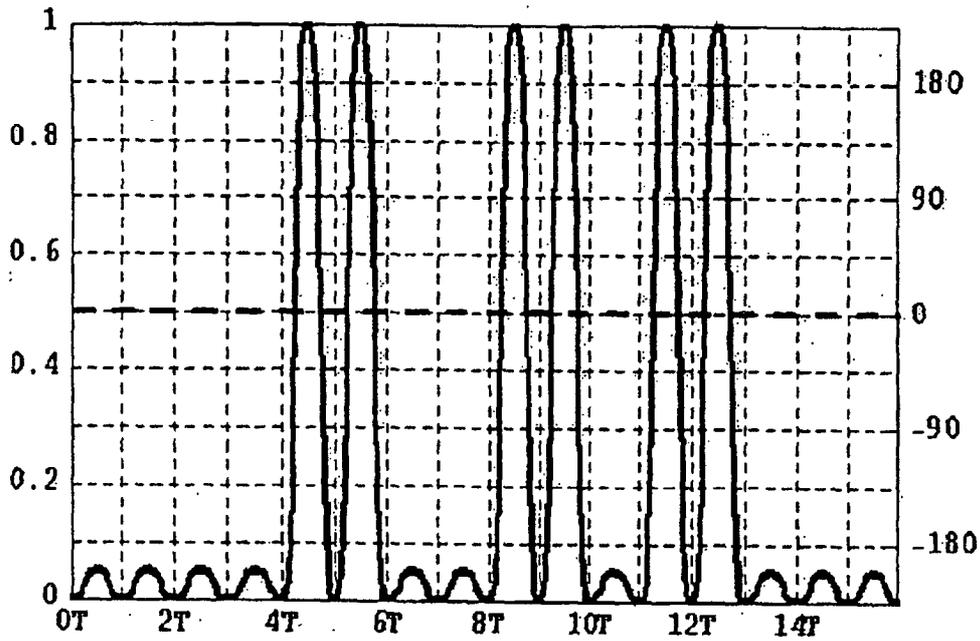


Fig. 3a

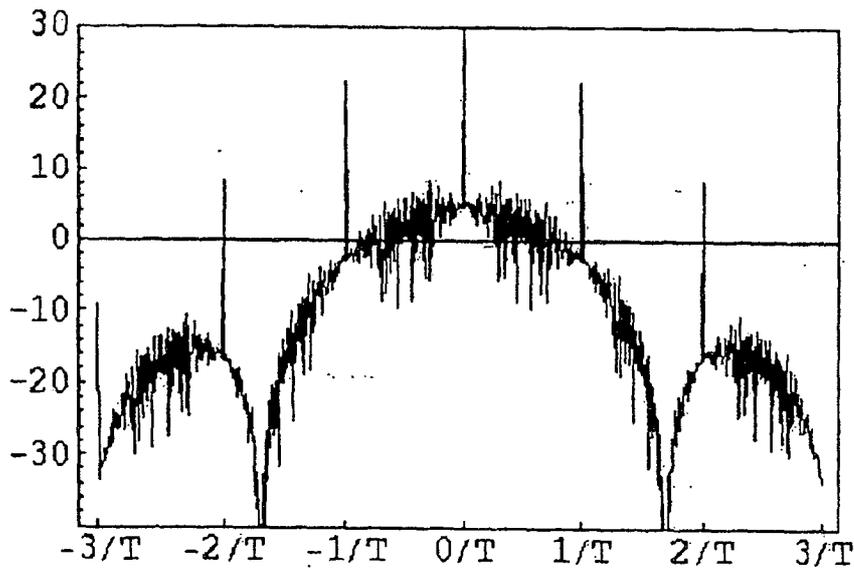


Fig. 3b

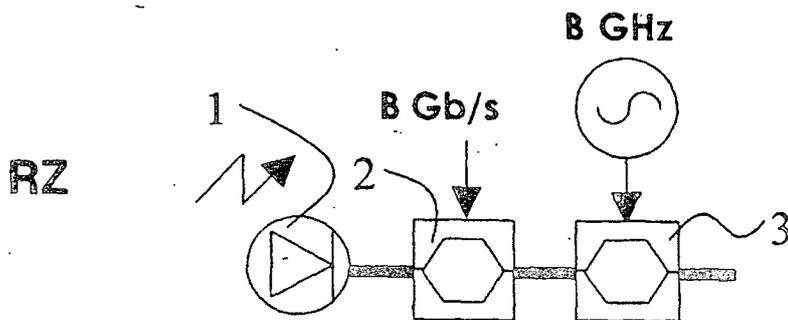


Fig. 3c

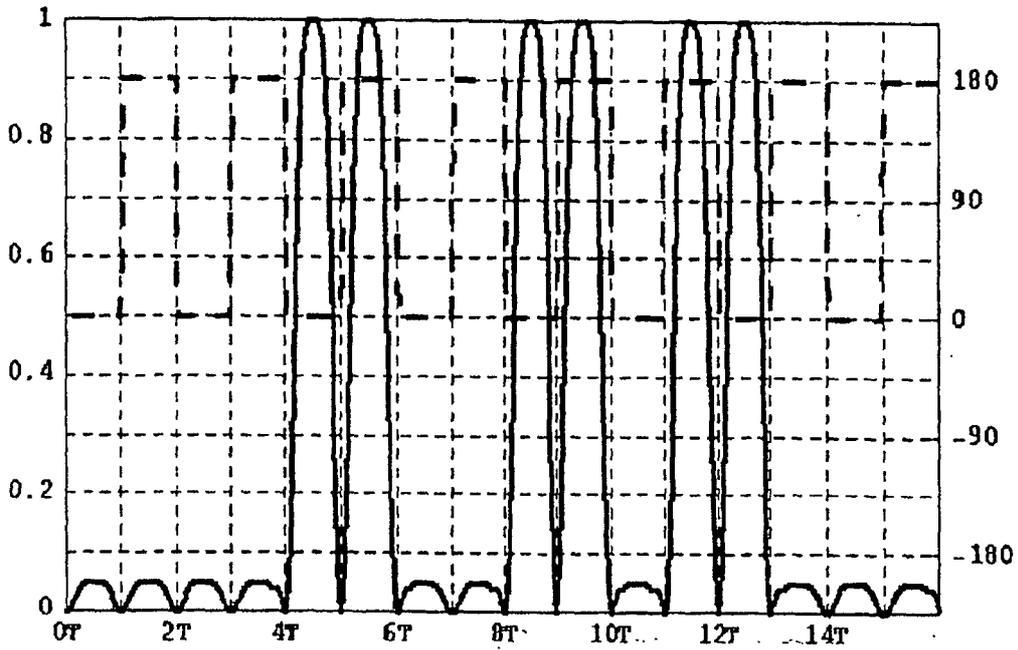


Fig. 4a

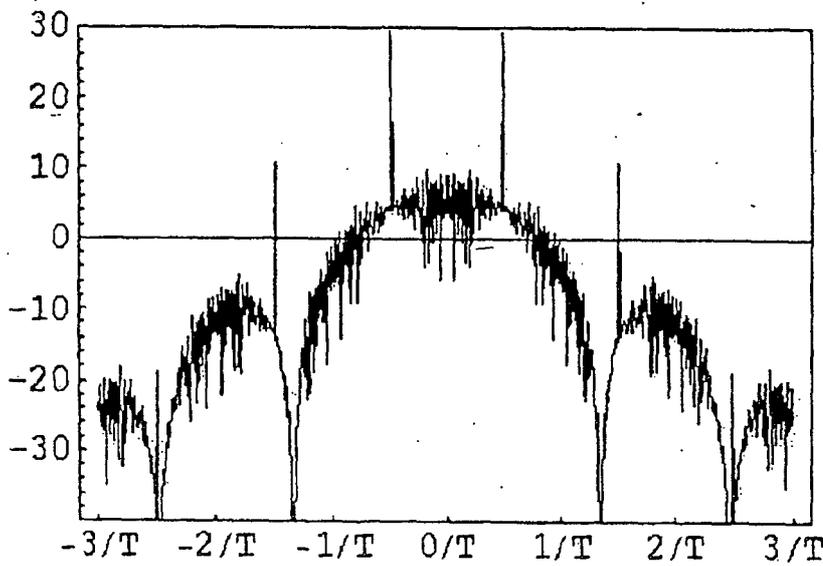


Fig. 4b

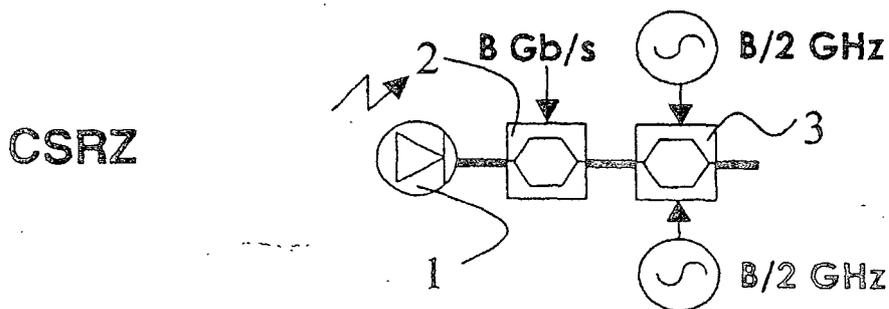


Fig. 4c

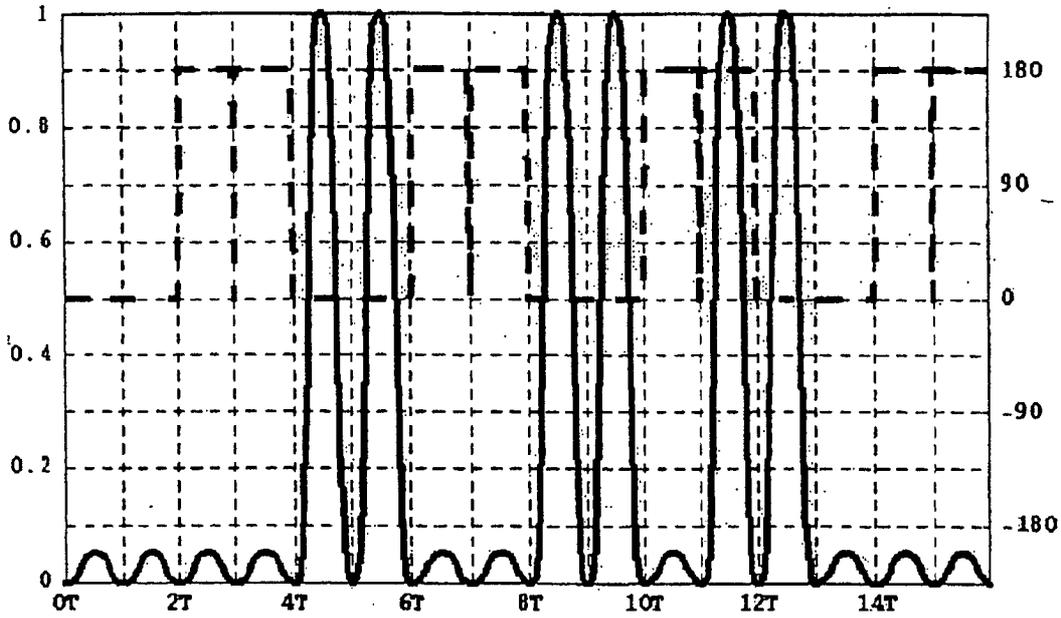


Fig. 5a

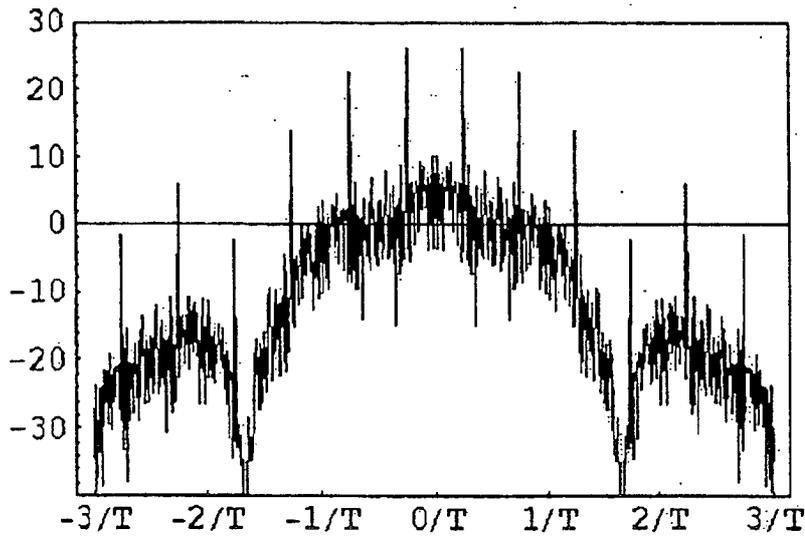


Fig. 5b

PAPRZ

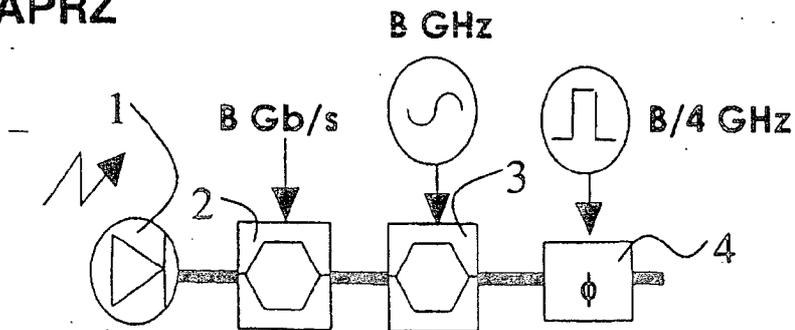


Fig. 5c

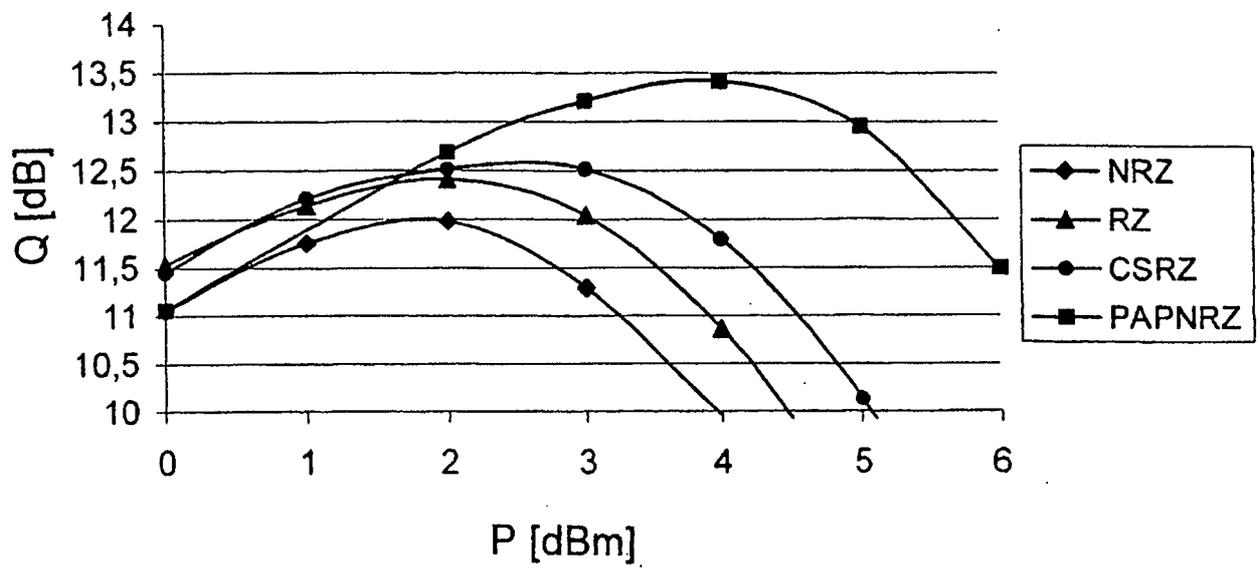


Fig. 6