

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2004-519944
(P2004-519944A)

(43) 公表日 平成16年7月2日(2004.7.2)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
H04B 10/02	H04B 9/00	5K102
H04B 10/00	H04B 9/00	
H04B 10/18		

審査請求 有 予備審査請求 未請求 (全 32 頁)

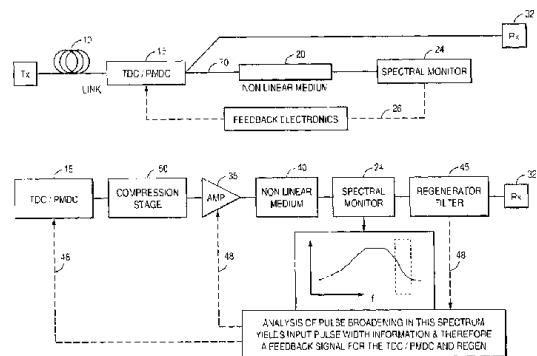
(21) 出願番号	特願2002-574267 (P2002-574267)	(71) 出願人	302003314
(86) (22) 出願日	平成14年3月13日 (2002.3.13)		ファイテル ユーエスエー コーポレーション
(85) 翻訳文提出日	平成15年2月19日 (2003.2.19)		Fitel USA Corp.
(86) 国際出願番号	PCT/US2002/007862		アメリカ合衆国 30071 ジョージア
(87) 国際公開番号	W02002/075967		, ノアクロス, ノースイースト エクスプレスウェイ 2000
(87) 国際公開日	平成14年9月26日 (2002.9.26)	(74) 代理人	100064447
(31) 優先権主張番号	60/276, 155		弁理士 岡部 正夫
(32) 優先日	平成13年3月15日 (2001.3.15)	(74) 代理人	100085176
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 加藤 伸晃
(81) 指定国	EP (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW	(74) 代理人	100106703
			弁理士 産形 和央
		(74) 代理人	100096943
			弁理士 白井 伸一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 スペクトル拡大ファイバを含む光通信システム

(57) 【要約】

本発明は非線形光ファイバにおけるパルス整形の効果을監視するためのシステムにおいて実施され、パルスのスペクトル成分は非線形ファイバを通過した後のパルスが如何に効果的に再生されたかを示す有用な指標を提供する。本発明に従えば、非線形ファイバを出たパルスの一部が分岐されて、選択された少なくとも一つのスペクトル領域におけるパルスエネルギーの測定が行われ、選択されたスペクトル領域はパルスが効果的に再生される時にエネルギーを得る領域である。



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

少なくとも幾つかの入力光パルスに対して非線形応答を有し、少なくともそのパルスのスペクトル広がりを生じさせる光要素と、
非線形要素を通過した光パルスのスペクトル広がりを示す測定を行うように構成された波長選択検出器と、
そして当該検出器との関係を受けて、システムの動作の過程で、当該測定値に応じて、診断信号即ちフィードバック信号を提供するように構成されたデバイス又は回路とを含むことを特徴とする光通信システム。

【請求項 2】

非線形要素は自己位相変調を現す光ファイバであることを特徴とする請求項 1 に記載の光通信システム。

【請求項 3】

非線形要素の上流側に置かれた可変分散補償器 (T D C) を含み、そしてそこでは当該デバイスもしくは当該回路が可変分散補償器を調節するためのフィードバック信号を提供するように構成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の光通信システム。

【請求項 4】

非線形要素の上流側に置かれた一つもしくは一つ以上の光増幅器を含み、そしてそこでは当該デバイスもしくは当該回路が少なくともその一つの前記増幅器へフィードバック信号を提供し、それによって非線形ファイバへ入力されるパルスの振幅を制御するように構成されてことを特徴とする請求項 1 に記載の光通信システム。

【請求項 5】

さらに非線形要素の上流側に置かれた一つもしくは一つ以上の光帯域フィルタを含み、そしてそこでは当該デバイスもしくは当該回路は少なくともその一つのフィルタへフィードバック信号を提供し、それによって非線形要素へ入力されるパルスのスペクトルの成分を制御するように、少なくとも中心スペクトルの一つ、もしくはフィルタの帯域形状を制御するように構成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の光通信システム。

【請求項 6】

検出器は非線形要素を出た光パルスのエネルギーの一部を受けるとして構成された光スペクトル分析器を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の光通信システム。

【請求項 7】

検出器は一つもしくは一つ以上の独立した検出要素を含み、前記各々の検出要素はエネルギーが中央波長帯域と複数の波長サイドバンド内に分布した少なくとも幾つかのパルスに対し各々の該検出要素は中央帯域以外のそれぞれの波長サイドバンド中もしくは一群の波長サイドバンド中のエネルギーを検出するように構成されたことを特徴とする請求項 1 に記載の光通信システム。

【請求項 8】

検出器は、非線形要素から出た光パルスのエネルギーの一部を該パルスが光フィルタへ入る前に検出するように構成された要素と、さらに光フィルタを通過した後の前記パルスのエネルギーの一部を検出するように構成された別の要素を含むことを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 9】

非線形要素の下流側に置かれ、その帯域が一つの中心波長、一つの帯域幅及び一つの帯域形状を有し、検出器は前記中心波長、前記帯域幅及び該帯域形状の少なくとも一つを制御するために有効なフィードバック信号を提供するように構成されている光フィルタを含むことを特徴とする請求項 1 に記載の光通信システム。

【請求項 10】

少なくともある入力光パルスに対して非線形応答を有し、少なくともその幾つかのパルスに対しスペクトル広がりを生じさせる光要素と、
非線形要素の下流側に置かれ、その帯域が一つの中心波長、一つの帯域幅、一つの帯域形

10

20

30

40

50

状そして一つの波長分散値を有し、かつ前記中心波長、前記帯域幅、前記帯域形状そして前記波長分散値の少なくとも一つが可変である少なくとも一つの光フィルタ、システムの動作の過程で前記光フィルタへ制御信号を送り、それによって前記中央波長、前記帯域幅、前記帯域形状そして該波長分散の少なくとも一つを制御するために効果的なデバイスもしくは回路をふくむことを特徴とする光通信システム。

【請求項 11】

デバイスもしくは回路は非線形要素へ入力される光パルスのスペクトル成分の変化に応じて制御信号を送るように構成されていることを特徴とする請求項 10 に記載の光通信システム。

【請求項 12】

非線形要素へ入力される光パルスの持続幅の変化に応じて制御信号を送るように構成されていることを特徴とする請求項 10 に記載の光通信システム。

【請求項 13】

非線形要素へ入力される光パルスの伝送速度の変化に応じて制御信号を送るように構成されていることを特徴とする請求項 10 に記載の光通信システム。

【請求項 14】

非線形要素の性能の変化に応じて制御信号を送るように構成されていることを特徴とする請求項 10 に記載の光通信システム。

【請求項 15】

システムの性能指数の変化に応じて制御信号を送るように構成されていることを特徴とする請求項 10 に記載の光通信システム。

【請求項 16】

システムのビット誤り率の変化に応じて制御信号を送るように構成されていることを特徴とする請求項 10 に記載の光通信システム。

【請求項 17】

光フィルタはファイバブラッググレーティング、もしくはホログラフィックグレーティング、もしくはファブリペログレーティングもしくはエタロンの少なくとも一つを含むことを特徴とする請求項 10 に記載の光通信システム。

【請求項 18】

光フィルタは熱的に、もしくは機械的に、もしくは光学的に可変であることを特徴とする請求項 10 に記載の光通信システム。

【請求項 19】

非線形要素の上流側に置かれた一つもしくは一つ以上の光帯域フィルタを含み、そこでは該デバイスもしくは回路は少なくともその一つのフィルタへフィードバック信号を提供し、それによってフィルタの波長分散を制御するように構成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の光通信システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

本発明は光ファイバ通信システムにおけるパルス整形技術に関するものである。

更に詳細には、本発明は劣化した光パルスを再生するための非線形光反応の利用に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

発明の背景

高速光ファイバ通信システムにおいては、デジタルデータはファイバを伝播する光パルスの形で伝送される。理想的なパルスは時間領域で十分に局所化され、低バックグラウンドレベルとは区別できる程に突き出て、明瞭な輪郭の振幅を有する。しかしながらノイズ、波長分散及びその他の影響がパルスを広げ、パルスとバックグラウンドとの区別を不明瞭にする傾向がある。これらの影響は高レベルのパルス（例えば、バイナリシステムにおけるパルス）を低レベル（例えば、バイナリシステムにおけるゼロ）と誤認識させることに

10

20

30

40

50

なり、そしてその逆の結果にもつながる。これはひいてはシステムのビット誤り率 (BER) を増大させることになる。

【0003】

専門家達が光パルスの再生器を考案してきた。理想的には、光エネルギーは高ノイズレベルを持ち、ピーク振幅値が減少し、かつパルス幅が広がった劣化パルスとして再生器に入り、そして低ノイズレベルの、元のピーク振幅値及びパルス幅を持ったパルスとして出て行く。例えこのパルスがそのような理想的反応の近似に過ぎないとしても、光再生器は長い伝播距離にわたるパルス劣化に対処するために光通信システムにおいて有益なものとなり得る。

【0004】

光再生に関する研究の一つは2000年10月31日に発行された P. V. M a m y s h e v の米国特許、No 6, 141, 129、名称「全光式データ再生の方法及び装置」に記述されている。M a m y s h e v 再生器の中心には非線形光ファイバ、即ち、パルスに関連する電磁界フィールドとファイバ材料との間の非線形結合を通して十分な振幅のパルスのスペクトル成分を変更することができる光ファイバがある。

【0005】

そのような結合の結果として、パルスの高強度部分はスペクトル的に拡大し、逆にパルスの低強度部分は拡大量が鋭角的に減少する。スペクトル的に変更されたパルスはその後伝達特性が元のスペクトル成分からずれた (offset) フィルタを通過する。そのようなフィルタを再生器の出力フィルタと称する。出力フィルタは本質的にパルスの弱強度部分を遮断し、その部分はスペクトル的に拡大されない。しかし本質的にパルスの高強度部分を通過させるので、フィルタの通過帯域内に在る高強度化されたスペクトル成分を含むものとなる。パルスの最高強度部分、即ち通常は中央部分のみがフィルタを通過するが故に、パルスの原形の近似形が得られ、相対的に低レベルの背景雑音は排除される。必要に応じて、原振幅は非線形ファイバの前もしくは後、もしくは前後双方の増幅によって再生される。

【0006】

通常、M a m y s h e v 再生器は非線形ファイバの前に置かれた分散補償器を備える。この分散補償器はパルスがシステムを伝播する間に影響を受ける分散係数とは逆符号の分散係数を有する部材である。そのような部材はシステムの伝播の間に累積された分散を少なくとも近似的に相殺するために十分に大きな分散量を持つように選定され、ある場合には分散量が調整される。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

われわれは、ある操作状況では、M a m y s h e v 再生器は残留分散効果に非常に敏感であり、この残留分散が光パルスに影響し続けることを発見した。しかしながらこれらの影響の大きさは必ずしも前もっては知られてはいない。これが故に、非線形光ファイバにおけるパルス整形の効果を監視する必要性が生じる。

【0008】

【課題を解決するための手段】

発明の概要

本発明は非線形光ファイバにおけるパルス整形の効果を監視するためのシステムにおいて実施されている。更に詳細には発明の実施例によれば、非線形ファイバを通過した後のパルスのスペクトル成分はパルスが如何に効果的に再生されたかを示す有用な指標を提供する。このように広い観点からの本発明によれば、非線形ファイバを出たパルスの一部が分岐されて、選択された少なくとも一つのスペクトル領域におけるパルスエネルギーの測定が行われる。選択されたスペクトル領域はパルスが効果的に再生される時にエネルギーを得る傾向がある領域である。

【0009】

本発明の特定の実施例では、選択されるスペクトル領域は M a m y s h e v 再生器の出力

10

20

30

40

50

フィルタによって定義される。このような実施例においては、一つの有用なアプローチは出力フィルタ直後のパルスエネルギーを出力フィルタ直前のパルスエネルギーと比較することである。本発明の他の実施例においては、分岐されたパルスエネルギーは選択された波長周の狭帯域のような少なくとも一つのスペクトル領域におけるエネルギーを測定するために設置された光スペクトル解析器に入れられる。

【0010】

もう一つの観点においては、本発明の実施例は非線形光ファイバにおけるパルス整形の効果に関する情報が再生器入力点での残留分散を動的に変化させるためにフィードバックされる光通信システムを含む。より広い意味で、前記のスペクトル測定はシステムの性能水準を示すための、もしくは一つの操作パラメータを調節してシステム性能を改善するための制御信号へと繋がる。このように調節され得る操作パラメータは非線形ファイバの前に置かれた可変分散補償器の調整や、再生器に結合された、もしくはシステムの他の場所に置かれた一つもしくは複数の光増幅器の利得や、再生器の出力フィルタの調整を含んでいる。

10

【0011】

【発明の実施の形態】

詳細な説明

以下の説明では図の一連の関連を簡明にし、図により発明の理解を容易にするため同じような図に対しては同一の参照番号を用いる。また明白に特定されない限り、図は縮尺に描かれていない。

20

【0012】

具体的な特徴、構成及び装置について以下に検討されるが、これらは例示のためののみ行われるものである。

当業者は容易に他のステップ（工程）、構成及び装置も本発明の概念と範囲から逸脱することなく有用であると認識すべきである。

【0013】

図1の光通信システムは伝送光ファイバ10、可変分散補償器15、光増幅器20、再生器25、出力光ファイバ30及び受信機32を含む。再生器25は光増幅器35、高非線形ファイバ40及び出力フィルタ45を含む。ファイバ40の典型的な特性は、長さ2.010 km、波長1550 nmにおける損失が0.81 dB/km、波長1550 nmにおける分散が $-0.48 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$ 、波長1550 nmにおける分散スロープが $0.020 \text{ ps/nm}^2 \cdot \text{km}$ 、零分散波長が1574 nm、モードフィールド径が4.02 μm 、カットオフ波長が1190 nm、挿入損失が2.5 dBである。

30

【0014】

同種の再生器が前記のMamyshev特許出願に記述されている。少なくとも幾つかの場合には、高非線形ファイバ40に入る信号が一定の平均パワーを有するような方法で増幅器35を動作させるためにこれは有用であろう。これは例えば他の場合、もしパワーが増加すれば、例えば残留分散が一定であったとしても、パルス広がりが生じるであろうが故に有用である。システムは再生器の前に置かれる圧縮段階50を選択的に含んでもよい。圧縮段階は通信ファイバ内部での誘導ブリュアン散乱(SBS)の影響を抑制するために有用である。

40

【0015】

図に例示された圧縮段階は光増幅器55、高非線形ファイバ60及び標準シングルモード(SSM)ファイバ65を含む。光学圧縮については例えば1995年発行Academic Press、G.P. Agawal著「非線形ファイバ光学、第6章」に記述されている。

【0016】

上記のように、分散補償器は固定式か可変式である。下記に説明されるように、補償器15のような可変補償器は光再生器の性能の最適化調整ができるために有用である。可変分散補償器は既知のものであり、例えば2001年1月30日登録のL.E. Adams等

50

の米国特許 No. 6, 181, 852 “可変コーティング光グレーティング装置” 及び 2000年11月14日登録の L. E. Adams 等の米国特許 No. 6, 148, 127 “可変分散補償期及びそれを含む光学システム” に記述されている。

【0017】

略述すると、前記引用特許に記述された種類の分散補償器はファイバの長手方向に単調に変化するグレーティング周期を有する分布ブラッグ反射器が形成されたファイバ部分を含む。このような構造による光反射は導入光とブラッググレーティングとの間の共振干渉に依存する。結果として、導入光が反射される前に反射器内に侵入する有効距離は導入光の波長に依存する。グレーティング周期の変化割合（即ち“チャープ”）が適切に調節されるならば、パルスの先行するスペクトル成分は相対的に遅延されることとなり、かくして、先行部分が後続部分より反射器内により深く侵入することによってパルスの先行部分が後続部分と一致することになる。

10

【0018】

相対的遅延量はファイバ軸に沿ってグレーティング周期の変化割合を制御することにより調整できる、即ち可変できる。制御信号は、例示の場合は電気信号であるが、必要とされる制御を実行するために用いられる。例えば、チャープはブラッグ反射器が形成されているファイバに温度傾斜を生じさせることにより、もしくはファイバに添加された磁性要素に軸方向の力を付与するためのソレノイドを用いて機械的な変形を生じさせることによって調整できる。制御信号は例えば温度傾斜を付与するためのヒータやソレノイドを励磁するための電流源の制御に用いられる。

20

【0019】

また図1に示される光学分岐装置70は高非線形再生ファイバから出るパルスエネルギーの一部をモニタファイバに入力させ、そこからスペクトルモニタに入力させる。以下に説明するように、スペクトルモニタによる測定は再生器が如何に有効に動作したかを示す指標を提供する。非線形再生器ファイバを含む他の型のファイバが用いられる可能性もあるが、典型的には標準ファイバが分岐装置の入出力に接続される。分岐装置70は例えば融着型カプラ、傾斜型ファイバグレーティング、或いは光の一部をスペクトルモニタ要素に入力させ、一部を伝送ファイバに戻すための固体光学素子に結合されたファイバ端部を含む。スペクトル測定は薄膜干渉フィルタ、ファイバブラッググレーティングフィルタ、長周期ファイバグレーティング、傾斜ファイバグレーティング及びエタロンを含む各種のフィ

30

【0020】

図2に、伝送ファイバ10から可変分散補償器15により受信された入力光データ列の波長スペクトル85及びスペクトルモニタ80で受信されたデータ列の波長スペクトル90が重ねて表示されている。スペクトル90は完全分散補償のために調整された補償器15によって測定された。時間的に拡大されたパルスを含む入力データ列は比較的狭い波長範囲のエネルギーを含むことは図2から明らかであるが、これに対し補償されたデータ列は、パルスが時間的に狭い範囲に閉じ込められており、本質的により広いスペクトル範囲を占める。補償されたデータ列のスペクトル90は多数のサイドバンドを含むことも明らかである。このサイドバンド構造はデータ列の変調の結果であり、この場合、変調は40Gb/sのデータ速度を生じさせるために実行されたものである。

40

【0021】

データ列のスペクトル広域化に関連する出力フィルタ45の動作は図3に模式的に例示される。この図において、スペクトル95は再生器を出たデータ列のスペクトルである。スペクトル100は出力フィルタ45の通過帯域幅である。再生器におけるスペクトル広域化はフィルタ45を実際に通過したスペクトル95のエネルギー量を増大させる傾向があることが理解され、通過帯域幅100内に存在することも理解される。そして、それ故にフィルタ45を実質的に通過するのである。いろいろな中心周波数及び/もしくは幅がスペクトル100に対してあまる特定され得る。フィルタ45は特定の中心スペクトルや幅を分離するように設計され、ある場合は、調整される。フィルタ45の精密な設計や調整は

50

再生器の性能に影響を与える。それ故、フィルタ45は達成しうる最善の性能を提供するために有利になるように選択されもしくは制御される。

【0022】

我々は再生器の性能は再生器へ入力する光パルスに存在する分散の残留効果に非常に敏感であることを発見した。例示のため、分散補償器15の調整を変化させながら、図1のシステムにおける受信機32の受信機感度の一連の実験測定値を図4のグラフ105としてプロットした。分散の影響の最も完全な相殺はおよその再生器内の累積分散がおよそ390 ps/nmとなったときに生じた。グラフにプロットされた感度は最小受信パワーレベルであったが、ビット誤り率(BER)は 10^{-9} に過ぎないものであった。最も有利な受信機感度は分散補償器の最適調整近辺のおよそ10 ps/nmの範囲で得られたということが図から明らかになるであろう。補償器がこの範囲の外側で、この範囲から調整されている時には、受信機感度は急速に劣化することが発見された。

10

【0023】

我々は、少なくとも幾つかのスペクトルサイドバンドにおける光パワーの大きさと例えば受信器感度の測定から決定される、再生器性能との間にある有用な相関関係を発見した。例示のために、グラフ105にプロットされたデータポイントに対応する可変分散補償器の各設定値で選択されたサイドバンドにおける全光パワーを図4のグラフ110としてプロットした。選択されたサイドバンドは中心波長から長波長側に6番目のサイドバンドであった。中心波長は1552.6 nm、そして6番目のサイドバンドはおよそ1554.5 nmで生じた。サイドバンドパワーは図1のシステムのスペクトルモニタにより測定されたスペクトルから計算された。グラフ110に示された実験に対しては、スペクトルモニタにはヒューレットパッカード社の光スペクトル解析器が用いられた。

20

【0024】

サイドバンドパワーの比較的高い値は受信機感度の最も有利なレベルを産み出す可変分散補償器の設定範囲に対して生じることがグラフ110とグラフ105との比較から明らかであろう。結果として、測定されたサイドバンドパワーは再生器が如何に効果的に動作しているかを示す指標として有用である。以下により詳細に検討されるように、測定されたサイドバンドパワーは通信システムの一つもしくは複数の動作パラメータを自動的に調整するためのフィードバックループにおいても用いられうる。例えばサイドバンドパワー測定値あるいはそこから引き出された信号は可変分散補償器15の制御に用いられる。

30

【0025】

他の例では、同じパワーそして信号が増幅器35のような光増幅器の利得の制御に用いられる。そしてさらに別の例では、その同じパワー或いはそこから引き出された信号が例えば中心周波数をシフトすることにより、或いはそのバンド幅を変更することにより出力フィルタ45の制御に用いられる。

【0026】

本発明の実施例に関する実験データは例えば必ずしもすべてのサイドバンドが補償器15の調整の変化につれ一致した動作を示すわけではない。例えば、図2の実験のように、二つの波長の領域(状況)を観察した。内側の領域では、中心波長スペクトル1552.6 nmの両側に約2 nm広がった特定の入力強度で、分散補償量が増加するにつれ、上昇と下降のサイドバンドが観察された。

40

【0027】

しかしながら中心波長から2 nm以上外側の波長領域では、サイドバンドの大きさ(即ち全光パワー)は残留分散効果が減少するにつれ一致して増大した。強度の増大により、内側領域と外側領域の間の境界は中心周波数から遠くへ移動した。この観察結果は少なくともある場合には再生器内でパワーレベルを一定に維持することが適切な再生器性能のためにもスペクトルモニタリングの目的にも有利であることを示唆している。

【0028】

一つの有用なモニタリングの構成は外側波長領域内に従属的に存在するように選択された単一のサイドバンド中のパワーをモニタすることである。他の有用なモニタリングの構成

50

は、所定の次数より大きな全てのサイドバンド、もしくは外側領域内に存在する全てのサイドバンド中のパワーを測定することである。この2番目の構成は通常はより強度の高いモニタ信号を提供し、それ故モニタ装置に対する要件を緩やかにするので有利である。しかしながら、我々は全ての高次のサイドバンド（即ち残留分散に関して単調な動作傾向を示したサイドバンド）の合計が選択されたある単一のサイドバンドのように分散補償に関して一致した動作を示さなかったことも同様に観察した。

【0029】

一つの別のモニタリング構成が図5に示されている。図1に示されたシステムの同様な要素と共通する図5のシステムの要素は類似の参照番号によって参照される。図5のモニタリング構成はモニタリングの目的のためにスペクトル選択を行うフィルタを用いる。例示されたように、再生器出力フィルタ45もこのモニタリング機能のために用いられる。しかしながら、少なくともある幾つかの場合には、このモニタリング機能を実施するためには異なった特性を有する別のフィルタを用いることが好ましいと思われる。

10

【0030】

図示のシステムでは、カップリング要素115及び120がフィルタ45のそれぞれ直前直後に置かれる。これらの要素の各々は例としては溶融型ファイバカプラもしくはファイバグレーティング分岐装置や固体光分岐装置のような他の広帯域分岐装置である。要素115及び120の各々は高非線形ファイバ40から出力される光の一部光のパワーを測定する光検出器へ分岐する。要素120から受けたパワーの要素115から受けたものに比べた割合は再生器内で受けたスペクトル広がりof有用な尺度を提供する。かくして、このようなパワー割合は有用な制御信号あるいはフィードバック信号を提供することができる。

20

【0031】

再生器フィルタにフィルタ125を付加したモニタリング構成が図6から9に示される。

【0032】

特許請求の範囲及びこれらの均等物の全範囲により定められる本発明の概念と範囲から逸脱せずに、ここに記述された発明の実施例に多くの変更と置換が容易になされ得ることは当業者にとって明らかである。

【図面の簡単な説明】

【図1】

aおよびbは本発明の実施例に関する光通信システムの簡略図である。

30

【図2】

入力光データに図1の光通信システムのスペクトルモニタで受けたデータを重ね合わせて示すグラフである。

【図3】

図1の光通信システムにおける出力フィルタの動作を出力フィルタへの入力スペクトルと出力フィルタからの出力スペクトルにより示したグラフである。

【図4】

図1の光通信システムにおける受信機の感度を示すグラフである。

【図5】

本発明の他の実施例による光通信システムの簡略図である。

40

【図6】

本発明の他の実施例によるモニタリングの構成を示す簡略図である。

【図7】

他のもう一つの実施例によるモニタリングの構成を示す簡略図である。

【図8】

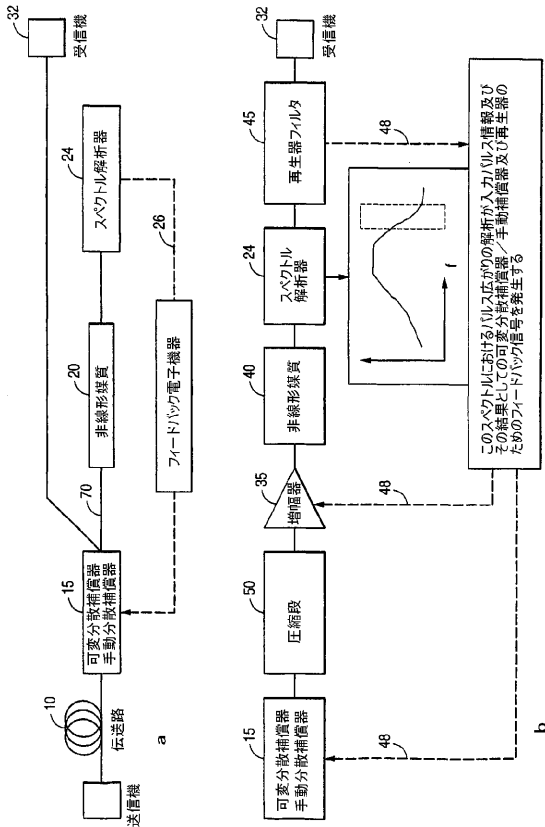
さらに他のもう一つの実施例によるモニタリングの構成を示す簡略図である。

【図9】

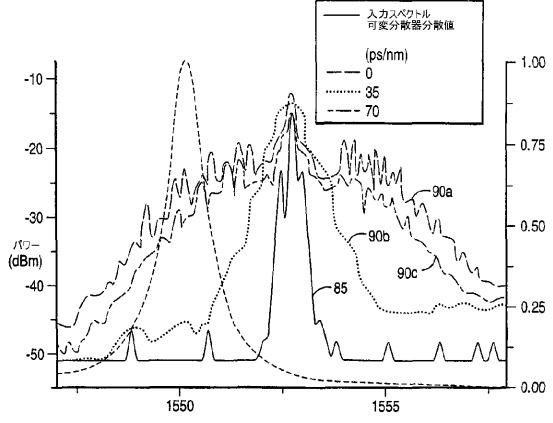
aおよびbはさらに他のもう一つの実施例によるモニタリングの構成を示す簡略図である。

50

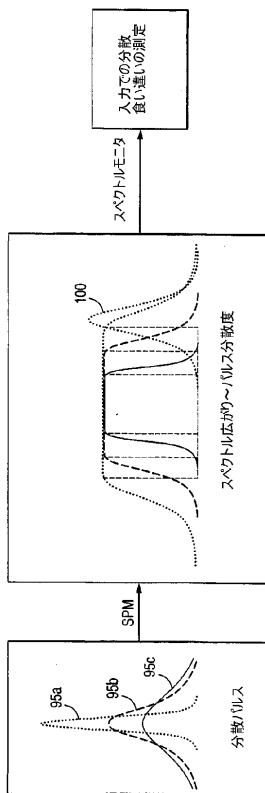
【図1】



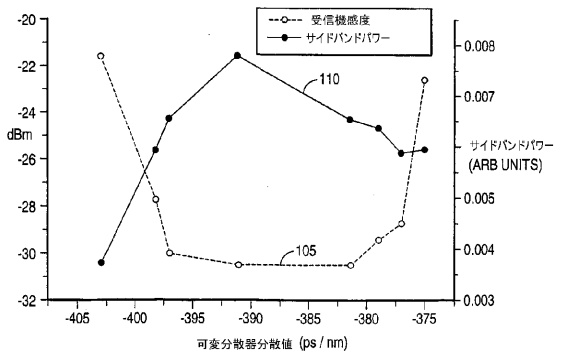
【図2】



【図3】

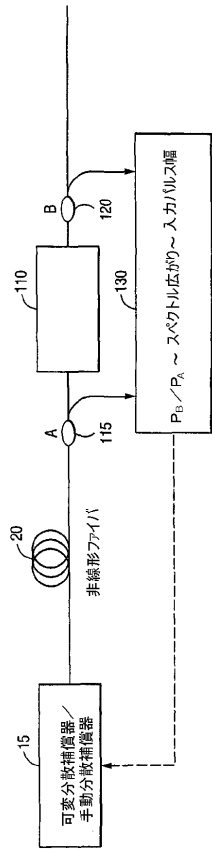


【図4】

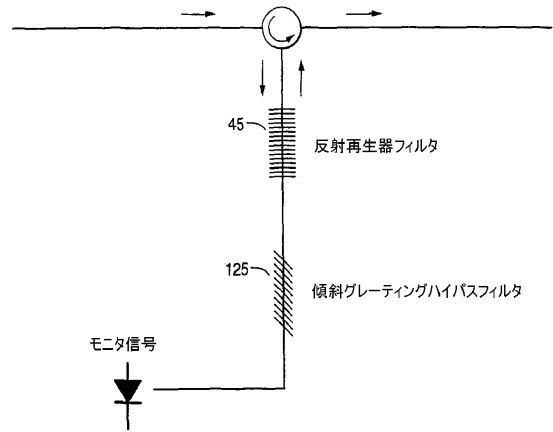


可変分散補償器の分散値に対してプロットされた再生器後の受信機感度 (対ビット誤り率 10^{-9}) 及び7次サイドバンドにおける全パワー

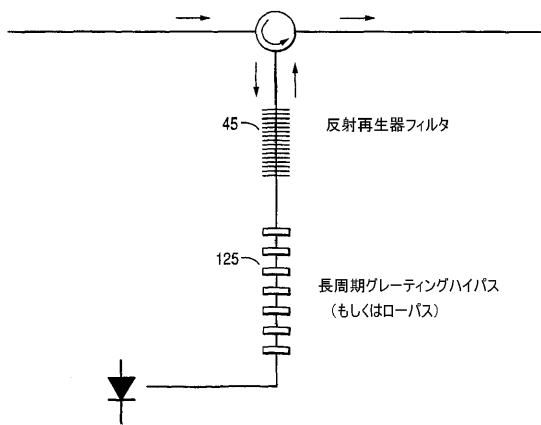
【図5】



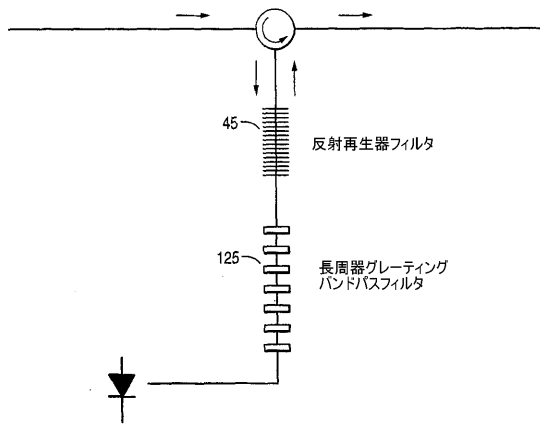
【図6】



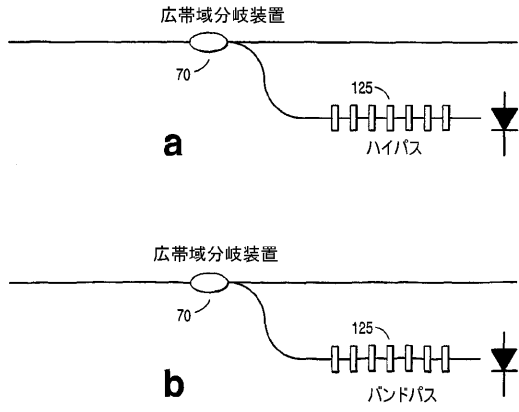
【図7】



【図8】



【 図 9 】



【国際公開パンフレット】

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization International Bureau



(43) International Publication Date 26 September 2002 (26.09.2002)

PCT

(10) International Publication Number WO 02/075967 A1

(51) International Patent Classification: H04B 10/00

(21) International Application Number: PCT/US02/07862

(22) International Filing Date: 13 March 2002 (13.03.2002)

(25) Filing Language: English

(26) Publication Language: English

(30) Priority Data: 60/276,155 15 March 2001 (15.03.2001) US

(71) Applicant (for all designated States except US): FITEL USA CORPORATION [US/US]; A Corporation of the State of Delaware, Room 1020, 2000 Northeast Expressway, Norcross, GA 30071 (US).

(72) Inventors; and

(75) Inventors/Applicants (for US only): EGGLETON, Benjamin, J. [AU/US]; 17 Aubrey Street, Summit, NJ 07901 (US). HER, Tsing, Hua [—/US]; 177 Crane Circle, New Providence, NJ 07974 (US). HUNSCHKE, Stefan [DE/US]; 358 8th Street, Jersey City, NJ 07302 (US). RAYBON,

Gregory [US/US]; 50 North Park Avenue, Shrewsbury, NJ 07702 (US). ROGERS, John, A. [US/US]; 1200 Springfield Avenue, Apt. 1C, New Providence, NJ 07702 (US). WESTBROOK, Paul, S. [US/US]; 420 River Road, Apt. K-11, Chatham, NJ 07928 (US).

(74) Agent: HARMAN, John, M.; Pitel USA Corp., Suite F020, 2000 Northeast Expressway, Norcross, GA 30071 (US).

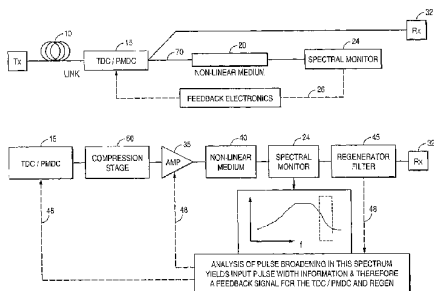
(81) Designated States (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KR, KZ, KP, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PI, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Designated States (regional): European patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LI, MC, NL, PT, SE, TR).

Published: with international search report

[Continued on next page]

(54) Title: NONLINEAR DEVICE COMPRISING A SPECTRALLY BROADENING FIBER



(57) Abstract: Embodiments of the invention include system for monitoring the effectiveness of pulse shaping in a nonlinear optical fiber (40). The spectral content of the pulse, after passing through the nonlinear fiber (40), provides an indication of how effectively the pulse was regenerated. A portion of the pulse exiting the nonlinear fiber is tapped off and its pulse energy is measured in at least one selected spectral region. The selected spectral region is one in which the pulse tends to gain energy when effective regeneration is taking place. The information concerning the effectiveness of pulse shaping in a nonlinear optical fiber is fed back to dynamically change the residual dispersion at the regenerator input. The spectral measurement leads to a control signal (48) to indicate a level of performance of the system, or to improve the performance of the system by adjusting an operational parameter.

WO 02/075967 A1

WO 02/075967 A1 

For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.

**NONLINEAR DEVICE COMPRISING
A SPECTRALLY BROADENING FIBER**

Field of the Invention

5 The invention relates to pulse shaping techniques in optical fiber communication systems. More particularly, the invention relates to the use of non-linear optical behavior to restore degraded optical pulses.

Background of the Invention

10 In high-speed optical fiber communication systems, digital data are transmitted in the form of optical pulses propagating in the fiber. An ideal pulse is well localized within a time window and has a well-defined amplitude that stands out distinctly from a low background level. However, noise, chromatic dispersion, and other effects tend to spread the pulses out and to obscure the distinction between pulse and background. These effects
15 can lead to the misinterpretation of high pulse levels (e.g., "ones" in a binary system) as low levels (e.g., as "zeroes" in a binary system) and *vice versa*. This, in turn, tends to drive up the Bit Error Rate (BER) of the system.

 Practitioners have devised regenerators for optical pulses. Ideally, optical energy enters a regenerator as a degraded pulse having a high noise level, a reduced peak
20 amplitude, and expanded width, and exits the regenerator with low background noise and with its original peak amplitude and width restored. Even if they only approximate such ideal behavior, optical regenerators can be advantageous in communication systems for counteracting the degeneration of pulses over long propagation distances.

 One particular approach to optical regeneration is described in U.S. Patent No.
25 6,141,129, issued on October 31, 2000 to P.V. Mamyshev under the title "Method And Apparatus For All-Optical Data Regeneration." Central to the Mamyshev regenerator is a nonlinear optical fiber, that is, an optical fiber that can alter the spectral content of a pulse of sufficient amplitude through nonlinear coupling between the fiber material and the electromagnetic field associated with the pulse. As a result of such coupling, stronger
30 portions of a given pulse become spectrally broadened; but the amount of such broadening decreases sharply for weaker portions of the pulse. The spectrally altered pulse is then passed through a filter whose transmission characteristic is offset from the original spectral content of the pulse. We refer to such a filter as an "output filter" of the

WO 02/075967

PCT/US02/07862

2

regenerator. The output filter substantially blocks the weaker portions of the pulse, which were not spectrally broadened, but substantially passes the stronger portions, which contain enhanced spectral content that lies within the passband of the filter. Because only the strongest portion, typically the central portion, of the pulse is passed by the filter, an approximation to the original shape of the pulse is obtained and relatively low background noise is eliminated. If desired, the original amplitude is restored by amplification before the nonlinear fiber, or after it, or both.

Typically, a Mamyshev regenerator includes a dispersion-compensator placed before the nonlinear fiber. The dispersion compensator is an element that has, in effect, a dispersion coefficient opposite in sign to that to which the pulses have been subject while propagating through the system. Such an element is selected, and in some cases can be tuned, to provide a sufficient amount of dispersion to at least approximately cancel the dispersion accumulated during propagation through the system.

We have discovered that in some operating regimes, the performance of the Mamyshev regenerator is very sensitive to the residual dispersion effects that remain impressed upon the optical pulses. However, the magnitude of these effects is not always known in advance. For this reason among others, there is a need for a device to monitor the effectiveness of pulse shaping in a nonlinear optical fiber.

20 Summary of the Invention

The invention is embodied in a system for monitoring the effectiveness of pulse shaping in a nonlinear optical fiber. More specifically, according to embodiments of the invention, the spectral content of the pulse, after passing through the nonlinear fiber, provides a useful indication of how effectively the pulse was regenerated. Thus, according to the invention in a broad aspect, a portion of the pulse exiting the nonlinear fiber is tapped off, and a measurement is made of the pulse energy in at least one selected spectral region. The selected spectral region is one in which the pulse tends to gain energy when effective regeneration is taking place.

In specific embodiments of the invention, the selected spectral region is defined by the output filter of a Mamyshev regenerator. In such embodiments, one useful approach is to compare the pulse energy just after the output filter to the pulse energy just before the output filter. In other specific embodiments of the invention, the tapped off pulse energy

WO 02/075967

PCT/US02/07862

3

is directed into an optical spectrum analyzer adapted to measure the energy in at least one spectral region such as a narrow band about a selected wavelength.

In another aspect, the embodiments of the invention involve an optical communication system in which the information concerning the effectiveness of pulse
5 shaping in a nonlinear optical fiber is fed back in order to dynamically change the residual dispersion at the regenerator input. Even more broadly, the spectral measurement described above can lead to a control signal to indicate a level of performance of the system, or to improve the performance of the system by adjusting an operational
10 parameter. Operational parameters that may be adjusted in this manner include the tuning of a tunable dispersion compensator situated before the nonlinear fiber, the gain of one or more optical amplifiers associated with the regenerator or situated elsewhere in the system, and the tuning of the output filter of the regenerator.

Brief Description of the Drawings

15 In the drawings:

Fig. 1a is a simplified, schematic diagram of an optical communication system according to embodiments of the invention;

Fig. 2 is a graphical diagram of an input optical data stream superimposed with the data stream received at the spectral monitor of the optical communication system of Fig.
20 1;

Fig. 3 is a graphical diagram of the operation of the output filter in the regenerator in the optical communication system of Fig. 1 by showing the input spectrum into the output filter and the output spectrum exiting the output filter;

Fig. 4 is a graphical diagram of the sensitivity of the receiver in the optical
25 communication system of Fig. 1;

Fig. 5 is a simplified, schematic diagram of an optical communication system according to an alternative embodiment of the invention;

Fig. 6 is a simplified, schematic diagram of a monitoring configuration according to an alternative embodiment of the invention;

Fig. 7 is a simplified, schematic diagram of a monitoring configuration according to yet another alternative embodiment of the invention;

Fig. 8 is a simplified, schematic diagram of a monitoring configuration according to still alternative embodiment of the invention; and

WO 02/075967

PCT/US02/07862

4

Fig. 9 is a simplified, schematic diagram of a monitoring configuration according to yet alternative embodiment of the invention.

Detailed Description

5 In the following description similar components are referred to by the same reference numeral to simplify the sequential aspect of the drawings and/or to enhance the understanding of the invention through the description of the drawings. Also, unless otherwise explicitly specified herein, the drawings are not drawn to scale.

10 Although specific features, configurations and arrangements are discussed hereinbelow, it should be understood that such is done for illustrative purposes only. A person skilled in the relevant art will recognize that other steps, configurations and arrangements are useful without departing from the spirit and scope of the invention.

The optical communication system of FIG. 1 includes communication optical fiber 10, tunable dispersion compensator 15, optical amplifier 20, regenerator 25, output optical 15 fiber 30, and receiver 32. Regenerator 25 includes optical amplifier 35, highly nonlinear fiber 40, and output filter 45. Typical characteristics of fiber 40 are: 2.010 km length, 0.81 dB/km attenuation at a wavelength of 1550 nm, dispersion at 1550 nm of -0.48 ps/nm-km, D slope of 0.020 ps/nm²-km, zero-dispersion wavelength of 1574 nm, mode-field diameter of 4.02 micrometer, cut-off wavelength of 1190 nm, and insertion loss of 20 2.5 dB.

A regenerator of the kind shown is described in the Mamyshev patent application cited above. In at least some cases, it will be advantageous to operate amplifier 35 in such a way that the signal entering highly nonlinear fiber 40 has constant average power. This is useful, for example, because otherwise, if the power increases, the spectral broadening 25 will increase, even if the residual dispersion is constant. The system also optionally includes compression stage 50 situated before regenerator 25. A compression stage is useful for suppressing the effects of stimulated Brillouin scattering (SBS) in the communication fiber. The illustrative compression stage shown in the figure includes optical amplifier 55, highly nonlinear fiber 60, and standard single-mode (SSM) fiber 65. 30 Optical compression is described, for example, in G.P. Agrawal, Nonlinear Fiber Optics Chapter 6, Academic Press 1995.

As noted above, dispersion compensators may be fixed or tunable. As will be explained below, tunable dispersion compensators such as compensator 15 are

WO 02/075967

PCT/US02/07862

5

advantageous, because they can be tuned to optimize the performance of the optical regenerator. Tunable dispersion compensators are known in the art, and are described, for example, in U.S. Patent No. 6,181,852, which issued on January 30, 2001 to L.E. Adams et al. under the title "Optical Grating Device with Variable Coating," and U.S. Patent No. 6,148,127, which issued on Nov. 14, 2000 to L.E. Adams et al. under the title "Tunable Dispersion Compensator and Optical System Comprising Same."

Very briefly, dispersion compensators of the kind described in the above-cited patents include a section of optical fiber in which there is formed a distributed Bragg reflector having a grating period that varies monotonically with distance along the fiber. The reflection of light by such a structure depends upon a resonant interaction between the incident light and the Bragg grating. Consequently, the effective distance that incident light will penetrate into the reflector before being reflected back out of it will depend upon the wavelength of the incident light. If the rate of change of the grating period (i.e., the "chirp") is appropriately adjusted, leading spectral components of a pulse can be relatively delayed, and thus brought into coincidence with trailing portions of the pulse, by arranging for the leading portions to penetrate more deeply into the reflector than the trailing portions. The amount of relative delay can be adjusted, i.e., "tuned," by controlling the rate of change of the grating period along the fiber axis. A control signal, which is by way of illustration an electrical signal, can be used to exercise the requisite control. For example, the chirp can be adjusted by applying a thermal gradient to the fiber in which the Bragg reflector is formed, or by mechanical deformation induced by using a solenoid to apply an axial force to magnetic elements affixed to the fiber. The control signal is readily used to control, e.g., a heater for applying the thermal gradient, or a current source for energizing the solenoid.

Also shown in FIG. 1 is optical tap 70, which diverts a portion of the pulse energy exiting highly nonlinear regenerator fiber 40 into monitor fiber 75, and from there into spectral monitor 80. As will be explained below, measurements made by spectral monitor 80 can provide an indication of how effectively the regenerator is operating. Typically, standard fiber will enter and leave the tap, although other types of fiber, including the nonlinear regenerator fiber, may also be used. Tap 70 may comprise, for example, a fused fiber coupler, tilted fiber grating, or a cut in the fiber coupled to bulk optics to direct some of the light into the spectral monitoring component and some back into the transmission fiber. The spectral monitoring may be achieved with any of various

types of filters, including thin film interference filters, fiber Bragg grating filters, long period fiber grating filters, tilted fiber gratings, and etalons.

Superposed in FIG. 2 are the wavelength spectrum 85 of an input optical data stream as received by tunable dispersion compensator 15 from communication fiber 10, and the wavelength spectrum 90 of the data stream as received at spectral monitor 80. Spectrum 90 was measured with compensator 15 tuned for complete dispersion compensation. It will be apparent from FIG. 2 that the input data stream, which contains pulses that are spread out in time, contain energy in a relatively narrow range of wavelengths, whereas the compensated data stream, whose pulses are more narrowly confined in time, occupies a substantially broader spectral range. It will also be apparent that spectrum 90 of the compensated data stream contains many sidebands. This sideband structure is a result of the modulation of the data stream, which in this instance was carried out to produce a data rate of 40 Gb/s.

The operation of output filter 45 relative to the spectral broadening of the data stream is illustrated schematically in FIG. 3. In that figure, spectrum 95 is the spectrum of the data stream that exits the regenerator. Spectrum 100 is the passband of output filter 45. It will be understood that spectral broadening in the regenerator tends to increase the amount of energy in spectrum 95 that also lies within passband 100, and thus is substantially passed by filter 45. Significantly, various central frequencies and/or widths can be specified for spectrum 100. Filter 45 can be designed, and in some cases can be tuned, to impart specified central frequencies and/or widths. The precise design or tuning of filter 45 can affect the performance of the regenerator. Thus, filter 45 is advantageously selected or controlled so as to provide the best achievable performance.

We have found that the performance of the regenerator is very sensitive to residual effects of dispersion that are embodied in the optical pulses input to the regenerator. By way of illustration, we have plotted as curve 105 of FIG. 4 a series of experimental measurements of receiver sensitivity at receiver 32 of the system of FIG. 1, as the tuning of dispersion compensator 15 was varied. The most complete cancellation of dispersion effects took place at a corrective dispersion, in the compensator, of about -390 ps/nm. The sensitivity plotted in the figure was the lowest received power level for which the bit-error rate (BER) was no more than 10^{-9} . It will be evident from the figure that the most advantageous receiver sensitivity was obtained in a range of about 10 ps/nm about the optimum tuning of the dispersion compensator. When the compensator

WO 02/075967

PCT/US02/07862

7

was tuned outside of and away from that range, the receiver sensitivity was found to degrade rapidly.

We have discovered a useful correlation between the amount of optical power in at least some of the spectral sidebands and the performance of the regenerator as determined, for example, from measurements of receiver sensitivity. By way of illustration, we have plotted as curve 110 of FIG. 4 the total optical power in a selected sideband at each of the settings of the tunable dispersion compensator that corresponded to the data points plotted in curve 105. The selected sideband was the sixth sideband on the long-wavelength side of the center wavelength. The center wavelength was 1552.6 nm, and the sixth sideband occurred at about 1554.5 nm. The sideband power was computed from a spectrum measured by spectral monitor 80 of the system of FIG. 1. For the experiment represented by curve 110, the spectral monitor was a Hewlett-Packard Optical Spectrum Analyzer.

It will be evident from a comparison of curve 110 with curve 105 that relatively high values of the sideband power occur for that range of settings of the tunable dispersion compensator that yields the most beneficial levels of receiver sensitivity. As a consequence, the measured sideband power is useful as an indicator of how effectively the regenerator is operating. As will be discussed in more detail below, the measured sideband power can also be used in a feedback loop to automatically adjust one or more operational parameters of the communication system. For example, the measured sideband power, or a signal derived therefrom, can be used to control tunable dispersion compensator 15. As a further example, the same power or signal derived therefrom can be used to control the gain of an optical amplifier such as amplifier 35. As yet a further example, the same power or derived signal can be used to control output filter 45 by, for example, shifting its center frequency or modifying its bandwidth.

Experimental data according to embodiments of the invention have shown, e.g., that not all sidebands behave consistently as the tuning of compensator 15 is varied. For example, in the experiment represented in FIG. 2, we observed two wavelength regimes. Within an inner regime that, at a particular input intensity extended to about 2 nm on each side of the center wavelength of 1552.6 nm, both rising and falling sidebands were observed as the amount of dispersion compensation increased. However, in an outer regime of wavelengths more than 2 nm from the center wavelength, we found that the magnitude (i.e., the total optical power) of the sidebands increased consistently as the

WO 02/075967

PCT/US02/07862

8

residual dispersion effects were reduced. With increasing intensity, the boundary between the inner and outer regimes moved further from the center frequency. This observation suggests that in at least some cases it will be advantageous, for purposes of spectral monitoring as well as for proper regenerator performance, to hold constant the power level within the regenerator.

One useful monitoring scheme is to monitor the power in a single sideband, selected to dependably lie within the outer wavelength regime. Another useful monitoring scheme is to measure the power in all sidebands greater than some order, or all sidebands lying within the outer regime. This second scheme is advantageous because it will typically provide a stronger monitor signal and thus relax the demands on the monitor hardware. However, we also observed that the sum of all high-order sidebands (i.e., the sidebands that had monotonic behavior with respect to residual dispersion) did not behave as consistently with respect to dispersion compensation as did certain single selected sidebands.

An alternative monitoring scheme is depicted in FIG. 5. Elements of the system shown in FIG. 5 that correspond to similar elements of the system shown in FIG. 1 are referred to by like reference numerals. The monitoring scheme of FIG. 5 uses a filter to perform spectral selection for purposes of monitoring. As illustrated, regenerator output filter 45 is also used for this monitoring function. In at least some cases, however, it may be preferable to use a separate filter, having distinct characteristics, to perform the monitoring function. In the system shown in the figure, coupling elements 115 and 120 are placed, respectively, just before and just after filter 45. Each of these elements is exemplarily a fused fiber coupler or other broadband tap, such as a fiber grating tap or a bulk optic tap. Each of elements 115 and 120 taps a portion of the light output from highly nonlinear fiber 40 into an optical detector that measures the optical power of the light that it receives. The ratio that the power received from element 120 stands in, relative to the power received from element 115, provides a useful measure of spectral broadening undergone in the regenerator. Thus, such a power ratio can provide a useful control signal or feedback signal.

Monitoring schemes using a filter 125 additional to the regenerator filter are shown in FIGS. 6-9.

It will be apparent to those skilled in the art that many changes and substitutions can be made to the embodiments of the invention herein described without departing from

WO 02/075967

PCT/US02/07862

9

the spirit and scope of the invention as defined by the appended claims and their full scope of equivalents.

WHAT IS CLAIMED IS:

1. An optical communication system, comprising:
an optical element that has a non-linear response to at least some input optical
5 pulses, resulting in the spectral broadening of at least some such pulses;
a wavelength-selective detector configured to make measurements indicative of
spectral broadening in optical pulses that have passed through the nonlinear element; and
a device or circuit, in receiving relationship to the detector, configured to provide
a diagnostic signal or feedback signal, in response to said measurements, in the course of
10 operation of the system.
2. The system of claim 1, wherein the nonlinear element is an optical fiber that
exhibits self phase modulation.
- 15 3. The system of claim 1, further comprising a tunable dispersion compensator
(TDC) situated upstream of the nonlinear element, and wherein said device or circuit is
configured to provide a feedback signal for tuning the TDC.
4. The system of claim 1, further comprising one or more optical amplifiers
20 situated upstream of the nonlinear element, and wherein said device or circuit is
configured to provide a feedback signal to at least one such amplifier, thereby to control
the amplitude of pulses input to the nonlinear fiber.
5. The system of claim 1, further comprising one or more optical bandpass filters
25 situated upstream of the nonlinear element, and wherein said device or circuit is
configured to provide a feedback signal to at least one such filter, thereby to control at
least one of a central wavelength, a bandwidth, or a band shape of the filter, so as to
control spectral content of pulses input to the nonlinear element.
- 30 6. The system of claim 1, wherein the detector comprises an optical spectrum
analyzer configured to receive a portion of the energy of optical pulses exiting the
nonlinear element.

WO 02/075967

PCT/US02/07862

Eggleton 25-1-1-7-30-13

11

7. The system of claim 1, wherein the detector comprises one or more individual detector elements, and for at least some pulses whose energy is distributed into a central wavelength band and plural wavelength sidebands, each said element is configured to detect energy in a respective sideband or group of sidebands exclusive of the central band.

5

8. The system of claim 1, wherein the detector comprises: an element configured to detect a portion of the energy of optical pulses exiting the nonlinear element prior to entry of said pulses into an optical filter; and a further element configured to detect a portion of the energy of said pulses after passing through the optical filter.

10

9. The system of claim 1, further comprising at least one optical filter that is situated downstream of the nonlinear element and that has a passband, wherein the passband has a center wavelength, a bandwidth, and a band shape, and the detector is configured to provide a feedback signal effective for controlling at least one of said center wavelength, bandwidth, and band shape.

15

10. An optical communication system, comprising:

an optical element that has a non-linear response to at least some input optical pulses, resulting in the spectral broadening of at least some such pulses;

20

at least one optical filter that is situated downstream of the nonlinear element and that has a passband, wherein the passband has a center wavelength, a bandwidth, a band shape, and a value of chromatic dispersion, and at least one of said center wavelength, bandwidth, band shape, and chromatic dispersion is variable; and

25

a device or circuit effective for sending a control signal to said optical filter in the course of operation of the system, thereby to control at least one of said center wavelength, bandwidth, band shape, and chromatic dispersion.

30

11. The system of claim 10, wherein the device or circuit is configured to send the control signal in response to changes in spectral content of the optical pulses input to the nonlinear element.

WO 02/075967

PCT/US02/07862

Eggleton 25-1-1-7-30-13

12

12. The system of claim 10, wherein the device or circuit is configured to send the control signal in response to changes in duration of the optical pulses input to the nonlinear element.
- 5 13. The system of claim 10, wherein the device or circuit is configured to send the control signal in response to changes in bit rate of the optical pulses input to the nonlinear element.
- 10 14. The system of claim 10, wherein the device or circuit is configured to send the control signal in response to changes in performance of the nonlinear element.
- 15 15. The system of claim 10, wherein the device or circuit is configured to send the control signal in response to changes in a performance figure of merit of the system.
16. The system of claim 10, wherein the device or circuit is configured to send the control signal in response to changes in bit-error rate of the system.
17. The system of claim 10, wherein the optical filter comprises a fiber Bragg grating, a holographic grating, a Fabry-Perot filter, or an etalon.
- 20 18. The system of claim 10, wherein the optical filter is thermally, mechanically, or optically tunable.
- 25 19. The system of claim 1, further comprising one or more optical bandpass filters situated upstream of the nonlinear element, and wherein said device or circuit is configured to provide a feedback signal to at least one such filter, thereby to control chromatic dispersion of the filter.

WO 02/075967

PCT/US02/07862

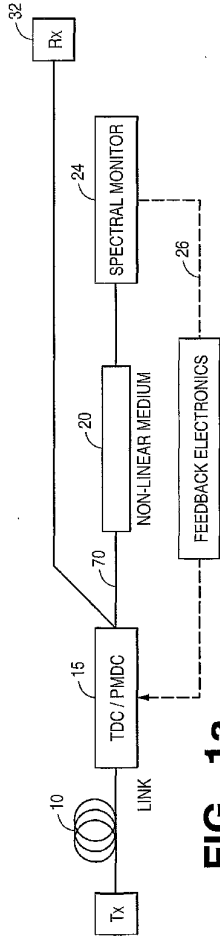


FIG 1a

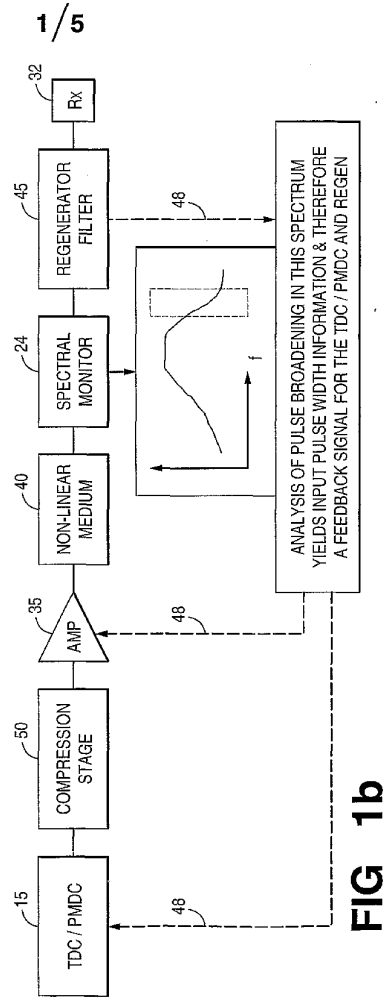


FIG 1b

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

1/5

WO 02/075967

PCT/US02/07862

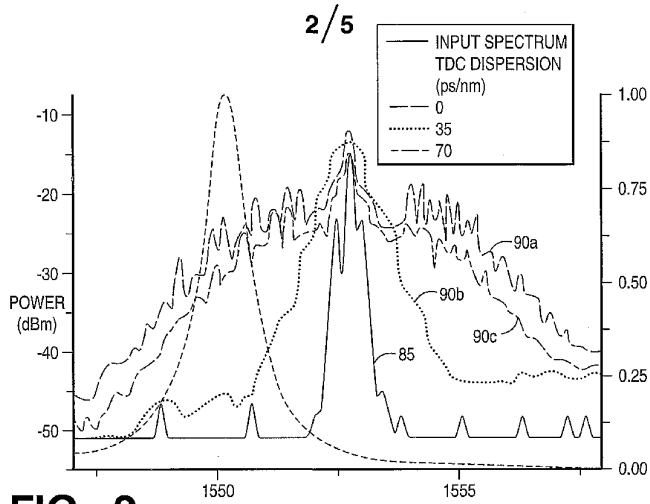


FIG 2

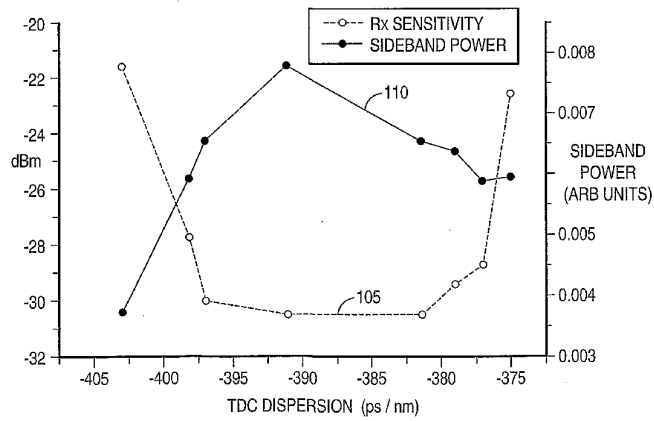


FIG 4 RECEIVER SENSITIVITY (FOR 10^{-9} BER) & TOTAL POWER IN 7TH SIDEBAND AFTER REGENERATOR PLOTTED VS TDC DISPERSION
SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

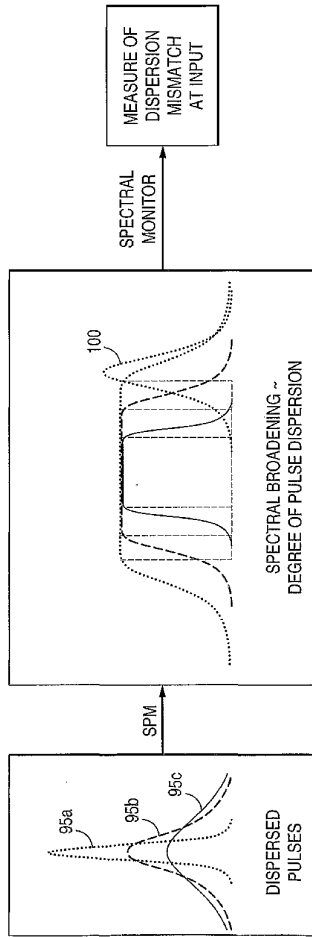


FIG 3

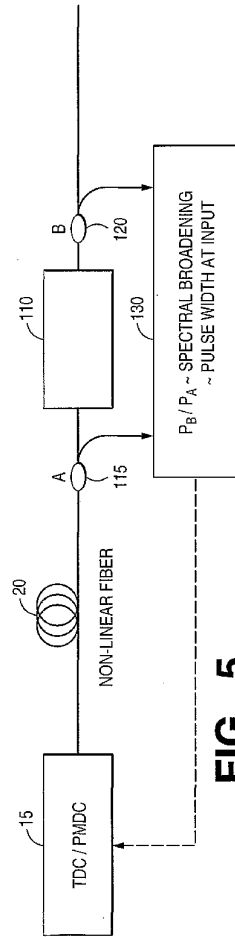
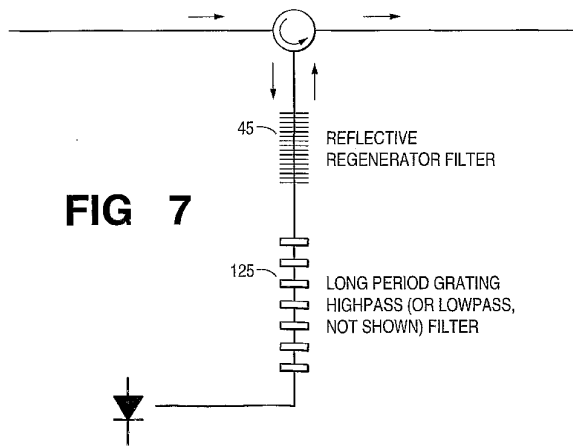
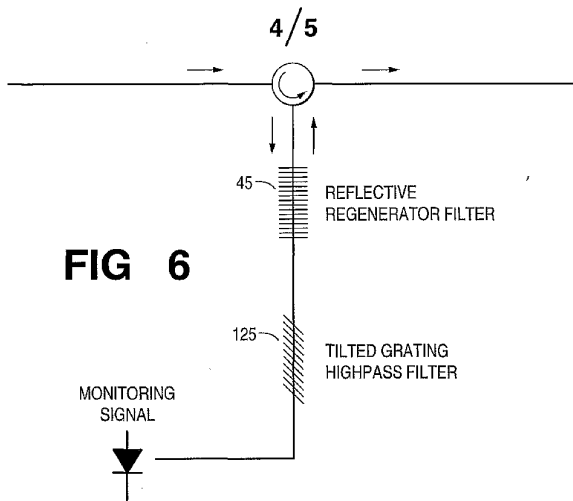


FIG 5

WO 02/075967

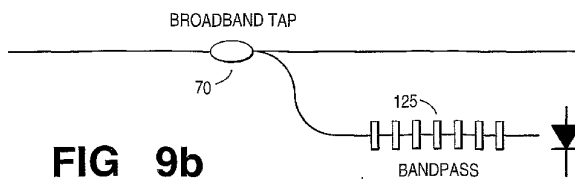
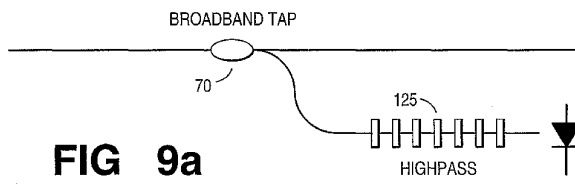
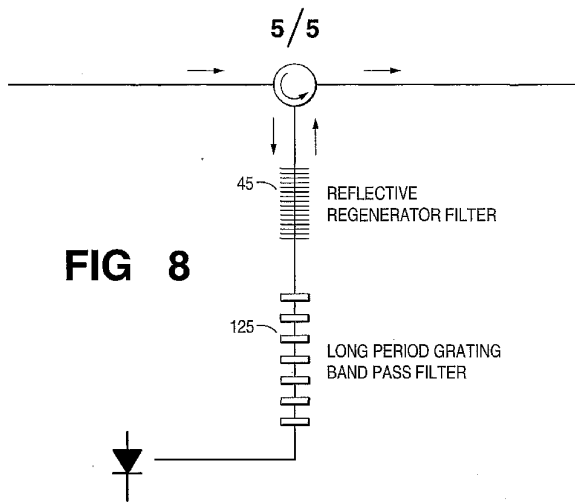
PCT/US02/07862



SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

WO 02/075967

PCT/US02/07862



SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

【 國際調查報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US02/07862		
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER				
IPC(7) : H04B 10/00 US CL : 359/161				
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC				
B. FIELDS SEARCHED				
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) U.S. : 359/110, 161, 173; 385/27, 122				
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched				
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)				
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT				
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.		
Y, P	US 6,330,383 B1 (CAI et al.) 11 December 2001 (11.12.2001), see entire document, esp. Figures 10A and 10B.	1-19		
Y, P	US 6,304,696 B1 (PATTERSON et al.) 16 October 2001 (16.10.2001), see entire document, esp. Figures 15 and 16.	1-19		
Y	US 5,991,477 A (ISHIKAWA et al.) 23 November 1999 (23.11.1999), see entire document, esp. Figures 1, 4, 8, 9, and 15-19.	1-19		
Y	US 5,661,554 A (CALVANI et al.) 26 August 1997 (26.08.1997), see Figure 1.	1-19		
Y	US 5,539,563 A (PARK) 23 July 1996 (23.07.1996), see Figure 3.	1-19		
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.				
* Special categories of cited documents: <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance *B* earlier application or patent published on or after the international filing date *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art *F* document member of the same patent family </td> </tr> </table>			*A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance *B* earlier application or patent published on or after the international filing date *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	*T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art *F* document member of the same patent family
A document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance *B* earlier application or patent published on or after the international filing date *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	*T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art *F* document member of the same patent family			
Date of the actual completion of the international search 14 May 2002 (14.05.2002)		Date of mailing of the international search report 18 JUN 2002		
Name and mailing address of the ISA/US Commissioner of Patents and Trademarks Box PCT Washington, D.C. 20231 Facsimile No. (703)305-3230		Authorized Officer <i>Jason Chan</i> Telephone No. 703-305-4700		

フロントページの続き

- (74)代理人 100091889
弁理士 藤野 育男
- (74)代理人 100101498
弁理士 越智 隆夫
- (74)代理人 100096688
弁理士 本宮 照久
- (74)代理人 100102808
弁理士 高梨 憲通
- (74)代理人 100104352
弁理士 朝日 伸光
- (74)代理人 100107401
弁理士 高橋 誠一郎
- (74)代理人 100106183
弁理士 吉澤 弘司
- (72)発明者 イーグルトン, ベンジャミン, ジェー.
アメリカ合衆国 07901 ニュージャーシィ, サミット, オーブレイ ストリート 17
- (72)発明者 ハー, ツィン, フア
アメリカ合衆国 07974 ニュージャーシィ, ニュープロヴィデンス, クレーン サークル
177
- (72)発明者 ハンシェ, ステファン
アメリカ合衆国 07302 ニュージャーシィ, ジャーシィ シティ, エイス ストリート 3
58
- (72)発明者 レイボン, グレゴリー
アメリカ合衆国 07702 ニュージャーシィ, シュルースバリー, ノース パーク アヴェニ
ュー 50
- (72)発明者 ロジャース, ジョン, エー.
アメリカ合衆国 07702 ニュージャーシィ, ニュープロヴィデンス, スプリングフィールド
アヴェニュー 1200, アpartment 1シー
- (72)発明者 ウエストブルック, ポール, エス.
アメリカ合衆国 07928 ニュージャーシィ, カザム, リヴァー ロード 420, アパート
メント ケー - 11
- F ターム(参考) 5K102 AA01 AA50 AH22 KA02 KA33 KA42 MA02 MB12 MC06 MD01
MH03 MH14 MH22 MH24 MH27 PA00 PC03 PC13 PC14 PC15
PH11 PH41 PH49 RB01 RB03 RB16