

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2014-170085

(P2014-170085A)

(43) 公開日 平成26年9月18日(2014.9.18)

(51) Int. Cl.		F I	テーマコード (参考)			
GO2F	1/35	(2006.01)	GO2F	1/35	501	2K102
HO4B	10/291	(2013.01)	HO4B	9/00	291	5F172
HO1S	3/10	(2006.01)	HO1S	3/10	Z	5K102
HO1S	3/30	(2006.01)	HO1S	3/30	Z	

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2013-41453 (P2013-41453)
 (22) 出願日 平成25年3月4日 (2013.3.4)

(71) 出願人 00006013
 三菱電機株式会社
 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
 (74) 代理人 100095407
 弁理士 木村 満
 (74) 代理人 100131152
 弁理士 八島 耕司
 (74) 代理人 100147924
 弁理士 美恵 英樹
 (74) 代理人 100137383
 弁理士 山口 直樹
 (72) 発明者 十倉 俊之
 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三
 菱電機株式会社内

最終頁に続く

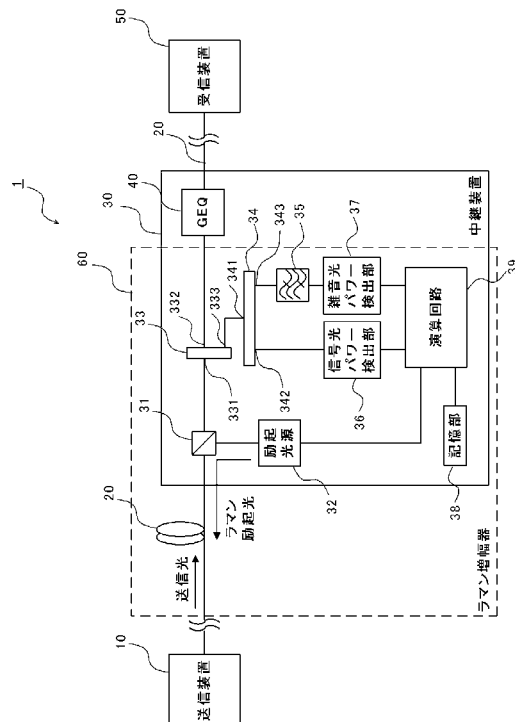
(54) 【発明の名称】 ラマン増幅器、光中継装置、光通信システム、ラマン増幅制御方法及びプログラム

(57) 【要約】

【課題】 簡易な構成で所望の利得の波長特性を得ることのできるラマン増幅器等を提供する。

【解決手段】 伝送路光ファイバ20を伝送し、ラマン増幅された光のうち、一部を第1分岐器33、第2分岐器34で分岐し、雑音光透過フィルタ35で所定の波長帯の雑音光のみを透過させる。雑音光透過フィルタ35から出力される雑音光のパワーを雑音光パワー検出部37で検出する。雑音光パワー検出部37が検出する雑音光パワーの変化率のデシベル値と励起光パワーの変化率のデシベル値が、絶対値が同じで、符号が逆となるように励起光パワーの変化率を求め、その変化率で変化させた励起光パワーとなるように駆動電流値を決定する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

複数の波長の信号光を伝送するとともに、前記信号光を含む光をラマン増幅する光ファイバと、

前記信号光を含む光をラマン増幅するための励起光を前記光ファイバに入射する励起光源と、

前記光ファイバを伝送しラマン増幅された光から、前記信号光の波長を含まない波長帯域の雑音光を抽出する雑音光抽出部と、

前記雑音光抽出部が抽出する前記雑音光のパワーを検出する雑音光パワー検出部と、

前記雑音光パワー検出部が検出する前記雑音光のパワーの変化率に基づいて、前記励起光のパワーの変化率を決定し、当該変化率で前記励起光のパワーが変化するように前記励起光源を制御する励起光源制御部と、

を備えるラマン増幅器。

【請求項 2】

前記励起光源制御部は、前記雑音光パワー検出部が検出する前記雑音光のパワーの対数の変化率と、前記励起光のパワーの対数の変化率が、絶対値が略同じで、符号が逆となるように、前記励起光のパワーの変化率を決定し、当該変化率で前記励起光のパワーが変化するように前記励起光源を制御する、

請求項 1 に記載のラマン増幅器。

【請求項 3】

前記雑音光パワー検出部が検出する雑音光のパワーを対数変換する対数変換部を更に有し、

前記励起光源制御部は、前記対数変換部が対数変換した前記雑音光のパワーの対数の変化率と、前記励起光のパワーの対数の変化率が、絶対値が略同じで、符号が逆となるように、前記励起光のパワーの変化率を決定し、当該変化率で前記励起光のパワーが変化するように前記励起光源を制御する、

請求項 1 に記載のラマン増幅器。

【請求項 4】

前記励起光源制御部は、前記雑音光パワー検出部が検出する前記雑音光のパワーの実数の変化率と、前記励起光のパワーの実数の変化率との積が約 1 となるように前記励起光のパワーの変化率を決定し、当該変化率で前記励起光のパワーが変化するように前記励起光源を制御する、

請求項 1 に記載のラマン増幅器。

【請求項 5】

前記励起光源が所定のパワーの励起光を前記光ファイバに入射するときの、当該励起光のパワーと、前記励起光源の制御値と、を対応付けて記憶する記憶部をさらに有し、

前記励起光源制御部は、前記記憶部を参照して、前記雑音光のパワーの変化率に基づいて決定した前記励起光のパワーの変化率で前記励起光のパワーが変化するように、前記励起光源の制御値を決定し、当該制御値で前記励起光源を駆動するように制御する、

請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載のラマン増幅器。

【請求項 6】

請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載のラマン増幅器を有する光中継装置。

【請求項 7】

前記ラマン増幅器の利得の波長特性を補償する損失の波長特性を有する利得等化器を更に有し、前記ラマン増幅器と前記利得等化器を直列に接続する、

請求項 6 に記載の光中継装置。

【請求項 8】

エルビウム添加ファイバ増幅器を更に有し、前記ラマン増幅器と前記エルビウム添加ファイバ増幅器を直列に接続する、

請求項 6 又は 7 に記載の光中継装置。

10

20

30

40

50

【請求項 9】

請求項 6 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の光中継装置を有する光通信システム。

【請求項 10】

複数の波長の信号光を伝送する光ファイバに励起光源からの励起光を入射して前記信号光を含む光をラマン増幅するラマン増幅器が行うラマン増幅制御方法であって

前記光ファイバを伝送しラマン増幅された光から、前記信号光の波長を含まない波長帯域の雑音光を抽出する雑音光抽出ステップと、

雑音光抽出ステップで抽出した前記雑音光のパワーを検出する雑音光パワー検出ステップと、

前記雑音光パワー検出ステップで抽出した前記雑音光のパワーの変化率に基づいて、前記励起光のパワーの変化率を決定し、当該変化率で前記励起光のパワーが変化するように前記励起光源を制御する励起光源制御ステップと、

を備えるラマン増幅制御方法。

【請求項 11】

複数の波長の信号光を伝送する光ファイバに励起光源からの励起光を入射して前記信号光を含む光をラマン増幅するラマン増幅器において、コンピュータに、励起光源の制御を実行させるプログラムであって、

前記光ファイバを伝送しラマン増幅された光から、前記信号光の波長を含まない波長帯域の雑音光を抽出したときの、前記雑音光のパワーを取得する雑音光パワー取得手順と、

前記雑音光パワー取得手順で取得した前記雑音光のパワーの変化率に基づいて、前記励起光のパワーの変化率を決定し、当該変化率で前記励起光のパワーが変化するように前記励起光源を制御する励起光源制御手順と、

を実行させるプログラム。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、光ファイバを伝搬する信号光をラマン増幅効果によって増幅するラマン増幅器、ラマン増幅器を用いた光中継装置と光通信システム、ラマン増幅制御方法及びプログラムに関する。

【背景技術】**【0002】**

波長多重された信号光を長距離伝送するために、多数の中継装置において光増幅し中継するシステムが実用化されている。このようなシステムにおいて、光増幅にラマン増幅器を用いた場合、信号光の光 S N R (Signal to Noise Ratio: 信号対雑音比) を改善することができるため、伝送距離の延伸化に効果があると期待されている。

【0003】

伝送距離の延伸化に伴い光増幅中継数が多くなった場合、信号品質を保つために、信号光の波長帯域内における各光増幅器の利得の波長特性を平坦化し、各波長の信号光のパワーと光 S N R の波長依存性を小さくする必要がある。

【0004】

ここで、ラマン増幅器の利得を、励起光の有無に対する出力信号光のパワーの比と定義する。ラマン増幅器の利得の波長特性を平坦化するためには、ラマン増幅の利得の波長特性を補償するような損失の波長特性を持つ利得等化器を信号光伝送路に挿入することが考えられる。しかし、ラマン増幅の利得の波長特性は、平均利得に応じて変化するため、平均利得によっては利得等化器で波長特性を十分に補償できなくなるという問題がある。

【0005】

この問題に対して、ラマン増幅の平均利得を一定化する技術がある(例えば、特許文献 1)。特許文献 1 に記載の光中継伝送システムは、送信側から複数の波長の信号光とラマン増幅を受けない参照光を多重した信号光をファイバ伝送する。そして、ラマン増幅器において、光ファイバを伝送する信号光の一部から信号光と参照光を分波し、信号光レベル

10

20

30

40

50

と参照光レベルをそれぞれ検出し、検出された参照光レベルに基づいてラマン増幅の平均利得を所定の値に保つための信号光レベル制御目標値を算出する。算出した信号光レベル制御目標値に検出された信号光のレベルが一致するように励起光の出力を制御する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2004-193640号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

10

特許文献1に記載の光中継伝送システムは、参照光をファイバ伝送し、ラマン増幅器における参照光レベルに基づいて、ラマン増幅の利得を制御するものであるため、送信側または伝送路において参照光に障害が発生したときに、利得の制御が正常に行えなくなるといった問題があった。そして利得の制御が正常に行えなくなった結果、利得等化器等による利得の補償ができなくなり、所望の利得の波長特性を得ることができないという課題があった。

【0008】

また、信号光に参照光を重畳するために、送信装置側では参照光用の発光素子を別途用意する必要があり、中継装置側では参照光レベルを検出する構成が必要となり、構成が複雑であり、低コスト化の弊害となっていた。

20

【0009】

本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであり、簡易な構成で所望の利得の波長特性を得ることのできるラマン増幅器等を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

上記目的を達成するため、本発明のラマン増幅器は、複数の波長の信号光を伝送するとともに、信号光を含む光をラマン増幅する光ファイバと、信号光を含む光をラマン増幅するための励起光を前記光ファイバに入射する励起光源と、光ファイバを伝送しラマン増幅された光から、信号光の波長を含まない波長帯域の雑音光を抽出する雑音光抽出部と、雑音光のパワーを検出する雑音光パワー検出部と、を有する。雑音光パワー検出部が検出する雑音光のパワーの変化率に基づいて、励起光のパワーの変化率を決定し、その変化率で励起光のパワーが変化するように励起光源を制御する。

30

【発明の効果】

【0011】

本発明によれば、簡易な構成で所望の利得の波長特性を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】本発明の実施の形態に係る光通信システムを示すブロック図である。

【図2】信号光パワー及び雑音光パワーの波長特性を示す図である。

【図3】励起光源駆動処理のフローチャートである。

40

【図4】(A)はフィードバック制御を施さない場合の利得の変化を示した表である。(B)は雑音光パワーを一定化する制御を施した場合の利得の変化を示した表である。(C)は実施の形態に係る制御を施した場合の利得の変化を示した表である。

【図5】実施の形態に係る光通信システムの他の構成を示すブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

実施の形態

本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。

【0014】

本実施の形態に係る光通信システム1は、図1に示すように、送信装置10、伝送路光

50

ファイバ 20、中継装置 30、受信装置 50 からなる。図 1 には中継装置 30 を一つのみ記載しているが、送信装置 10 と受信装置 50 の間には任意の数の中継装置 30 が接続されている。任意の数の中継装置 30 は、互いに略同じ構成を有している。

【0015】

送信装置 10 は、任意の変調方式を用いて送信電気信号で光変調した複数の波長の光信号を生成し、これらを波長多重した波長多重信号光を伝送路光ファイバ 20 に送出する。

【0016】

伝送路光ファイバ 20 は、波長多重信号光を伝送する伝送路であるとともに、励起光を入射することでラマン増幅効果を得る増幅媒体でもある。本実施の形態では、伝送路光ファイバ 20 の受信装置 50 側、つまり伝送路光ファイバ 20 の後方から励起光を入射するため、いわゆる後方励起によるラマン増幅を行っている。

10

【0017】

中継装置 30 は、送信装置 10 側の伝送路光ファイバ 20、つまり上流の伝送路光ファイバ 20 でのラマン増幅を制御する機能を有しており、上流の伝送路光ファイバ 20 で増幅された波長多重信号光を、受信装置 50 側の伝送路光ファイバ 20、つまり下流の伝送路光ファイバ 20 に送出する。

【0018】

受信装置 50 は、伝送路光ファイバ 20 を伝送してきた波長多重信号光を受信し、送信装置 10 の変調方式に対応する復調方式で復調し、受信電気信号を取得する。

【0019】

中継装置 30 には、合分波器 31、励起光源 32、第 1 分岐器 33、第 2 分岐器 34、雑音光透過フィルタ 35、信号光パワー検出部 36、雑音光パワー検出部 37、記憶部 38、演算回路 39、利得等化器 (Gain Equalizer: GEQ) 40 が備えられている。なお、上流の伝送路光ファイバ 20 と、中継装置 30 内の合分波器 31、励起光源 32、第 1 分岐器 33、第 2 分岐器 34、雑音光透過フィルタ 35、信号光パワー検出部 36、雑音光パワー検出部 37、記憶部 38、演算回路 39 とで、ラマン増幅器 60 を構成している。

20

【0020】

合分波器 31 は、励起光源 32 から出力される励起光を上流の伝送路光ファイバ 20 に導くための合分波器であり、波長帯の異なる励起光と信号光とを所定の方向に通過させる波長フィルタや、方向性結合機能を有するサーキュレータから構成される。合分波器 31 は、上流の伝送路光ファイバ 20 側から入力される信号光を、第 1 分岐器 33 側に出力し、励起光源 32 から入力される励起光を、上流の伝送路光ファイバ 20 側に出力する。

30

【0021】

励起光源 32 は、伝送路光ファイバ 20 でラマン増幅を行うために、伝送路光ファイバ 20 の後方から入射する励起光を発生させる光源であり、例えば波長が $1.4 \sim 1.5 \mu\text{m}$ の高出力レーザである。励起光源 32 の駆動電流値を制御することにより、励起光源 32 が出力する励起光パワーを制御する。なお、励起光源 32 は、ラマン利得の偏光依存性を低減するために、デポラライザを備えた光源であっても良い。

【0022】

第 1 分岐器 33 は、合分波器 31 が出力する光を 2 分岐する 1 入力 2 出力の光分岐器であり、例えば 10 dB カプラ、15 dB カプラ、20 dB カプラ等から構成される。第 1 分岐器 33 は、合分波器 31 側の入力ポート 331 から入力される光を分岐して、信号伝送経路側である主信号ポート 332 と、光パワー検出用の副信号ポート 333 から出力する。第 1 分岐器 33 が 10 dB カプラの場合、入力光に対して -10 dB のパワーの光が副信号ポート 333 から出力される。

40

【0023】

第 2 分岐器 34 は、第 1 分岐器 33 の副信号ポート 333 から出力される光を 2 分岐する 1 入力 2 出力の分岐器であり、例えば、3 dB カプラから構成される。第 2 分岐器 34 は、第 1 分岐器 33 側の入力ポート 341 から入力される光を分岐して、信号光パワー検

50

出用の第1ポート342と、雑音光パワー検出用の第2ポート343から出力する。第2分岐器34が3dBカプラの場合、入力光に対してそれぞれ-3dBのパワーの光が第1ポート342と第2ポート343から出力される。

【0024】

雑音光透過フィルタ35は、特定の波長帯域の光のみを透過させる波長フィルタから構成され、第2分岐器34の第2ポート343に接続されている。雑音光透過フィルタ35は、第2分岐器34の第2ポート343から出力される光のうち信号光の波長を含まない波長帯域の雑音光を透過し、雑音光パワー検出部37側に出力する。

【0025】

雑音光透過フィルタ35の入出力について、図2を用いて説明する。第2分岐器34の第2ポート343から雑音光透過フィルタ35に入力する光は、図2(a)に示すように、等間隔で配列された波長を有する光が多重された信号光と、雑音光を含んでいる。雑音光透過フィルタ35から出力する光は、ラマン増幅帯域内であつ信号光を含まない帯域の雑音光の一部である。透過する帯域は、例えば、図2(b)の実線で示すように、信号光より長波長の帯域でも良いし、信号光より短波長の帯域でもよい。

10

【0026】

以上のように、直列に接続された第1分岐器33、第2分岐器34、雑音光透過フィルタ35が、伝送路光ファイバ20を伝送しラマン増幅された光から、信号光の波長を含まない波長帯域の雑音光を抽出する機能を有している。

【0027】

信号光パワー検出部36は、第2分岐器34の第1ポート342に接続され、第1ポート342から出力される光のパワーに対応した電圧信号である信号光パワー信号を出力する。信号光パワー検出部36は、例えば、入力光を光電変換して入力光パワーに対応した電流を出力するフォトダイオードと、フォトダイオードの出力電流を電圧信号に変換する電流電圧変換アンプから構成される。

20

【0028】

信号光パワー検出部36が検出する光は、第2分岐器34の第1ポート342から出力される光であり、雑音光透過フィルタ35に入力する光と略同じであるから、図2(a)に示すように信号光と雑音光を含んだものである。しかし、雑音光のパワーは、信号光のパワーに比較して十分に小さいため、実質的に信号光のパワーを検出している。

30

【0029】

雑音光パワー検出部37は、雑音光透過フィルタ35の第2分岐器34側と逆側に接続され、雑音光透過フィルタ35から出力された光のパワーに対応した電圧信号である雑音光パワー信号を出力する。雑音光パワー検出部37は、例えば、信号光パワー検出部36と同様に、フォトダイオードと、電流電圧変換アンプから構成される。

【0030】

雑音光パワー検出部37が検出する光は、雑音光透過フィルタ35を透過した後の光であるから、図2(b)に示すように特定の帯域内の雑音光である。つまり、雑音光パワー検出部37は、特定の帯域内の雑音光のパワーを検出している。

40

【0031】

ここで、雑音光透過フィルタ35を透過する雑音光のパワーは、ラマン増幅利得を一定に保つ制御に利用するパラメータであるため、ラマン増幅で発生した雑音光パワーを検出するのが望ましい。ラマン増幅で発生した雑音の主要素は、自然放出光が増幅されて出力されるASE(Amplified spontaneous emission:自然放出光)雑音である。このため、送信装置10の発光部で発生するショット雑音等を排除するために、送信装置10の光出力部に、雑音光透過フィルタ35で透過させる波長帯域の雑音光を除去するフィルタを備えてもよい。

【0032】

記憶部38は、フラッシュメモリなどの不揮発性メモリから構成される。記憶部38は、励起光源32の駆動電流の初期値や、励起光源32の駆動電流と励起光パワーとの関係

50

を示すデータや、演算回路 3 9 で実行するプログラム等を記憶する。

【 0 0 3 3 】

記憶部 3 8 に記憶されている、励起光源 3 2 の駆動電流と励起光パワーとの関係を示すデータは、例えば、ラマン増幅器 6 0 の組立時において、励起光源 3 2 を合分波器 3 1 に接続したときの励起光源 3 2 の駆動電流と、合分波器 3 1 の伝送路光ファイバ 2 0 側のポートから出力する励起光パワーとの関係を測定した測定結果を示す表データである。

【 0 0 3 4 】

演算回路 3 9 は、記憶部 3 8 に記憶されているプログラムを実行することにより、ラマン増幅器 6 0 の利得が一定となるように励起光源 3 2 を駆動制御する励起光源駆動処理等を実行する。

【 0 0 3 5 】

また、演算回路 3 9 は、信号光パワー検出部 3 6 から出力される信号光パワー信号に基づいて、伝送信号の出力異常の発生を監視し、異常があった場合には警告を行い、外部にその情報を送信する等の処理を行う。

【 0 0 3 6 】

演算回路 3 9 が実行する励起光源駆動処理は、定期的に雑音光パワー検出部 3 7 から出力される雑音光パワー信号を読み込み、雑音光パワーの変化率に基づいて励起光パワーの変化率を決定する。そして、決定した変化率で励起光パワーが変化するように駆動電流を決定する。励起光源駆動処理を図 3 に示すフローチャートに沿って詳細に説明する。

【 0 0 3 7 】

励起光源駆動処理が開始されると、まず、タイマーをリセットしてからスタートする（ステップ S 1 0 1）。演算回路 3 9 は、励起光源 3 2 の駆動電流の初期値を記憶部 3 8 より読み込み、励起光源 3 2 に対して出力する（ステップ S 1 0 2）。励起光源 3 2 は、演算回路 3 9 から入力された駆動電流の初期値の情報に基づいて駆動する。

【 0 0 3 8 】

次に、演算回路 3 9 は、雑音光パワー検出部 3 7 が検出する雑音光パワーを取得する（ステップ S 1 0 3）。つまり初期状態の雑音光パワーを取得し、演算回路 3 9 の内部メモリに一時保存する。その後タイマーをモニタし、タイマー時間 t が雑音光パワー検出間隔 t_0 を超えるまで待機する（ステップ S 1 0 4 : No）。そして、タイマー時間 t が雑音光パワー検出間隔 t_0 を超えた場合には（ステップ S 1 0 4 : Yes）、雑音光パワーを再取得する（ステップ S 1 0 5）。

【 0 0 3 9 】

ステップ S 1 0 5 で取得した雑音光パワーから、雑音光パワーの変化率を算出する（ステップ S 1 0 6）。本実施の形態では、ステップ S 1 0 5 で取得した雑音光パワーを、演算回路 3 9 の内部メモリに一時保存している前回取得した雑音光パワーで除算してデシベル値に変換する。

【 0 0 4 0 】

その後、ステップ S 1 0 5 で取得した雑音光パワーを演算回路 3 9 の内部メモリに一時保存する（ステップ S 1 0 7）。この内部メモリへの一時保存は、次の変化率算出時に使用するためである。

【 0 0 4 1 】

次に、ステップ S 1 0 6 で算出した雑音光パワーの変化率に基づいて、励起光パワーの変化率を決定する（ステップ S 1 0 8）。本実施の形態は、雑音光パワーの変化率のデシベル値と励起光パワーの変化率のデシベル値が、絶対値が同じで、符号が逆となるように励起光パワーの変化率を求める。換言すると、雑音光パワーの変化率のデシベル値と励起光パワーの変化率のデシベル値との和が 0 dB となるように励起光パワーの変化率を求める。

【 0 0 4 2 】

次に、演算回路 3 9 は、記憶部 3 8 の表データを参照し、ステップ S 1 0 8 で決定した励起光パワーの変化率に対応する駆動電流の変化率を算出する。そして、現在の駆動電流

10

20

30

40

50

に対して、算出した駆動電流の変化率分変化させた励起光源の駆動電流を決定し、その駆動電流の情報を励起光源 3 2 に対して出力する（ステップ S 1 0 9）。

【 0 0 4 3 】

その後、電源 OFF 等、励起光源駆動処理を終了する指示があるか否かを判定し（ステップ S 1 1 0）、終了する指示がない場合には（ステップ S 1 1 0 : No）、タイマーをリセットして（ステップ S 1 1 1）、ステップ S 1 0 4 に戻る。終了する指示がある場合には（ステップ S 1 1 0 : Yes）、本処理を終了する。

【 0 0 4 4 】

以上説明した本実施の形態に係る励起光源駆動処理を実行したときの結果を、雑音光パワーに基づくフィードバック制御を施さない場合及び雑音光パワーを一定化する制御を施した場合と比較して説明する。

10

【 0 0 4 5 】

図 4 に示した表は伝送路光ファイバ 2 0 の送信装置 1 0 又は前段の中継装置 3 0 に近い位置（送信端付近）で 1 d B の損失増加が発生した場合と、当該中継装置 3 0 の合分波器 3 1 に近い位置（受信端付近）で 1 d B の損失増加が発生した場合において、各光パワーとラマン増幅の利得の変化率を見積もった結果を示している。

【 0 0 4 6 】

なお、ここでのラマン増幅の利得とは、伝送路光ファイバ 2 0 における実質的な増幅利得であり、ラマン増幅器全体での利得とは異なり、受信端での損失や合分波器 3 1 や第 1 分岐器 3 3 等の挿入損失を考慮しないものである。すなわち、利得の波長特性に影響を及ぼすラマン増幅の利得である。

20

【 0 0 4 7 】

図 4 (A) の表は、励起光源 3 2 に対してフィードバック制御を施さない場合の各光パワーと利得の変化率を示している。

【 0 0 4 8 】

まず、送信端付近で 1 d B の損失増加が発生した場合について説明する。送信端付近では、励起光パワーは微弱に減衰しており、雑音光パワーは損失増加の影響をほとんど受けないため、雑音光パワーの変化率は ± 0 d B である。励起光パワーの変化率はフィードバック制御を施していないため ± 0 d B である。よって、雑音光パワーの変化率と励起光パワーの変化率の和は ± 0 d B である。一方、信号光パワーの変化率は、損失の影響で $- 1 . 0$ d B である。ラマン増幅の利得については、励起光パワーが変化していないため、利得も変化せず ± 0 d B である。

30

【 0 0 4 9 】

次に、受信端付近で 1 d B の損失増加が発生した場合について説明する。フィードバック制御を施していない励起光パワーは伝送路光ファイバ 2 0 伝搬時に 1 d B 低下しているため、ラマン増幅の利得が低下する。利得の低下量は諸条件に依存するが、ここでは伝送路光ファイバ 2 0 入力時の励起光パワーが 1 d B 低下したことによる利得の低下量を $1 . 5$ d B とする。この場合、伝送路で発生する雑音光パワーも $1 . 5$ d B 低下して、さらに受信端付近の 1 d B の損失も加わり雑音光パワー検出部 3 7 が検出する雑音光パワーは合計 $2 . 5$ d B 低下する。信号光パワーについても、 $1 . 5$ d B の利得低下と受信端付近の 1 d B の損失により、信号光パワー検出部 3 6 が検出する信号光パワーは合計 $2 . 5$ d B 低下する。なお、このときの励起光源 3 2 が出力する励起光パワーの変化率は ± 0 d B であり、雑音光パワーの変化率と励起光パワーの変化率の和は $- 2 . 5$ d B である。

40

【 0 0 5 0 】

つまり、雑音光パワーに基づくフィードバック制御を施さない場合、送信端付近で損失があった場合には影響はほとんどないが、受信端付近で損失があった場合、実質的なラマン増幅の利得が大きく変化し、利得の波長特性が変化してしまう。

【 0 0 5 1 】

図 4 (B) の表は、雑音光パワーを一定化する制御を施した場合の各光パワーと利得の変化率を示している。

50

【 0 0 5 2 】

まず、送信端付近で 1 d B の損失増加が発生した場合について説明する。送信端付近では、励起光パワーは微弱に減衰しており、雑音光パワーは損失の影響をほとんど受けないため、雑音光パワーの変化率は ± 0 d B である。励起光パワーの変化率は、雑音光パワーが変化していないため、 ± 0 d B である。よって、雑音光パワーの変化率と励起光パワーの変化率の和は ± 0 d B である。一方、信号光パワーの変化率は、損失の影響で -1.0 d B である。ラマン増幅の利得については、励起光パワーが変化していないため、利得もほとんど変化せず ± 0 d B である。

【 0 0 5 3 】

次に、受信端付近で 1 d B の損失増加が発生した場合について説明する。損失増加による雑音光パワーの変化率を補償するように、励起光パワーを増やすように制御されるため、その結果、雑音光パワーと信号光パワーは損失増加前と同じパワー (± 0 d B) となる。この状態では、損失増加点より送信装置 10 側で、伝送路光ファイバを伝搬する雑音光パワーと信号光パワーは、損失増加前に比べて 1 d B 高い状態のはずであるため、ラマン増幅の利得は 1 d B 高いことになる。なお、利得を 1 d B 増加するために必要な励起光パワーは諸条件に依存するが、1 d B と考えると、損失増加分も考慮し、励起光パワーの変化率は $+2.0$ d B となる。また、雑音光パワーの変化率と励起光パワーの変化率の和は $+2.0$ d B となる。

10

【 0 0 5 4 】

つまり、雑音光パワーを一定にする制御を施した場合、送信端付近で損失があった場合には影響はほとんどないが、受信端付近で損失があった場合に実質的なラマン増幅の利得が変化し、利得の波長特性が変化してしまう。

20

【 0 0 5 5 】

図 4 (C) の表は、本実施の形態に係る制御を施した場合の、各光パワーと利得の変化率を示している。まず、送信端付近で 1 d B の損失増加が発生した場合について説明する。送信端付近では、励起光パワーは微弱に減衰しており、雑音光パワーは損失の影響をほとんど受けないため、雑音光パワーの変化率は ± 0 d B である。励起光パワーの変化率は、雑音光パワーが変化していないため、 ± 0 d B である。よって、雑音光パワーの変化率と励起光パワーの変化率の和は ± 0 d B である。一方、信号光パワーの変化率は、損失の影響で -1.0 d B である。ラマン増幅の利得については、励起光パワーが変化していないため、利得もほとんど変化せず ± 0 d B である。

30

【 0 0 5 6 】

次に、受信端付近で 1 d B の損失増加が発生した場合について説明する。受信端付近で 1 d B の損失増加が発生した場合には、信号光パワーと雑音光パワーの変化率は -1.0 d B である。励起光パワーの変化率は、雑音光パワーの変化率と絶対値が同じで符号が逆である $+1.0$ d B になるように制御する。よって、雑音光パワーの変化率と励起光パワーの変化率の和は ± 0 d B である。この状態は、励起光パワーの増加が、損失 (1 d B) をちょうど補償した状態となっている。その結果、ラマン増幅の利得は損失増加前と同じ (± 0 d B) となる。

40

【 0 0 5 7 】

つまり、本実施の形態に係る制御を施した場合、送信端付近で損失があった場合のみならず受信端付近で損失があった場合にも実質的なラマン増幅の利得を一定に保つことができる。これにより利得の波長特性が変動しない。

【 0 0 5 8 】

このように、本実施の形態のラマン増幅器 60 により、信号光を一定の利得でラマン増幅することができる。一定の利得でラマン増幅した信号光は、中継装置 30 の光出力側に挿入された利得等化器 40 に入力される。利得等化器 40 は、ラマン増幅の利得の波長特性を補償するような損失の波長特性を有するフィルタから構成される。利得等化器を通過した光の出力パワーは、ラマン増幅前の光のパワーと略同等の波長特性を有する。つまり、伝送路光ファイバ 20 と中継装置 30 の全体としての利得の平坦性が確保できる。

50

【0059】

以上説明したように、本実施の形態によれば、ラマン増幅器60における伝送路光ファイバ20を伝送してきた光の一部を第1分岐器33、第2分岐器34で分岐し、雑音光透過フィルタ35を透過させた雑音光のパワーを雑音光パワー検出部37で検出し、雑音光パワーの変化率のデシベル値と励起光パワーの変化率のデシベル値が、絶対値が同じで符号が逆となるように励起光パワーの変化率を求め、その変化率で励起光パワーが変化するように励起光源32の駆動電流値を制御することとした。これにより、実質的なラマン増幅の利得を一定に保つことができ、伝送路光ファイバ20と中継装置30の全体としての利得の平坦性が確保できる。

【0060】

このように本発明は、伝送路光ファイバに励起光源が出力する励起光を入射して信号光をラマン増幅するラマン増幅器において、光ファイバを伝送しラマン増幅された光から、信号光の波長を含まない波長帯域の雑音光を抽出して、雑音光のパワーを検出し、検出した雑音光のパワーの変化率に基づいて、励起光源の変化率を決定し、決定した変化率で励起光パワーが変化するように励起光源を制御することとした。これにより、簡易な構成で所望の利得の波長特性を得ることができる。

【0061】

なお、本発明は、上記実施の形態に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲での種々の変更は勿論可能である。

【0062】

例えば、上記実施の形態において、光通信システム1は、送信装置10と任意の数の中継装置30と受信装置50が直列に接続された構成について説明したが、送信器10又は中継装置30の内部、またはこれらとは別に1入力多出力の光分岐器を更に備えることにより、ツリー状の構成であってもよい。

【0063】

また、上記実施の形態において、励起光源32が一つのみからなる構成について説明したが、励起光源32を複数備え、複数の励起光源32の励起光を合波したものを合分波器31で伝送路光ファイバ20に入射するようにしてもよい。この場合、記憶部38には、各励起光源32の駆動電流と励起光パワーの関係を示す表データを記憶しておき、演算回路39は、各励起光源32の励起光パワーが決定した変化率でそれぞれ変化するように、各励起光源32の駆動電流を決定する。異なる波長の励起光源32を複数備えることにより、増幅帯域を拡大し、利得の平坦性を改善することも可能となる。あるいは、同一波長の励起光源32を冗長化した構成にすることにより、中継装置30の信頼性を確保できる。

【0064】

また、上記実施の形態において、雑音光を抽出するために、第1分岐器33、第2分岐器34、雑音光透過フィルタ35を直列に接続する構成としたが、所定の波長帯域の雑音光を抽出できれば、この構成に限られない。例えば、光分岐機能を有する導波路に波長フィルタを挿入して生成した1つの光部品で構成しても良い。

【0065】

また、上記実施の形態において、中継装置30の出力段に利得等化器40を挿入する構成について説明したが、中継装置30による中継において、平坦でない利得を所望する場合には、ラマン増幅の利得と利得等化器の損失との合計が所望する利得となるようなフィルタを利得等化器40に代えて挿入しても良い。

【0066】

また、所望の利得の波長特性によっては、利得等化器40を省略しても良い。

【0067】

また、上記実施の形態において、演算回路39が実行する励起光源駆動処理のステップS106で、雑音光パワーの変化率をデシベル値に変換し、ステップS107で、雑音光パワーの変化率のデシベル値と励起光パワーの変化率のデシベル値が、絶対値が同じで、

10

20

30

40

50

符号が逆となるように励起光パワーの変化率を求めるようにしたが、変化率はデシベル値に限らず、対数に変換した値であればよい。雑音光パワーの変化率の対数と励起光パワーの変化率の対数の符号と絶対値を比較するに過ぎないため、底の数を共通とすれば、他の底の対数でも比較できるからである。

【0068】

また、励起光源駆動処理のステップS106では、雑音光パワーの変化率をデシベル値に変換せず、雑音光パワーの変化率（実数）と、励起光パワーの変化率（実数）の積が1となるように励起光パワーの変化率（実数）を求めても良い。これにより、伝送路光ファイバ20の損失の増加量が小さいときに精度良く利得を一定に保つことができる。また、演算回路39の処理量を軽減することができる。

10

【0069】

また、上記実施の形態において、信号光パワー検出部36と雑音光パワー検出部37の出力を直接演算回路39に入力し、演算回路39では、雑音光パワー検出部37が出力する雑音光パワー信号に基づいて励起光源の駆動電流を決定するとしたが、図5に示すように、信号光パワー検出部36及び雑音光パワー検出部37と、演算回路39との間に、入力電圧を対数変換して出力するLogアンプ41、42を挿入してもよい。この場合、演算回路39は、雑音光パワー検出部37が出力する雑音光パワーを示す電圧をLogアンプ42で対数変換した電圧値に基づいて、励起光源32の駆動電流を決定する。具体的には、図3のフローチャートのステップS103、S105で取得する雑音光パワーは、対数変換された値であり、ステップS106で算出する雑音光パワーの変化率は、ステップS105で取得する雑音光パワーから、前回取得した雑音光パワーを減算することにより算出する。ステップS106で算出した雑音光パワーの変化率と励起光パワーの変化率が、絶対値が同じで、符号が逆となるように励起光パワーの変化率（対数）を求める。これにより、演算回路39の処理量を軽減することができる。

20

【0070】

また、中継装置30においてエルビウム添加ファイバ増幅器（Erbium Doped Fiber Amplifier：EDFA）をラマン増幅器60又は利得等化器40の後段に接続しても良い。ラマン増幅器60における実質的なラマン増幅の利得を一定化することによる信号光パワーの低下を、EDFAの出力一定制御により補償することができる。

【0071】

また、演算回路39が実行するプログラムを、既存の演算処理装置に適用することで、当該演算処理装置を備えたラマン増幅器60を構成することも可能である。

30

【0072】

このようなプログラムの配布方法は任意であり、例えば、CD-ROM（Compact Disk Read-Only Memory）、DVD（Digital Versatile Disk）、MO（Magneto Optical Disk）、メモリカード等のコンピュータ読み取り可能な記録媒体に格納して配布してもよいし、インターネット等の通信ネットワークを介して配布してもよい。

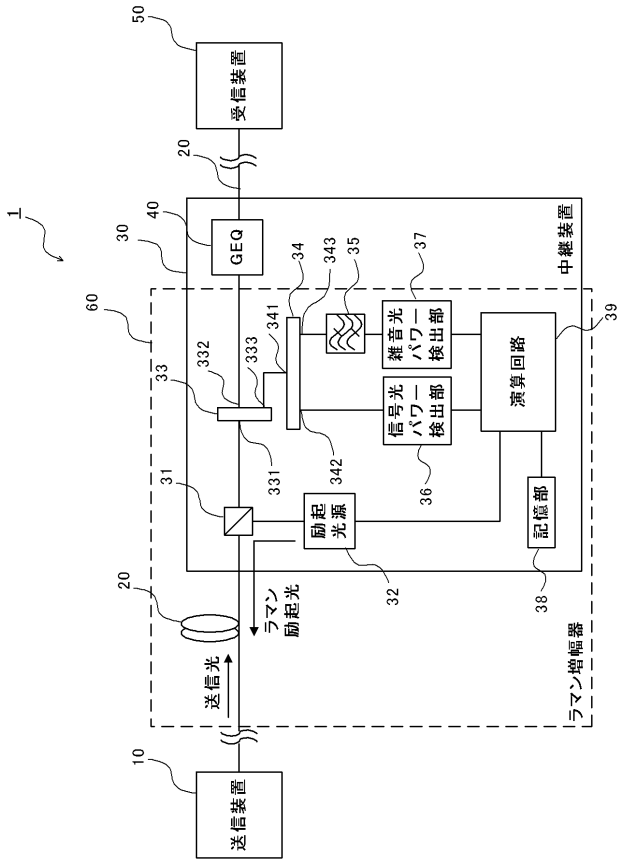
【符号の説明】

【0073】

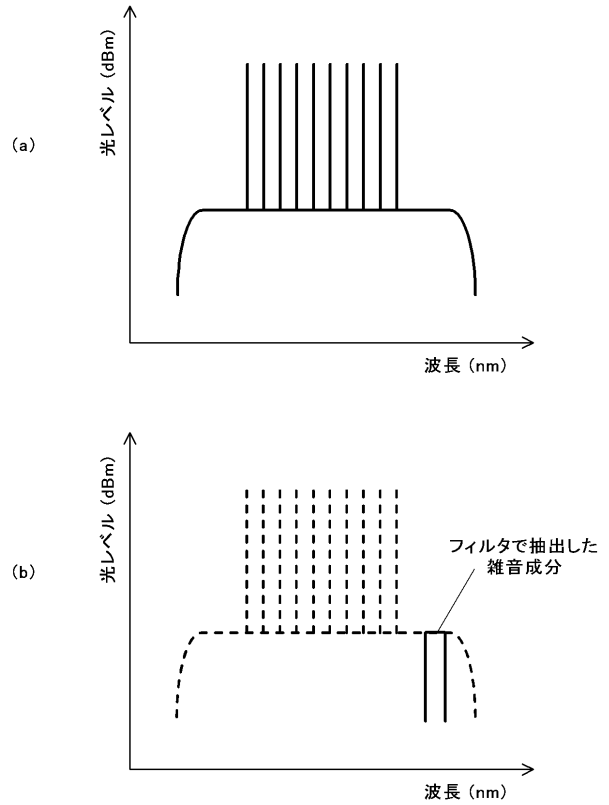
1 光通信システム、10 送信装置、20 伝送路光ファイバ、30 中継装置、31 合分波器、32 励起光源、33 第1分岐器、331 入力ポート、332 主信号ポート、333 副信号ポート、34 第2分岐器、341 入力ポート、342 第1ポート、343 第2ポート、35 雑音光透過フィルタ、36 信号光パワー検出部、37 雑音光パワー検出部、38 記憶部、39 演算回路、40 利得等化器、41、42 Logアンプ、50 受信装置

40

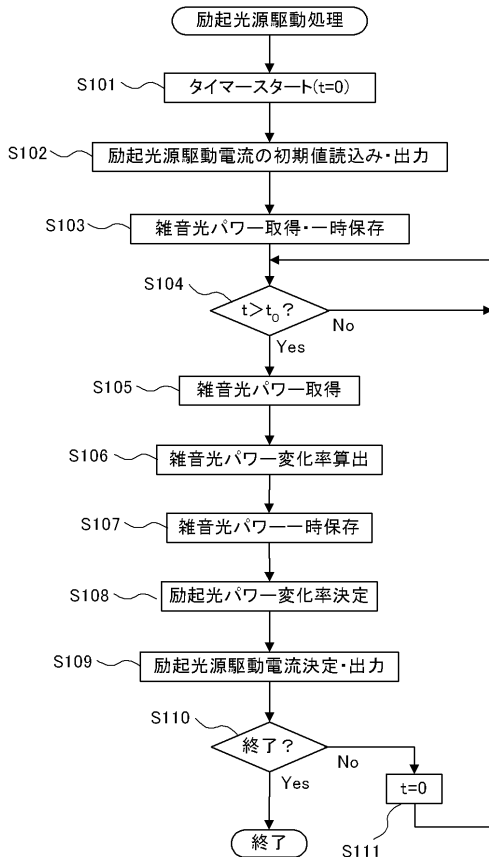
【図1】



【図2】



【図3】

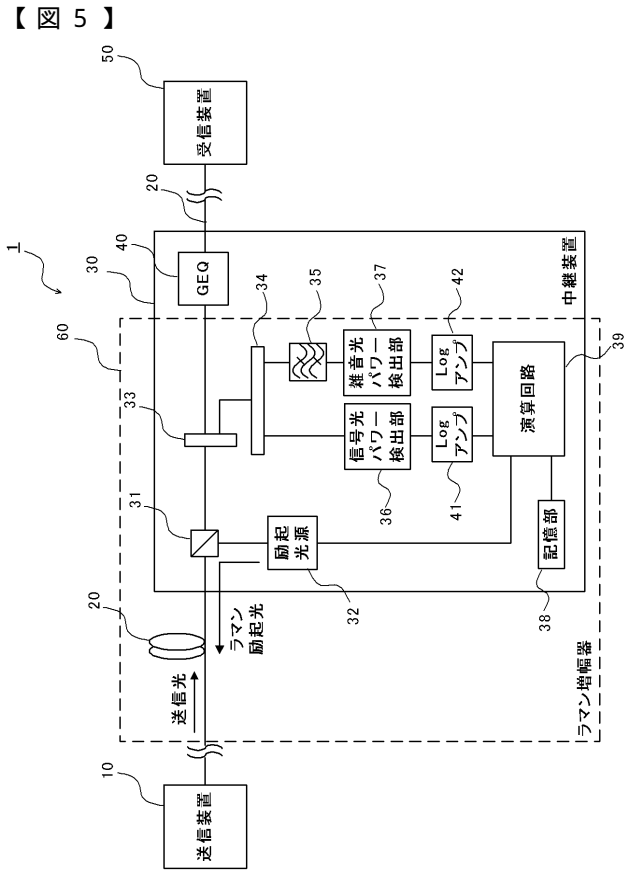


【図4】

	送信端付近で 1dBの損失増加	受信端付近で 1dBの損失増加
(A) 雑音光パワー	±0dB	-2.5dB
励起光パワー	±0dB	±0dB
雑音光パワーの変化率 +励起光パワーの変化率	±0dB	-2.5dB
信号光パワー	-1.0dB	-2.5dB
利得	±0dB	-1.5dB

	送信端付近で 1dBの損失増加	受信端付近で 1dBの損失増加
(B) 雑音光パワー	±0dB	±0dB
励起光パワー	±0dB	+2.0dB
雑音光パワーの変化率 +励起光パワーの変化率	±0dB	+2.0dB
信号光パワー	-1.0dB	±0dB
利得	±0dB	+1.0dB

	送信端付近で 1dBの損失増加	受信端付近で 1dBの損失増加
(C) 雑音光パワー	±0dB	-1.0dB
励起光パワー	±0dB	+1.0dB
雑音光パワーの変化率 +励起光パワーの変化率	±0dB	±0dB
信号光パワー	-1.0dB	-1.0dB
利得	±0dB	±0dB



フロントページの続き

- (72)発明者 別所 浩資
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
- (72)発明者 中村 誠希
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
- (72)発明者 杉原 隆嗣
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
- (72)発明者 石田 和行
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内

Fターム(参考) 2K102 AA15 BA13 BB01 BC01 BD01 CA00 DA06 DD07 EA25 EB06
EB20 EB22
5F172 AF03 AG03 AM08 BB02 BB04 BB24 BB27 BB48 BB54 BB58
BB60 BB65 BB70 BB89 BB99
5K102 AD01 MH04 MH14 MH21 MH22 PC12 PH13 PH14 PH41 PH48
PH49 RD28