

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5135849号
(P5135849)

(45) 発行日 平成25年2月6日(2013.2.6)

(24) 登録日 平成24年11月22日(2012.11.22)

(51) Int. Cl. F I
HO 4 B 10/296 (2013.01) HO 4 B 9/00 2 9 6
HO 1 S 3/063 (2006.01) HO 1 S 3/06 A

請求項の数 12 (全 24 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2007-92778 (P2007-92778) (22) 出願日 平成19年3月30日 (2007.3.30) (65) 公開番号 特開2008-252645 (P2008-252645A) (43) 公開日 平成20年10月16日 (2008.10.16) 審査請求日 平成21年12月8日 (2009.12.8)</p> <p>前置審査</p>	<p>(73) 特許権者 000005223 富士通株式会社 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 (74) 代理人 100092978 弁理士 真田 有 (72) 発明者 尾中 美紀 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内 (72) 発明者 杉谷 秀昭 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内 (72) 発明者 菅谷 靖 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内</p> <p style="text-align: right;">最終頁に続く</p>
--	--

(54) 【発明の名称】 利得制御装置、光伝送装置および光増幅器の利得制御方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

入力される波長多重信号光を増幅する光増幅器の利得を制御する装置であって、
 前記波長多重信号光の波長数が設定された閾値以下のときの、前記光増幅器の出力光パワー変動の特性を予め取得し、取得した前記出力光パワー変動の特性に基づいて、波長数の変化による前記出力光パワーの変動量が前記特性を補償する変動量に抑制されるように、前記波長多重信号光の波長数が少ないほど波長多重信号光の利得が増加した値、または前記波長多重信号光の波長数が少ないほど波長多重信号光の利得が減少した値、のいずれかを前記光増幅器の目標利得として算出する目標利得算出部と、

該目標利得算出部で算出された前記目標利得で前記波長多重信号光を増幅すべく、前記光増幅器に対し制御信号を出力する制御信号出力部と、をそなえたことを特徴とする、利得制御装置。

【請求項 2】

請求項 1 において、

該信号波長数に対する波長多重信号光の利得の増減の変化率は、信号波長数が少なくなると急峻に連続的に変化することを特徴とする利得制御装置。

【請求項 3】

入力される波長多重信号光を増幅する光増幅器の利得を制御する装置であって、
 前記波長多重信号光の波長数が、設定された閾値よりも大きい場合には、
 実質的に一定の利得値を前記光増幅器の目標利得として算出する一方、

前記波長多重信号光の波長数が前記閾値以下の場合には、

前記波長多重信号光の波長数が前記閾値以下のときの、前記光増幅器の出力光パワー変動の特性を予め取得し、取得した前記出力光パワー変動の特性に基づいて、波長数の変化による前記出力光パワーの変動量が前記特性を補償する変動量に抑制されるように、当該波長数に応じて波長多重信号光の利得値を増大させた値、または当該波長数に応じて波長多重信号光の利得値を減少させた値、のいずれかを前記光増幅器の目標利得として算出する目標利得算出部と、

該目標利得算出部で算出された前記目標利得で前記波長多重信号光を増幅すべく、前記光増幅器に対し制御信号を出力する制御信号出力部と、をそなえたことを特徴とする、利得制御装置。

10

【請求項 4】

該目標利得算出部が、

前記光増幅器で増幅される波長多重信号光の波長数情報を取得する波長数情報取得部と、

該波長数情報取得部で取得した波長数情報に基づいて、前記光増幅器での増幅における前記目標利得を算出する算出部と、

をそなえたことを特徴とする、請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項記載の利得制御装置。

【請求項 5】

波長多重光伝送システムにおける伝送すべき波長多重信号光をなす波長ごとの信号光についてパワー調整を行なう信号光処理部と、

20

該信号光処理部の前段および/または後段にそなえられ、入力される波長多重信号光を励起光により増幅する光増幅器と、

該光増幅器の利得を制御する利得制御部と、をそなえ、

該利得制御部が、

前記波長多重信号光の波長数が設定された閾値以下のときの、前記光増幅器の出力光パワー変動の特性を予め取得し、取得した前記出力光パワー変動の特性に基づいて、波長数の変化による前記出力光パワーの変動量が前記特性を補償する変動量に抑制されるように、前記波長多重信号光の波長数が少ないほど波長多重信号光の利得が増加した値、または前記波長多重信号光の波長数が少ないほど波長多重信号光の利得が減少した値、のいずれかを該光増幅器の目標利得として算出する目標利得算出部と、

30

該目標利得算出部で算出された前記目標利得で前記波長多重信号光を増幅すべく、該光増幅器に対し制御信号を出力する制御信号出力部と、をそなえたことを特徴とする、光伝送装置。

【請求項 6】

請求項 5 において、

該信号波長数に対する波長多重信号光の利得の増減の変化率は、信号波長数が少なくなるに従って急峻に連続的に変化することを特徴とする、光伝送装置。

【請求項 7】

前記目標利得算出部は、

前記波長多重光伝送システムに光学的に接続されている光受信器の S N 耐力または入力下限耐力が予め設定された第 1 閾値よりも低い場合は、前記波長数が少ないほど波長多重信号光の利得が増加した値になるように算出し、前記光受信器の入力上限耐力が予め設定された第 2 閾値よりも低い場合は、前記波長数が少ないほど波長多重信号光の利得が減少した値になるように算出することを特徴とする、請求項 5 又は請求項 6 記載の光伝送装置。

40

【請求項 8】

波長多重光伝送システムにおける伝送すべき波長多重信号光をなす波長ごとの信号光についてパワー調整を行なう信号光処理部と、

該信号光処理部の前段および/または後段にそなえられ、入力される波長多重信号光を励起光により増幅する光増幅器と、

50

該光増幅器の利得を制御する利得制御部と、をそなえ、
該利得制御部が、

前記波長多重信号光の波長数が予め設定された閾値よりも大きい場合には、
実質的に一定の利得値を該光増幅器の目標利得として算出する一方、

前記波長多重信号光の波長数が前記閾値以下の場合には、

前記波長多重信号光の波長数が前記閾値以下のときの、前記光増幅器の出力光パワー変動の特性を予め取得し、取得した前記出力光パワー変動の特性に基づいて、波長数の変化による前記出力光パワーの変動量が前記特性を補償する変動量に抑制されるように、当該波長数に応じて波長多重信号光の利得値を増大させた値、または当該波長数に応じて波長多重信号光の利得値を減少させた値、のいずれかを該光増幅器の目標利得として算出する目標利得算出部と、

10

該目標利得算出部で算出された前記目標利得で前記波長多重信号光を増幅すべく、該光増幅器に対し制御信号を出力する制御信号出力部と、をそなえたことを特徴とする、光伝送装置。

【請求項 9】

入力される波長多重信号光を励起光により増幅する光増幅器の増幅利得を制御する制御方法であって、

前記波長多重信号光の波長数が設定された閾値以下のときの、前記光増幅器の出力光パワー変動の特性を予め取得し、

取得した前記出力光パワー変動の特性に基づいて、波長数の変化による前記出力光パワーの変動量が前記特性を補償する変動量に抑制されるように、前記波長多重信号光の波長数が少ないほど波長多重信号光の利得が増加した値、または前記波長多重信号光の波長数が少ないほど波長多重信号光の利得が減少した値、のいずれかを前記光増幅器の目標利得として算出し、

20

前記算出された目標利得で前記波長多重信号光を増幅すべく、前記光増幅器に対し制御信号を出力することを特徴とする、光増幅器の利得制御方法。

【請求項 10】

請求項 9 において、該信号波長数に対する波長多重信号光の利得の増減の変化率は、信号波長数が少なくなるに従って急峻に連続的に変化することを特徴とする特徴とする、光増幅器の利得制御方法。

30

【請求項 11】

前記目標利得を算出することは、

前記波長多重光伝送システムに光学的に接続されている光受信器の S N 耐力または入力下限耐力が予め設定された第 1 閾値よりも低い場合は、前記波長数が少ないほど波長多重信号光の利得が増加した値になるように算出し、前記光受信器の入力上限耐力が予め設定された第 2 閾値よりも低い場合は、前記波長数が少ないほど波長多重信号光の利得が減少した値になるように算出することを含むことを特徴とする、請求項 9 又は請求項 10 記載の光増幅器の利得制御方法。

【請求項 12】

入力される波長多重信号光を励起光により増幅する光増幅器の増幅利得を制御する制御方法であって、

前記波長多重信号光の波長数が予め設定された閾値よりも大きい場合には、
実質的に一定の利得値を前記光増幅器の目標利得として算出する一方、

前記波長多重信号光の波長数が前記閾値以下の場合には、

前記波長多重信号光の波長数が前記閾値以下のときの、前記光増幅器の出力光パワー変動の特性を予め取得し、

取得した前記出力光パワー変動の特性に基づいて、波長数の変化による前記出力光パワーの変動量が前記特性を補償する変動量に抑制されるように、当該波長数に応じて波長多重信号光の利得値を増大させた値、または当該波長数に応じて波長多重信号光の利得値を減少させた値、のいずれかを前記光増幅器の目標利得として算出し、

40

50

前記算出された目標利得で前記波長多重信号光を増幅すべく、前記光増幅器に対し制御信号を出力することを特徴とする、光増幅器の利得制御方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、利得制御装置、光伝送装置および光増幅器の利得制御方法に関し、特に、エルビウム添加光ファイバ増幅器（EDFA）に代表される光ファイバ増幅器を多段に設けて長距離化を図るWDM（Wavelength Division Multiplex）光伝送システムに用いて好適な技術に関する。

【背景技術】

10

【0002】

近年、WDM光伝送システムの一例として、地方の拠点都市間を結ぶ、任意のノードで任意波長の光信号を挿抜（アド/ドロップ）可能なメトロコアシステムが注目されている。図7はメトロコアシステムの構成例を示すブロック図で、この図7に示すシステムは、複数の光伝送装置としてのOADMノード100が伝送路（光ファイバ）110を介してリング状に接続されて、各OADMノード110で、それぞれ、任意波長（チャンネル）の信号光を伝送路110へ挿入（アド）したり、伝送路110を伝送されるWDM信号光のうち任意波長の信号光を分岐（ドロップ）したりすることができるようになっている。

【0003】

また、各OADMノード100は、信号光の分岐および挿入を行なうOADM部101とともに、OADM部101の前段および後段にそれぞれ適宜設けられるプリアンプとしての前置光増幅部102aおよびポストアンプとしての後置光増幅部102b（以下、区別しない場合には光増幅部102と称する）をそなえており、これらの光増幅部102での増幅作用を通じて、隣接するOADMノード（以下、単に「ノード」ともいう）100間の信号光レベルの損失を補償して伝送距離の長距離化が図られている。

20

【0004】

さらに、このように任意のノード100で信号光をアド/ドロップするシステムでは、システム中（伝送路110）を伝送する信号波長数（以下、伝送波長数ともいう）が動的に変化するため、この波長数変動に対して、各波長（チャンネル）の出力光パワーを一定に保持（波長に対する利得平坦性を維持）するために、通常、上記光増幅部102には、

30

利得一定制御（AGC）機能を有するAGCアンプ120が適用される。

【0005】

ここで、AGCアンプ120は、例えば図8に示すように、EDFA121、EDFA121の入出力光の一部をそれぞれ分岐する光カプラ等の光分岐部122、123、光カプラ122、123によって分岐した光のパワー〔つまり、EDFA121の入出力光パワー〕をモニタするPD124、125、およびPD124、125でモニタしたパワー比が一定となるようにEDFA121への励起光パワーを制御する利得一定制御部126をそなえて構成される。尚、EDFA121は、図示しない増幅媒体としてのEDF、励起光源および励起光源からの励起光をEDFの前段又は後段から供給するための合波部をそなえている。

40

【0006】

さて、上述の図7に示すシステムにおいて、例えば図9（A）に示すように、あるノード100（100A）から多数（例えば、39波長）の光信号がアドされ、次のノード100（100B）から別の1波の光信号がアドされる状況を考える。このような状況で例えば図9（B）に示すごとくノード100A、100B間に、光伝送パスのダイナミックな再構築や人為的ミス、ファイバ切断、コネクタ抜けなどの障害が発生した場合、ノード100Bでアドされた信号光のみが残留する（つまり、伝送波長数が急激に変化する）ことになる。この時、例えば図10（A）に示すごとく、ノード100（100C）配下の信号受信端における残留光信号のパワーレベルが変化する現象が発生する。

【0007】

50

なお、上記「信号受信端」とは、例えば図16に示すように、ノード100(図8(A))では100C)で分岐したドロップ光を受光して電気信号に変換する光/電気変換(O/E)機能を具備する光受信器131を意味し、以下の説明においても同様である。また、「信号送信端」とは、送信信号(電気信号)を光信号に変換する電気/光変換機能(E/O)を具備する光送信器132を意味する。尚、光送信器132からの光信号はノード100(図9(A))では100A, 100B)においてアド光としてWDM信号光に挿入される。

【0008】

さて、上記信号光パワー変化には、例えば図10(B)に示すように、主に3つの要因、即ち、(1)スペクトラルホールバーニング(SHB), (2)利得(波長)偏差及び(3)誘導ラマン散乱(SRS: Stimulated Raman Scattering)効果によるものがある。以下それぞれについて説明する。

10

(1) SHB

1つ目の要因であるSHBは、EDFA121のごとき光増幅器において光増幅を行なう際に生じる物理現象で、短波長側の光信号パワーが低下するという特徴がある。即ち、例えば図11に示すごとく、EDFA121においてCバンド(1530~1565nm)の1波(例えば、1538nm)の光信号を増幅すると、その信号波長近辺のEDFA利得が低下する(これをメインホールと呼ぶ)とともに、1530nm付近のEDFA利得も低下する(これをセカンドホールと呼ぶ)という現象が生じる。

【0009】

20

そして、Cバンド内ではメインホールは短波長側ほど深く(利得低下量が大きく)、また、光信号入力パワー高いほどメインホール及びセカンドホールともに深くなるという特徴をもつ。かかるSHBは、多波長の信号光が入力されている状態では平均化されるためその影響は小さいが、入力波長数が少なくなるほどその影響が大きくなる。

そのため、例えば図10(B)中の(1)欄及び図12(A)に示すように、上述のごとくノード100A, 100B間で障害が発生したために、ノード100Aから挿入されている波長の信号光が欠落し、ノード100Bで挿入される波長の信号光のみが残留した場合(図10(A)の時点 t_0 参照)、ノード100B中の後置光増幅部102bをなすEDFA121の利得が、短波長側の残留信号光ほど低下し(-P)、これに伴って出力光パワーも低下するという現象が発生する。

30

【0010】

図10(B)中の(1)欄に示す例においては、(ノード100Bで挿入されている)短波長側の一波 a および長波長帯Lが残存する一方、 a よりも長波長に配置される(ノード100Aで挿入されている)中間波長帯Mが欠落することとなると、長波長側の波長帯Lにおける出力光パワーに比べて短波長側の残存波長 a の信号光の出力光パワーが P だけ落ち込むことを示している。

【0011】

このように光増幅部102で増幅される波長帯に変動が生じた場合の変動後の残存信号光が受けるSHBの影響は、残存信号光の波長数およびその配置によって変動することが知られている。即ち、信号波長数及び配置に応じて、SHBによる光増幅部102での利得の変動量が変化する。なお、SHBの詳細については、後記の非特許文献1~3に記載がある。

40

【0012】

(2) 利得偏差

2つ目の要因である利得(波長)偏差はAGCアンプ120として構成される光増幅部102(102a, 102b)で生じる現象である。即ち、光増幅部102は、上述したように信号光の平均利得を一定に保つ制御(AGC)を行なっており、偏差の生じている波長が残留すると、その信号光の利得を目標利得に合わせるよう動作するため、例えば図10(B)中の(2)欄に示すように、残留光信号についての光増幅部102からの出力光パワーに変化(この場合は+P)が生じるのである。つまり、この場合には、信号波

50

長数及び配置に応じて光増幅部 102 での動作点に変化し、利得スペクトルが変化するのである。

【0013】

ノード 100A, 100B 間での障害が発生する前において、本来波長ごとの信号光では均一なレベルの信号光が入力されている場合であっても、ノード 100B における AGC アンプ 120 としての後置光増幅部 102b においては、EDFA 121 (図 8 参照) が有する利得波長特性によって、(2) 欄中左側のようなパワー分布の WDM 信号光が EDFA 121 から出力されるようになっている。図 10 (B) 中の (2) 欄に示す例においては、EDFA 121 で増幅された WDM 信号光の波長成分のうちで障害発生前において AGC 制御の目標となる出力パワーよりも小さい出力パワーを有する波長 b が障害発生時に残存する場合を示している。

10

【0014】

すなわち、AGC 制御が行われている際に、ノード 100A, 100B 間で生じた障害により、b 以外の (ノード 100A で挿入されている) 全波長帯 B が欠落する一方、(ノード 100B で挿入されている) 中間波長の一波 b が残存することとなると、ノード 100B の後置増幅部 102b では、利得一定制御部 126 において目標利得 (動作点) が引き上げられて、当該残存する波長帯 b の信号光の増幅後の光パワーを、AGC 制御の目標となる光パワーを得ている。従って、当該波長 b の信号光についてみれば、波長配置が変動する前に比べて P だけ増大することになる。

【0015】

20

(3) SRS 効果

3 つ目の要因である SRS 効果は、伝送路 110 (図 7 参照) で生じる現象である。この SRS 効果を利用した光増幅器がラマン増幅器である。一般的なシングルモードファイバの SRS は例えば図 13 に示すごとく、励起光波長から約 13 THz 低周波側 (励起光波長が 1400 nm 付近にある場合は約 100 nm 長波長側) に利得ピークを有するという特徴があるため、励起光波長を選ぶことで任意波長帯域の光信号増幅が可能になる。ただし、この図 13 に示されるように、ピンポイント波長での増幅が可能なのではなく、その増幅 (利得) 特性には波長に対して或る程度の広がりがあるため、励起光波長付近でも増幅現象が発生する。

【0016】

30

つまり、WDM 光信号が伝送路 110 を伝送される場合には、短波長側の信号光パワーが励起光パワーとなり、長波長側の信号光を増幅する。結果として図 14 に示すごとく長波長側ほど信号光パワーが大きくなるという現象が発生するのである。このため、上述のごとくノード 100A, 100B 間で障害が発生したために 1 波長の信号光のみが残留した場合、図 10 中の (3) 欄及び図 12 (B) に示すように、長波長側の残留信号光ほど短波長側からパワーを奪うことができなくなりパワー (利得) 低下 (-P) が生じる。つまり、信号波長数及び配置に応じて SRS の効果が変化するのである。

【0017】

このように、伝送路 110 を伝送される WDM 信号光の波長数が大きく変動すると、上述したような SHB, 利得偏差及び SRS の影響を受けて、残留信号光 (残留チャンネル) の出力光パワーが変化する。OADM 部 101 内においては、フィードバック制御により各波長の信号光のレベルを調整する機能をそなえることができ、このようなフィードバック制御によって上述の信号光波長数および配置の変動による出力光パワーの変化に対応することができる。

40

【0018】

しかしながら、このような各波長対応のフィードバック制御は、通常は図 10 (A) に例示するように、波長数が増動してから (時点 t0)、定常的に機能するまでに (時間 t2 参照) 相当の時間を要する。従って、図 10 (A) における時間 t1 に示すような、波長数が増動した後の過渡的な出力光パワーの変動については抑制させることは事実上困難である。

50

【 0 0 1 9 】

そして、このような出力光レベルの過渡的な変動は、各ノード 1 0 0、各伝送路 1 1 0 あたりの変化量はそれほど大きくなくても、同様の A G C を行なう光増幅器 1 0 2 を多段に設けたシステムでは、一箇所の光増幅部 1 0 2 で生じるパワー変動の特性が累積する。例えば図 1 5 に示すように、各光増幅部 1 0 2 及び伝送路 1 1 0 で生じるチャンネルあたりの負側の出力光パワー変化 (- P) が、スパン数の増大、即ち通過する光増幅器の段数の増大によって累積されていく。この図 1 5 の例においては、負側の出力パワー変動が即ちスパン数の増大によって大きくなることを示している。

【 0 0 2 0 】

伝送距離が短く、光増幅器の段数が少ない従来の光伝送システムではこの変動は微小であり問題とならなかったが、今後、システムの長距離化に伴う光増幅器段数の増加が進むと、この図 1 5 に示すように、信号受信端での光信号パワーが受信許容範囲を超えてしまい、伝送エラーが生じる可能性がある。換言すれば、それぞれ O A D M 機能を有する複数のノード 1 0 0 で中継伝送される波長多重光伝送システムにおいて、1 箇所の伝送路区間での障害の発生により他の伝送路区間の通信に影響を及ぼす場合があるのである。

【 0 0 2 1 】

その他、本願発明に関連する技術として、下記の特許文献 1 ~ 4 に記載された技術もある。

特許文献 1 および 2 には、光増幅器に入力される信号光から一部をモニタ光として分岐した光を波長分波器 (D E M U X) に入力して波長毎に分波することにより、伝送波長数をカウントするものである。具体的に、特許文献 1 の技術では、光増幅器の入力光を波長毎にモニタし、そのモニタ値と波長数の変化に応じて光増幅器の出力に設けられた可変光減衰器の減衰量を調整して出力光パワーを一括制御することが行なわれる。これに対し、特許文献 2 の技術は、E D F 等の光増幅用ファイバを多段接続した光増幅器において、前段の光増幅用ファイバへの入力光から検知した信号光パワー及び波長数と、後段の光増幅用ファイバの出力光から検知した信号光パワーとに基づいて各光増幅用ファイバへの励起光パワー及び各光増幅用ファイバの段間に設けられた可変光減衰器の減衰量を調整することで、光増幅器全体の利得及び利得スペクトルを制御するものである。

【 0 0 2 2 】

また、上述した光増幅器出力の変化 (信号光の波長特性の偏差) を補償 (平坦化) するための技術としては、ダイナミック利得等化器 (D G E Q) や、下記特許文献 3 , 4 により提案されている技術もある。特許文献 3 の技術は、光サーキュレータと光反射器と可変光アッテネータと W D M カプラとを有し、W D M カプラにより分波された複数の信号光 (波長) 毎に利得等化を行なうものである。また、特許文献 4 の技術は、長周期構造の複数のグレーティングと、これらのグレーティング毎に減衰率を調整する調整部 (ピエゾ変換器及びピエゾ制御回路) とを有する可変利得平坦化器に関するものである。

【特許文献 1】特開 2 0 0 1 - 1 6 8 8 4 1 号公報

【特許文献 2】特開 2 0 0 3 - 2 5 8 3 4 8 号公報

【特許文献 3】特開平 1 0 - 1 7 3 5 9 7 号公報

【特許文献 4】特開平 1 1 - 3 3 7 7 5 0 号公報

【非特許文献 1】Masato NISHIHARA, et.al., "Characterization and new numerical model of spectral hole burning in broadband erbium-doped fiber amplifier", 2003 Optical Society of America.

【非特許文献 2】Masato NISHIHARA, et.al., "Impact of spectral hole burning in multi-channel amplification of EDFA", 2004 Optical Society of America.

【非特許文献 3】Maxim Bolshtyansky, "Spectral Hole Burning in Erbium-Doped Fiber Amplifiers", JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, VOL.21, NO.4, APLIL 2003.

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 2 3 】

10

20

30

40

50

しかしながら、上述のOADM部101内のレベル調整機能や、特許文献3に記載された技術においては、受信WDM信号光を波長毎に分波し、波長毎の可変光減衰器によって波長毎に光パワーの調整を行なうため、装置規模が増大しコストも高くなる。特に、高速応答特性を得るために、高速動作するVOAを用いようとする、当該VOAは高価なため、波長数分だけ用意すると、さらにコストが増大してしまう。まして、コスト面での制約から比較的安価な低速動作のVOAでは、上述の過渡的な出力光パワーの変動を抑制することができない。

【0024】

さらに、上述したダイナミック利得等化器は、応答速度が約30msと比較的低速であり、コストも数100万円と高く、また、挿入損失も大きい(~5dB程度)等の課題があるため、システムへの導入は現実的でない。また、上記特許文献4の技術では、 piezo 制御回路により piezo 変換器を制御してグレーティングに加える圧力を変化させることによって、複数のグレーティングの特性を個別に変化させてグレーティングを透過する光の減衰率を可変可能であるが、グレーティングに対する圧力変化という物理的な制御を行なうため、やはり応答速度が低速である。

10

【0025】

特許文献1, 2に記載された技術においても、上述のごとき波長数変動に起因したEDFA121の利得波長特性の過渡的な変動、ひいては出力光レベルの過渡的な変動を抑制するものではない。

本発明は、以上のような課題に鑑み創案されたもので、信号光レベルの変動、特に波長多重信号光の波長数変動に起因した光増幅器の出力光パワーの変動を高速に抑圧することを目的とする。

20

【課題を解決するための手段】

【0026】

(1)このため、本件の利得制御装置は、入力される波長多重信号光を増幅する光増幅器の利得を制御する装置であって、前記波長多重信号光の波長数が設定された閾値以下のときの、前記光増幅器の出力光パワー変動の特性を予め取得し、取得した前記出力光パワー変動の特性に基づいて、波長数の変化による前記出力光パワーの変動量が前記特性を補償する変動量に抑制されるように、前記波長多重信号光の波長数が少ないほど波長多重信号光の利得が増加した値、または前記波長多重信号光の波長数が少ないほど波長多重信号光の利得が減少した値、のいずれかを前記光増幅器の目標利得として算出する目標利得算出部と、該目標利得算出部で算出された前記目標利得で前記波長多重信号光を増幅すべく、前記光増幅器に対し制御信号を出力する制御信号出力部と、をそなえたことを特徴としている。

30

【0027】

本発明では、波長多重信号光の波長数が少ないほどに信号光の利得が増加もしくは減少される光増幅器を特徴とする。信号波長数の変化後の信号波長数が少ないほど、トータルパワーの変化が大きいため補償すべき信号波長数変化時の出力光パワーの変動量が大きくなる傾向があるためである。

波長数最大時に比べて波長数1での利得増減量は、上述の過渡的な出力光パワーの変動の主要因であるSHB, 利得偏差、SRSSによって定めれば良い。これにより、例えば、各ノード毎に配置された光増幅器に本発明を適用すれば、出力光パワーの変動を各ノードごとに補償できる。なお、波長数に対する信号光利得の増加もしくは減少の変化量は、波長数だけでなく、信号波長帯域、伝送路の種類、システム条件などによって異なる。なぜなら、このようなシステム条件によって補償すべき出力光パワーの変動量が異なるからである。従って、この波長数に対する信号光利得の増加もしくは減少の変化量を小さくしすぎると、出力光パワー変動量の補償が足りなくなる。一方で大きくしすぎると、信号波長数の変化の波長条件によっては、受信機の入力上限超過などを引き起こし伝送特性を劣化させる。そこで、光増幅部として適用される光伝送装置の構成や、適用される波長多重光伝送システムの特性などから、少数波長時の出力光パワー変動の特性について、あらかじ

40

50

め把握しておき、それを補償するのに必要最小の値が好ましい。例えば、ノード間で生じる出力変動が、およそ < 1 dB (1 dB よりも小) ならば、本発明を適用する光増幅器の利得増減の最大量もおよそ < 1 dB (1 dB よりも小) とするのが好ましい。

【0028】

波長数に対する信号光利得の増加もしくは減少の変化率は、信号波長数が少なくなるに従って急峻に連続的に変化することが好ましい(図2(A), 図2(B))。理由は、信号波長数が多い場合で利得増加すると、光増幅器の所要励起光パワー増加などの問題があり、信号波長数が多い場合での利得増加を極力抑える必要がある。また、信号波長数が少なくなるにつれ、信号波長数変化時の出力光パワーの変動量も連続的に大きくなる。そこで、図2(A), 図2(B)に示すように、波長数が少ない領域における利得増減量は、信号波長数に応じて連続的に変化させる。

10

【0029】

図2(C), 図2(D)に示す信号光利得について増加(A1)ないし減少(A2)の態様においては、信号波長数最大 n_{max} のときの利得値 G_1 から線形的、もしくは飽和傾向にあるので、図2(A), 図2(B)に比べて、信号波長数が多い場合の利得が大きくなる。所要励起光パワー増加の問題があるため好ましくない。

従来例として、特願平11-256438(特開2001-086071号公報)がある。 n (波長数) $< n_{max}$ (波長数最大)のとき、 P_t (トータル出力パワー) $> P_{max}$ (最大トータル出力パワー) $\times n / n_{max}$ と制御することでチャンネル増減の影響による既存チャンネルの利得不足を低減することを特徴とした光増幅器である。上式 $P_t > P_{max} \times n / n_{max}$ から、不等号記号により n_{max} (波長数最大)のときよりも、波長数 n では P_t を大きい値にするが、その P_t の値に信号波長数依存性はない。例えば波長数が $n, n-1, n-2 \dots 1$ の場合に、上式 $P_t > P_{max} \times n / n_{max}$ から、ひとつの信号光あたりの P_t はほぼ一定量となる。従って、特願平11-256438は本発明とは異なるものであり、本発明のような所要励起光パワー低減を実現しつつ、チャンネル数変動時の利得増減量を精度よく低減させる効果は得られない。

20

【0030】

(2)また、本件の他の利得制御装置は、入力される波長多重信号光を増幅する光増幅器の利得を制御する装置であって、前記波長多重信号光の波長数が、設定された閾値よりも大きい場合には、実質的に一定の利得値を前記光増幅器の目標利得として算出する一方、前記波長多重信号光の波長数が前記閾値以下の場合には、前記波長多重信号光の波長数が前記閾値以下のときの、前記光増幅器の出力光パワー変動の特性を予め取得し、取得した前記出力光パワー変動の特性に基づいて、波長数の変化による前記出力光パワーの変動量が前記特性を補償する変動量に抑制されるように、当該波長数に応じて波長多重信号光の利得値を増大させた値、または当該波長数に応じて波長多重信号光の利得値を減少させた値、のいずれかを前記光増幅器の目標利得として算出する目標利得算出部と、該目標利得算出部で算出された前記目標利得で前記波長多重信号光を増幅すべく、前記光増幅器に対し制御信号を出力する制御信号出力部と、をそなえたことを特徴としている。

30

(3)さらに、該目標利得算出部を、前記光増幅器で増幅される波長多重信号光の波長数情報を取得する波長数情報取得部と、該波長数情報取得部で取得した波長数情報に基づいて、前記光増幅器での増幅における前記目標利得を算出する算出部と、をそなえることとしてもよい。

40

【0031】

(4)また、本件の光伝送装置は、波長多重光伝送システムにおける伝送すべき波長多重信号光をなす波長ごとの信号光についてパワー調整を行なう信号光処理部と、該信号光処理部の前段および/または後段にそなえられ、入力される波長多重信号光を励起光により増幅する光増幅器と、該光増幅器の利得を制御する利得制御部と、をそなえ、該利得制御部が、前記波長多重信号光の波長数が設定された閾値以下のときの、前記光増幅器の出力光パワー変動の特性を予め取得し、取得した前記出力光パワー変動の特性に基づいて、波長数の変化による前記出力光パワーの変動量が前記特性を補償する変動量に抑制される

50

ように、前記波長多重信号光の波長数が少ないほど波長多重信号光の利得が増加した値、または前記波長多重信号光の波長数が少ないほど波長多重信号光の利得が減少した値、のいずれかを該光増幅器の目標利得として算出する目標利得算出部と、該目標利得算出部で算出された前記目標利得で前記波長多重信号光を増幅すべく、該光増幅器に対し制御信号を出力する制御信号出力部と、をそなえたことを特徴としている。

(5) なお、前記目標利得算出部は、前記波長多重光伝送システムに光学的に接続されている光受信器のSN耐力または入力下限耐力が予め設定された第1閾値よりも低い場合は、前記波長数が少ないほど波長多重信号光の利得が増加した値になるように算出し、前記光受信器の入力上限耐力が予め設定された第2閾値よりも低い場合は、前記波長数が少ないほど波長多重信号光の利得が減少した値になるように算出することとしてもよい。

(6) さらに、本件の他の光伝送装置は、波長多重光伝送システムにおける伝送すべき波長多重信号光をなす波長ごとの信号光についてパワー調整を行なう信号光処理部と、該信号光処理部の前段および/または後段にそなえられ、入力される波長多重信号光を励起光により増幅する光増幅器と、該光増幅器の利得を制御する利得制御部と、をそなえ、該利得制御部が、前記波長多重信号光の波長数が予め設定された閾値よりも大きい場合には、実質的に一定の利得値を該光増幅器の目標利得として算出する一方、前記波長多重信号光の波長数が前記閾値以下の場合には、前記波長多重信号光の波長数が前記閾値以下のときの、前記光増幅器の出力光パワー変動の特性を予め取得し、取得した前記出力光パワー変動の特性に基づいて、波長数の変化による前記出力光パワーの変動量が前記特性を補償する変動量に抑制されるように、当該波長数に応じて波長多重信号光の利得値を増大させた値、または当該波長数に応じて波長多重信号光の利得値を減少させた値、のいずれかを該光増幅器の目標利得として算出する目標利得算出部と、該目標利得算出部で算出された前記目標利得で前記波長多重信号光を増幅すべく、該光増幅器に対し制御信号を出力する制御信号出力部と、をそなえたことを特徴としている。

【0032】

(7) また、本件の光増幅器の利得制御方法は、入力される波長多重信号光を励起光により増幅する光増幅器の増幅利得を制御する制御方法であって、前記波長多重信号光の波長数が設定された閾値以下のときの、前記光増幅器の出力光パワー変動の特性を予め取得し、取得した前記出力光パワー変動の特性に基づいて、波長数の変化による前記出力光パワーの変動量が前記特性を補償する変動量に抑制されるように、前記波長多重信号光の波長数が少ないほど波長多重信号光の利得が増加した値、または前記波長多重信号光の波長数が少ないほど波長多重信号光の利得が減少した値、のいずれかを前記光増幅器の目標利得として算出し、前記算出された目標利得で前記波長多重信号光を増幅すべく、前記光増幅器に対し制御信号を出力することを特徴としている。

(8) さらに、本件の他の光増幅器の利得制御方法は、入力される波長多重信号光を励起光により増幅する光増幅器の増幅利得を制御する制御方法であって、前記波長多重信号光の波長数が予め設定された閾値よりも大きい場合には、実質的に一定の利得値を前記光増幅器の目標利得として算出する一方、前記波長多重信号光の波長数が前記閾値以下の場合には、前記波長多重信号光の波長数が前記閾値以下のときの、前記光増幅器の出力光パワー変動の特性を予め取得し、取得した前記出力光パワー変動の特性に基づいて、波長数の変化による前記出力光パワーの変動量が前記特性を補償する変動量に抑制されるように、当該波長数に応じて波長多重信号光の利得値を増大させた値、または当該波長数に応じて波長多重信号光の利得値を減少させた値、のいずれかを前記光増幅器の目標利得として算出し、前記算出された目標利得で前記波長多重信号光を増幅すべく、前記光増幅器に対し制御信号を出力することを特徴としている。

【発明の効果】

【0033】

このように、本発明によれば、目標利得算出部により、信号光レベルの変動、特に波長多重信号光の波長数変動に起因した光増幅器の出力光パワーの変動を高速に抑圧することができるので、光増幅器の更なる多段化を可能として、伝送距離の長距離化を図ることが

できる利点がある。

【発明を実施するための最良の形態】

【0034】

以下、図面を参照することにより、本発明の実施の形態について説明する。

なお、本発明は、以下の実施の形態に限定されるものではない。又、上述の本願発明の目的のほか、他の技術的課題、その技術的課題を解決する手段及び作用効果についても、以下の実施の形態による開示によって明らかとなる。

〔A〕本発明の一実施形態の説明

図1は本発明の一実施形態としての波長多重光伝送システムに適用される光伝送装置を示す図である。本実施形態における光伝送装置1は、前述の図7に示すOADMノード100に代えて、光伝送路110を介してリング状に接続されて波長多重光伝送システムを構成することができる。そして、本実施形態の光伝送装置1は、前述の図7に示す光伝送装置100に比して、前置および後置の光増幅部10a、10bの構成が図7の場合(図8参照)とは異なっている。

10

【0035】

すなわち、本実施形態にかかる光伝送装置1は、前述の図7(図8)に示すもの(符号102a、102b、120参照)とは異なる構成の前置および後置の光増幅部10a、10bをそなえるとともに、前述の図7に示すもの(符号101参照)と基本的に同様のOADM部20をそなえている。

ここで、プリアンプとしての前置光増幅部(光増幅装置)10aは、光伝送路110を介して入力された、上流側に接続された光伝送装置1(図1中では図示省略)からの波長多重信号光について増幅してOADM部20に出力する。OADM部20では、前置光増幅部10aからの波長多重信号光について分岐挿入処理を行なって下流側の光伝送路110に送出すべき波長多重信号光を後置増幅部10bに出力する。更に、ポストアンプとしての後置増幅部(光増幅装置)10bは、OADM部20にて分岐挿入処理が行なわれた波長多重信号光について増幅してから下流側の光伝送路110に出力する。

20

【0036】

したがって、上述のOADM部20は、波長多重光伝送システムにおける伝送すべき波長多重信号光をなす波長ごとの信号光について処理を行なう信号光処理部である。そして、このOADM部20においては、前述の図7に示すもの(符号101参照)と同様に、分岐挿入処理を行なう機能に加え、チャンネル単位でのレベル調整機能を兼ね備えている。

30

【0037】

また、上述の前置光増幅部10aおよび後置光増幅部10bは、ともに同様の構成を有しており、前述の図9(B)に示すような障害発生による信号光波長数の変動に伴って出力光パワーが変動することを抑制できるようになっている。ここで、これらの前置光増幅部10aおよび後置光増幅部10bは、光入力される波長多重信号光を励起光により増幅する光増幅器としてのEDFA11をそなえるとともに、EDFA11の利得を制御する利得制御部(利得制御装置)19をそなえている。尚、以下においては前置光増幅部10aおよび後置光増幅部10bについて、それぞれを区別しない場合には、単に光増幅部10と称する。

40

【0038】

また、利得制御部19は、光カプラ12、13、フォトダイオード14、15、波長数情報取得部16、算出部17および制御信号出力部18をそなえている。EDFA11は、上述したように、入力される波長多重信号光について励起光により増幅するものであり、図示しない増幅媒体としてのEDF、励起光源および励起光源からの励起光をEDFの信号光伝送方向の上流側(前段)又は下流側(後段)から供給するための光合波部をそなえている。又、光カプラ12、13はそれぞれ、図8に示す光カプラ122、123に相当するもので、光増幅部10に入力、出力される波長多重信号光の一部を分岐するものである。

50

【 0 0 3 9 】

さらに、フォトダイオード 1 4 は、光カプラ 1 2 を通じて入力された波長多重信号光の光パワーに応じた電気信号を出力するもので、このフォトダイオード 1 4 により、E D F A 1 1 に入力される (E D F A 1 1 での増幅前の) 波長多重信号光の光パワーをモニタすることができる。同様に、フォトダイオード 1 5 は、光カプラ 1 3 を通じて入力された波長多重信号光の光パワーに応じた電気信号を出力するもので、このフォトダイオード 1 5 により、E D F A 1 1 から出力される (E D F A 1 1 での増幅後の) 波長多重信号光の光パワーをモニタすることができる。

【 0 0 4 0 】

また、波長数情報取得部 1 6 は、E D F A 1 1 で増幅される波長多重信号光の波長数情報を取得するものである。具体的には、E D F A 1 1 に入力される波長多重信号光の分岐光について波長多重されるチャンネルに相当する波長間隔で分波して、それぞれの分波光についてモニタすることにより、波長数をカウントするようになっている。この波長数情報取得部 1 6 での波長数取得のための構成については、前述の特許文献 1 等においても記載されている。

10

【 0 0 4 1 】

なお、波長数情報取得部 1 6 においては、E D F A 1 1 に入力される波長多重信号光の分岐光から波長数情報を取得しているが、E D F A 1 1 から出力される波長多重信号光からも同様に取得することができる。更には、O A D M 部 2 0 にそなえられるチャンネルごとの信号光のモニタ機能から取得するようにしてもよい。この場合においては、前置光増幅部 1 0 a における波長数情報取得部 1 6 においては、O A D M 部 2 0 に入力される (分岐挿入処理の前段の) 波長多重信号光におけるチャンネルごとの信号光についてのモニタ結果を取り込んで波長数情報を取得することができる。又、後置光増幅部 1 0 b における波長数情報取得部 1 6 においては、O A D M 部 2 0 から出力される (分岐挿入処理後の) 波長多重信号光におけるチャンネルごとの信号光のモニタ結果を取り込んで波長数情報を取得することができる。

20

【 0 0 4 2 】

上記に幾つか例を挙げたが、波長数情報の入手するための手段は本発明では限定しない。

また、算出部 1 7 は、E D F A 1 1 に入力される波長多重信号光の光パワーのモニタ結果をフォトダイオード 1 4 から取り込むとともに、波長数情報取得部 1 6 で取得した波長数情報に基づいて、E D F A 1 1 で増幅される波長数に応じた目標利得を計算するようになっている。具体的には、図 2 (A) に示すように、波長多重信号光の波長数に応じて、波長数最大で一定の利得値 G 1 から、当該波長数に応じて指数関数的に連続的に信号光の利得が変化するように、利得値を増大 (図 2 (A) 中の点線 A 1 参照) 又は減少 (図 2 (A) 中の実線 A 2 参照) した値を E D F A 1 1 の目標利得として算出するようになっている。

30

【 0 0 4 3 】

また、図 2 (B) に示すように、波長多重信号光の波長数が予め設定された閾値 S よりも大きい又は閾値 S 以上の場合には、実質的に一定の利得値 G 1 を E D F A 1 1 の目標利得として算出する一方、波長多重信号光の波長数が閾値 S 以下又は閾値 S よりも小さい場合には、当該波長数に応じて利得値を増大 (図 2 (B) 中の点線 A 1 参照) 又は減少 (図 2 (B) 中の実線 A 2 参照) した値を E D F A 1 1 の目標利得として算出するようになっている。

40

【 0 0 4 4 】

したがって、上述の波長数情報取得部 1 6 と算出部 1 7 とにより、目標利得算出部を構成する。

なお、上述の閾値 S としては、波長多重光伝送システムにおける波長多重信号光として伝送可能な全波長数における 2 5 パーセント程度以下の数に設定することができる。

制御信号出力部 1 8 は、算出部 1 7 で算出された目標利得となるように E D F A 1 1 に

50

対して制御信号を出力するものである。尚、本実施形態における制御信号出力部 18 のように、EDFA 11 を自動利得一定制御（AGC 制御）することもでき、この場合においては、自動利得一定制御の目標となる利得を算出部 17 から受け取るようになっている。

【0045】

制御信号出力部 18 は、上述の AGC 制御のため、EDFA 11 に入力される波長多重信号光の光パワーのモニタ結果をフォトダイオード 14 から、EDFA 11 から出力された波長多重信号光の光パワーのモニタ結果をフォトダイオード 15 から、それぞれ入力されて、EDFA 11 での波長多重信号光についての増幅利得である EDFA 11 での入出力パワー比を、算出部 17 で算出された値とするように、EDFA 11 における図示しない励起光源を駆動すべく制御信号を出力するようになっている。

10

【0046】

上述した算出部 17 で算出された目標利得で AGC 制御を行なっているので、波長多重光伝送システムにおける多重可能な全チャンネル数に対して 25 パーセント程度以下のチャンネルからなる波長多重信号光が伝送されている場合（比較的少数波長時）には、当該 25 パーセント程度よりも多数のチャンネルからなる波長多重信号光が伝送されている場合（比較的多波長時）と比べて、EDFA 11 から出力される信号光の出力光パワーを大きくしたり（図 3（C）の上段参照）、EDFA 11 から出力される信号光の出力パワーを小さくしたり（図 3（C）の下段参照）することができる。

【0047】

従来においては、EDFA の利得を AGC 制御する際には、図 3（A）の「従来」欄に示すように、波長多重信号光の波長数にかかわらず（上述のごとき比較的少数波長時や比較的多波長時であっても）、EDFA 11 に与えられる利得は一定となるようにしている。したがって、前述の SHB や利得偏差や SRS についての影響を考慮にいれなければ、図 3（B）に示すように、出力パワーについても一定となるような利得に設定されていることになる。特開 2000 - 232433 号公報においても、同様の態様で EDFA を制御することが記載されている。

20

【0048】

しかしながら、前述したように、波長多重光通信システムにおけるスパン数の増大や伝送距離の増大に対する要求が近年強まっているので、この要求に対応する光増幅装置構成を提供するには、SHB、利得偏差および SRS についての影響を考慮したものとする必要が生じている。そこで、本実施形態においては、上述の比較的多波長時においては、実質的に一定の利得値 G1 を EDFA 11 の目標利得として算出する一方、比較的少数波長時においては、当該波長数に応じて信号光の利得値（出力）を増大（図 2（A）、図 2（B）中の点線 A1 参照）又は減少（図 2（A）、図 2（B）中の実線 A2 参照）した値を EDFA 11 の目標利得として算出するようになっている。

30

【0049】

なお、少数波長時における SHB、利得偏差および SRS のそれぞれが、光伝送装置 1 をなす EDFA 11 の出力光パワー変動に与える影響の大きさは、当該波長多重伝送システムにおける特性や実際の光伝送装置の構成等によっても変動する。従って、光増幅部 10 として適用される光伝送装置 1 の構成や、適用される波長多重光伝送システムの特性などから、少数波長時の出力光パワー変動の特性についてあらかじめ把握しておく。

40

【0050】

さらに、例えば、システムで用いている受信機の特性和して、SN 耐力 / 入力下限耐力が乏しい場合には、信号光の利得（出力）を増加させる方向に制御するのが好ましい。一方、入力上限耐力が乏しい場合には、信号光の利得（出力）を減少させる方向に制御するのが好ましい。

これにより、当該把握した少数波長時の出力光パワー変動の特性に応じて、算出部 17 を、図 3（C）の上段に示すように、当該波長数に応じて目標利得値が増大する値を算出結果として得られるように構成したり、図 3（C）の下段に示すように、当該波長数に応じて目標利得値が減少する値を算出結果として得られるように構成したりすることができ

50

る。

【0051】

上述のごとく構成された波長多重光伝送システムにおける光伝送装置1では、上流側の光伝送路110を通じて入力された波長多重信号光について増幅し、OADM部20において前置増幅部10aから入力される波長多重信号光についてチャンネルごとに信号光の挿抜が行われて、後置増幅部10bにおいて増幅された後に下流側の光伝送路110に伝送される。

【0052】

このとき、光伝送装置1をなす前置増幅部10aおよび後置増幅部10bにおいては、入力される波長多重信号光の波長数によって生じる（特に比較的少数波長数である場合に顕著な）出力光パワーの変動を、以下のような、算出部17で算出する目標利得に従った利得制御を通じて抑制させている。

すなわち、光増幅部10の利得制御部19をなす波長数情報取得部16で、EDFA11で増幅される波長多重信号光の波長数情報を取得するとともに、算出部17で、EDFA11に入力される波長多重信号光のパワーをモニタした結果をフォトダイオード14から取り込む（図4のステップA1）。

【0053】

図2(B)を例に説明すると、算出部17では、波長数情報取得部16で取得した波長数情報に基づいて、EDFA11での増幅における目標利得（又は目標利得に相当する目標出力パワー）を算出する（ステップA2）。このとき、算出部17では、波長数情報取得部16で情報として取得した波長数が、前述の図2(B)に示す閾値Sよりも大きい又はS以上の波長数である場合には、実質的に一定の利得値G1を目標利得として算出する。前述の図2(B)に示す閾値S以下又はSよりも小さい波長数である場合には、波長数がより少なくなるほどにEDFA11の信号光の利得（出力）をそれぞれ増大または減少させるような値を目標利得として算出する。

【0054】

そして、算出部17では上述のごとく算出された目標利得の値について制御信号出力部18へ伝達し（ステップA3）、制御信号出力部18では、算出部17で算出された目標利得でEDFA11が動作するように、EDFA11に対し制御信号を出力する。波長数変動している場合には、波長数に応じた目標利得となるようにEDFA11の利得を変更させるべくEDFA11に制御信号を出力する（ステップA4）。本実施形態の制御信号出力部18ではAGC制御を行なうようになっているので、算出部17で算出された目標利得については、AGC制御の目標となる。

【0055】

たとえば、前述の図9(B)に示すように、自身の光伝送装置1（図9(B)に示す符号100B）の上流側箇所において（上流側の光伝送路110や上流側の光伝送装置1（図9(B)に示す符号100A））において障害が生じた場合には、上流側の光伝送装置1から伝送されてきた波長多重信号光が欠落するため、自身の光伝送装置1に入力される波長多重信号光の波長数変動することになる。

【0056】

具体的には、図5に示すように、自身の光伝送装置1において、上流側の光伝送装置から波長1～n-1の波長多重信号光に波長nの信号光を挿入している動作状態において（図5の上段参照）、上述したような自身の光伝送装置1の上流側箇所では障害が発生すると、この上流側光伝送装置からの波長1～n-1の波長多重信号光が入力断の状態となる（図5の下段参照）。

【0057】

本実施形態にかかる光増幅部10においては、このような波長数に変動が生じた場合においても、変動後の波長数を波長数情報取得部16で取得すると、取得した波長数に応じてEDFA11の利得が迅速に制御されるようになっているので、このような波長数変動に伴って、従来生じていた信号光の出力光パワー変動を迅速に抑制することができるよう

10

20

30

40

50

になる。

【 0 0 5 8 】

前述したように、OADM部20でのチャンネル単位でのレベル調整機能によっても、波長数変動時の出力レベル変動に追従することができるが(図10(A)のt2)、このレベル調整機能単独では、追従が実質的に困難な過渡時間が存在する(図10(A)のt1)。本実施形態の光伝送装置1においては、OADM部20でのレベル調整機能とともに、光増幅部10における利得制御も行なっているので、これらが協働してパワー変動を抑圧させている。

【 0 0 5 9 】

したがって、OADM部20でのレベル調整機能単独では追従が実質的に困難な時間t1においても、光増幅部10で上述のごとく出力光レベルの変動を抑圧させることができるので、光伝送装置1において波長数が特に大きく変動した場合においても、前述のSHB等が出力光パワーに与える影響を最小限にとどめることができる。

そして、従来技術の光伝送装置を目標伝達スパン数を有するように多段に接続する場合において、当該スパン数を伝送される信号光の光レベル変動量(この場合には減少側への変動量)は、例えば図6のBに示すように信号受信端(図16の符号131参照)での受信許容範囲を外れてしまう場合がある。しかしながら、本実施形態の光伝送装置を上述の目標伝達スパン数となるように接続することとすれば、光増幅部10あたりの出力光パワー変動を従来技術の光増幅部よりも抑制できるので、例えば図6のAに示すように信号受信端(図16の符号131参照)での受信許容範囲内にとどめることができるようになる。

【 0 0 6 0 】

このように、本発明の一実施形態によれば、目標利得算出部としての波長数情報取得部16および算出部17により、信号光レベルの変動、特に波長多重信号光の波長数変動に起因した光増幅器の出力光パワーの変動を高速に抑圧することができるので、光増幅器の更なる多段化を可能として、伝送距離の長距離化を図ることができる利点がある。

〔 B 〕その他

上述した実施形態にかかわらず、本発明の趣旨を逸脱しない範囲において種々変形して実施することが可能である。

【 0 0 6 1 】

たとえば、上述の本実施形態においては、制御信号出力部18で利得一定制御を行っている目標利得を、算出部17で算出された目標利得としているが、本発明によれば、AGC制御を前提としない制御態様においても、算出部17で算出されたAGC制御の目標利得とすべくEDFA11に対して制御信号を出力することは可能である。

また、本実施形態においては、光増幅器としてはエルビウム添加光ファイバ(EDF)を増幅媒体としたEDFAを適用したが、本発明によれば他の構成の光増幅器を適用することとしてもよい。

【 0 0 6 2 】

さらに、本実施形態によれば、光伝送装置1に前置増幅部10aおよび後置増幅部10bの双方をそなえているが、これらの前置増幅部および後置増幅部のうちの少なくとも一方を本実施形態の光増幅部10としての構成をそなえることとしても差し支えない。

さらに、上述の実施形態においては、波長数情報取得部16で波長数情報を取得しているが、本発明によれば波長数情報取得部16で波長数情報を取得しなくとも、入力される波長多重信号光の波長数が予め設定された閾値Sよりも大きい又は閾値S以上の場合には、実質的に一定の利得値を前記光増幅器の目標利得として算出する一方、波長多重信号光の波長数が閾値S以下又は閾値Sよりも小さい場合には、当該波長数に応じて信号光の利得値を増大又は減少した値を前記光増幅器の目標利得として算出するような関数を用いることにより、目標利得を算出するようにしてもよい。

【 0 0 6 3 】

さらに、ノードごとに配置された個々の光増幅器に本発明を適用し、ノードごとに生じ

10

20

30

40

50

る出力変動に対してノードごとに補償するのが望ましいが、本発明を適用する光増幅器の数、光増幅器種類は限定はしない。

また、上述の実施形態の開示により、当業者であれば本発明の装置を製造することは可能である。

【 0 0 6 4 】

〔 C 〕 付記

(付記 1)

入力される波長多重信号光を増幅する光増幅器の利得を制御する装置であって、前記波長多重信号光の波長数が少ないほど信号光の利得（出力）が増加または減少するように目標利得を算出する目標利得算出部と、

10

該目標利得算出部で算出された前記目標利得で前記波長多重信号光を増幅すべく、前記光増幅器に対し制御信号を出力する制御信号出力部と、をそなえたことを特徴とする、利得制御装置。

【 0 0 6 5 】

(付記 2)

付記 1 において、該信号波長数に対する信号光の利得（出力）の増減の変化率は、信号波長数が少なくなるに従って急峻に連続的に変化することを特徴とする利得制御装置。

(付記 3)

入力される波長多重信号光を増幅する光増幅器の利得を制御する装置であって、前記波長多重信号光の波長数が予め設定された閾値よりも大きい又は前記閾値以上の場合には、実質的に一定の利得値を前記光増幅器の目標利得として算出する一方、前記波長多重信号光の波長数が前記閾値以下又は前記閾値よりも小さい場合には、当該波長数に応じて信号光の利得値（出力値）を増大又は減少した値を前記光増幅器の目標利得として算出する目標利得算出部と、

20

該目標利得算出部で算出された前記目標利得で前記波長多重信号光を増幅すべく、前記光増幅器に対し制御信号を出力する制御信号出力部と、をそなえたことを特徴とする、利得制御装置。

【 0 0 6 6 】

(付記 4)

前記閾値は、波長多重光伝送システムにおいて前記波長多重信号光として伝送可能な全波長数における 25 パーセントに相当する波長数以下の数であることを特徴とする、付記 3 記載の利得制御装置。

30

(付記 5)

該目標利得算出部が、前記光増幅器で増幅される波長多重信号光の波長数情報を取得する波長数情報取得部と、

該波長数情報取得部で取得した波長数情報に基づいて、前記光増幅器での増幅における前記目標利得を算出する算出部と、

をそなえたことを特徴とする、付記 1 ~ 4 のいずれか 1 項記載の利得制御装置。

【 0 0 6 7 】

40

(付記 6)

該波長数情報取得部は、該光増幅器に入力され又は該光増幅器から出力される波長多重信号光をなす波長ごとの信号光について、それぞれパワーをモニタするパワーモニタをそなえ、該パワーモニタにおけるモニタ結果に基づいて、前記波長多重信号光の波長数情報を取得することを特徴とする、付記 1 ~ 5 のいずれか 1 項記載の利得制御装置。

【 0 0 6 8 】

(付記 7)

該光増幅器に入力される波長多重信号光の光パワーをモニタする入力光パワーモニタと、該光増幅器から出力される波長多重信号光の光パワーをモニタする出力光パワーモニタ

50

と、をそなえ、

該制御信号出力部は、該入力光パワーモニタおよび該出力光パワーモニタからのモニタ結果をもとに、該目標利得算出部で算出された前記目標利得で、該光増幅器を自動利得一定制御するための制御信号を該光増幅器に出力することを特徴とする、付記 1 ~ 6 のいずれか 1 項記載の利得制御装置。

【 0 0 6 9 】

(付記 8)

波長多重光伝送システムにおける伝送すべき波長多重信号光をなす波長ごとの信号光について処理を行なう信号光処理部と、

該信号光処理部の前段および / または後段にそなえられ、入力される波長多重信号光を励起光により増幅する光増幅器と、

該光増幅器の利得を制御する利得制御部と、をそなえ、

該利得制御部が、

前記波長多重信号光の波長数が少ないほど信号光の利得 (出力) が増加または減少した値を該光増幅器の目標利得として算出する目標利得算出部と、

該目標利得算出部で算出された前記目標利得で前記波長多重信号光を増幅すべく、該光増幅器に対し制御信号を出力する制御信号出力部と、をそなえたことを特徴とする、光伝送装置。

【 0 0 7 0 】

(付記 9)

付記 8 において、該信号波長数に対する信号光の利得 (出力) の増減の変化率は、信号波長数が少なくなるに従って急峻に連続的に変化することを特徴とする光伝送装置。

(付記 1 0)

波長多重光伝送システムにおける伝送すべき波長多重信号光をなす波長ごとの信号光について処理を行なう信号光処理部と、

該信号光処理部の前段および / または後段にそなえられ、入力される波長多重信号光を励起光により増幅する光増幅器と、

該光増幅器の利得を制御する利得制御部と、をそなえ、

該利得制御部が、

前記波長多重信号光の波長数が予め設定された閾値よりも大きい又は前記閾値以上の場合には、実質的に一定の利得値を該光増幅器の目標利得として算出する一方、前記波長多重信号光の波長数が前記閾値以下又は前記閾値よりも小さい場合には、当該波長数に応じて利得値を前記一定の利得値から増大又は減少した値を該光増幅器の目標利得として算出する目標利得算出部と、

該目標利得算出部で算出された前記目標利得で前記波長多重信号光を増幅すべく、該光増幅器に対し制御信号を出力する制御信号出力部と、をそなえたことを特徴とする、光伝送装置。

【 0 0 7 1 】

(付記 1 1)

前記信号光処理部は、前記波長ごとの信号光についてパワー調整を個別に行なうように構成され、

該制御信号出力部は、前記信号光処理部での前記パワー調整の作用と協働して、伝送すべき波長多重信号光の光パワーを制御すべく、前記光増幅器に対し前記制御信号を出力することを特徴とする、付記 8 ~ 1 0 のいずれか 1 項記載の光伝送装置。

【 0 0 7 2 】

(付記 1 2)

前記信号光処理部は、前記伝送すべき波長多重信号光についての波長ごとの分岐又は挿入処理を行なうことを特徴とする、付記 8 ~ 1 1 のいずれか 1 項記載の光伝送装置。

(付記 1 3)

該光増幅器は、増幅媒体と、該増幅媒体を励起する励起光を該増幅媒体に供給する励起

10

20

30

40

50

光供給部と、をそなえたことを特徴とする、付記 8 ~ 12 のいずれか 1 項記載の光伝送装置。

【0073】

(付記 14)

入力される波長多重信号光を励起光により増幅する光増幅器の増幅利得を制御する制御方法であって、

前記波長多重信号光の波長数が少ないほど信号光の利得(出力)が増加または減少した値を前記光増幅器の目標利得として算出し、

前記算出された目標利得で前記波長多重信号光を増幅すべく、前記光増幅器に対し制御信号を出力することを特徴とする、光増幅器の利得制御方法。

10

【0074】

(付記 15)

付記 14 において、該信号波長数に対する信号光の利得(出力)の増減の変化率は、信号波長数が少なくなるに従って急峻に連続的に変化することを特徴とする光増幅器の利得制御方法。

(付記 16)

入力される波長多重信号光を励起光により増幅する光増幅器の増幅利得を制御する制御方法であって、

前記波長多重信号光の波長数が予め設定された閾値よりも大きい又は前記閾値以上の場合には、実質的に一定の利得値を前記光増幅器の目標利得として算出する一方、前記波長多重信号光の波長数が前記閾値以下又は前記閾値よりも小さい場合には、当該波長数に応じて利得値を前記一定の利得値から増大又は減少した値を前記光増幅器の目標利得として算出し、

20

前記算出された目標利得で前記波長多重信号光を増幅すべく、前記光増幅器に対し制御信号を出力することを特徴とする、光増幅器の利得制御方法。

【0075】

(付記 17)

前記波長数が前記閾値以下又は前記閾値よりも小さい場合において、

該光増幅器から出力される波長多重信号光の出力光パワーが、所定の出力光パワーよりも小さくなる場合には、前記一定の利得値から前記波長数に応じて増加した値を前記目標利得として算出する一方、

30

該光増幅器から出力される波長多重信号光の出力光パワーが、所定の出力光パワーよりも大きくなる場合には、前記一定の利得値から前記波長数に応じて減少した値を前記目標利得として算出することを特徴とする、付記 16 記載の光増幅器の利得制御方法。

【0076】

(付記 18)

前記閾値は、波長多重光伝送システムにおいて前記波長多重信号光として伝送可能な全波長数における 25 パーセントに相当する波長数以下の数であることを特徴とする、付記 16 又は 17 記載の光増幅器の利得制御方法。

(付記 19)

前記目標利得を算出する際に、

前記波長多重信号光の波長数情報を取得し、

前記取得した波長数情報に基づいて、前記目標利得を算出することを特徴とする、付記 14 ~ 18 のいずれか 1 項記載の光増幅器利得制御方法。

40

【0077】

(付記 20)

付記 8 ~ 13 のいずれか 1 項記載の光伝送装置が光伝送路を介して接続されたことを特徴とする、波長多重光伝送システム。

【図面の簡単な説明】

【0078】

50

【図 1】本発明の一実施形態としての波長多重光伝送システムを示す図である。

【図 2】(A) ~ (D) はいずれも本発明の一実施形態における E D F A の目標利得について説明するための図である。

【図 3】(A) ~ (C) はいずれも従来技術と対比した本実施形態の動作について説明するための図である。

【図 4】本発明の一実施形態の動作を説明するためのフローチャートである。

【図 5】波長数変動の具体例を示す図である。

【図 6】本発明の一実施形態の作用効果を説明するための図である。

【図 7】メトロコアシステムの構成例を示すブロック図である。

【図 8】従来の A G C アンプの構成例を示すブロック図である。

10

【図 9】(A) 及び (B) は図 7 に示すシステムにおける障害発生時の動作を説明するための図である。

【図 10】(A) 及び (B) は図 7 に示すシステムにおける障害発生に伴う波長数変動時の出力光パワー変動を説明するための図である。

【図 11】S H B による波長依存性の利得変動量の一例を示す図である。

【図 12】(A) は波長に対する S H B に起因する利得変化量の一例、(B) は波長に対する S R S に起因する利得変化量の一例をそれぞれ示す図である。

【図 13】ラマン増幅帯域の一例を示す図である。

【図 14】信号波長間ラマン効果を説明するための図である。

【図 15】従来技術の課題を説明するための図である。

20

【図 16】信号受信端を説明するためのブロック図である。

【符号の説明】

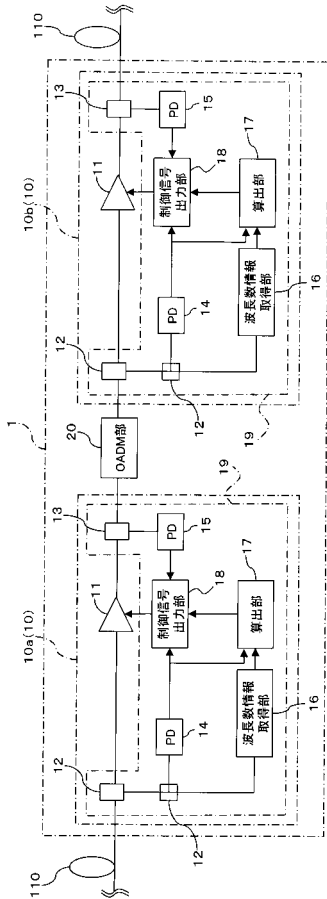
【0079】

- 1 光伝送装置
- 10 光増幅部
- 10 a , 10 2 a 前置光増幅部
- 10 b , 10 2 b 後置光増幅部
- 11 , 12 1 E D F A (光増幅器)
- 12 , 13 , 12 2 , 12 3 光分岐部
- 14 , 15 , 12 4 , 12 5 フォトダイオード
- 16 波長数情報取得部
- 17 算出部
- 18 制御信号出力部
- 19 利得制御部
- 20 , 10 1 O A D M 部
- 100 , 100 A ~ 100 C O A D M ノード
- 110 光伝送路
- 120 A G C アンプ
- 126 利得一定制御部
- 131 光受信器
- 132 光送信器

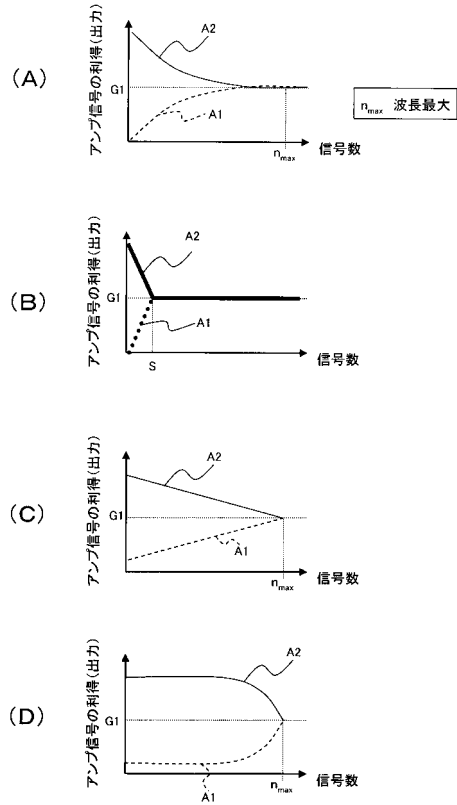
30

40

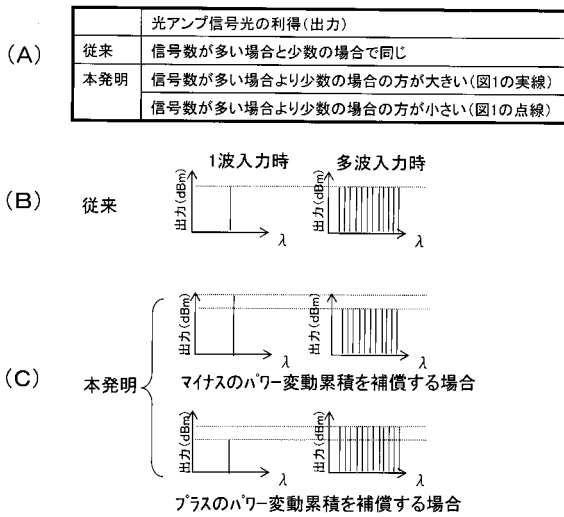
【図1】



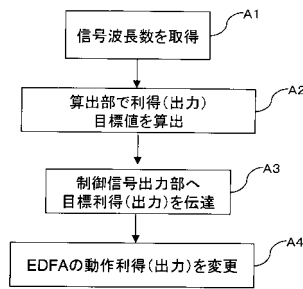
【図2】



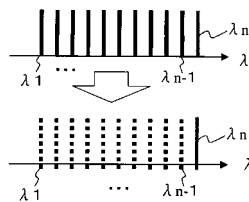
【図3】



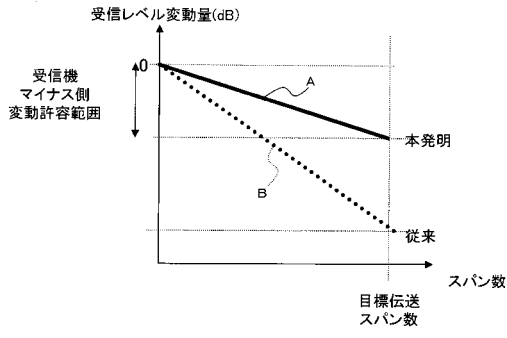
【図4】



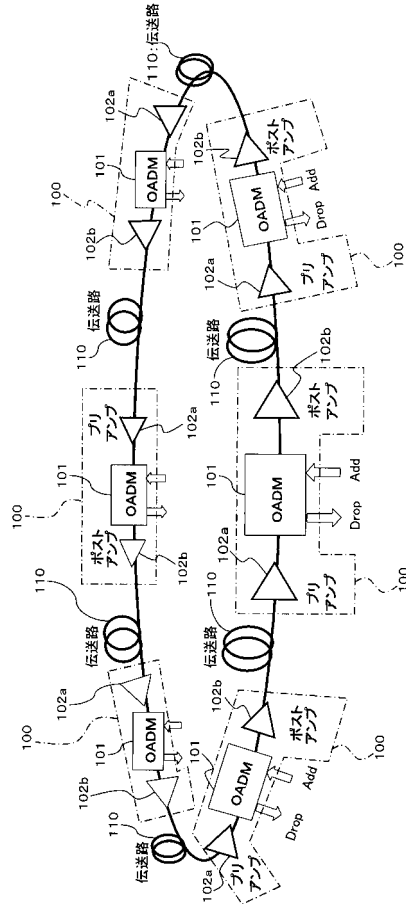
【図5】



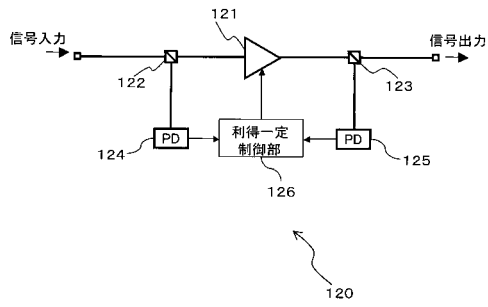
【図6】



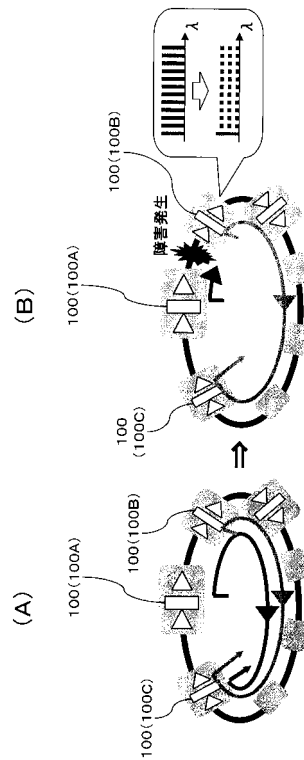
【図7】



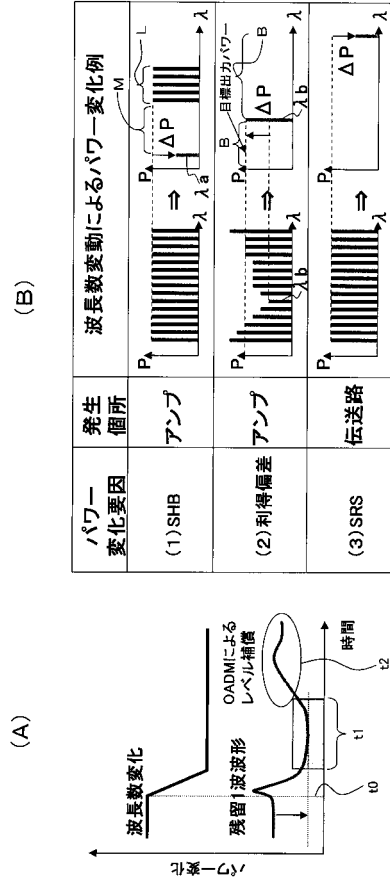
【図8】



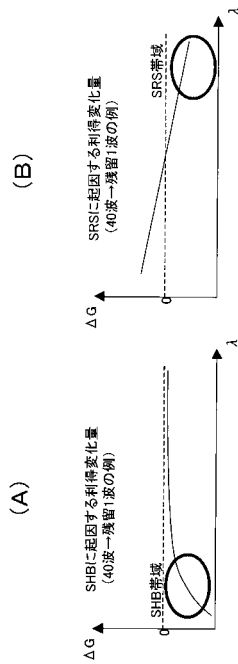
【図9】



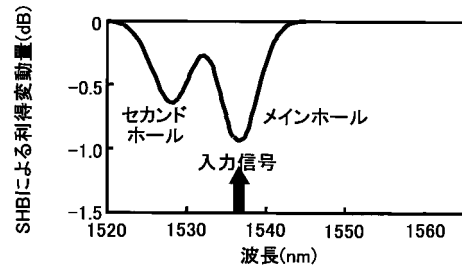
【 図 1 0 】



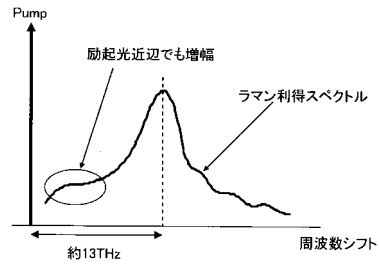
【 図 1 2 】



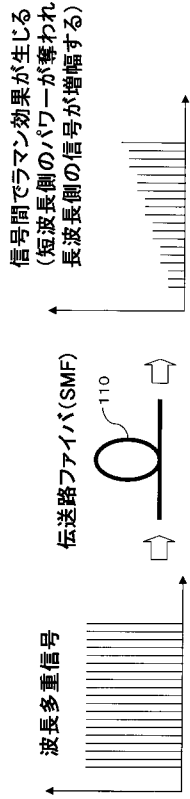
【 図 1 1 】



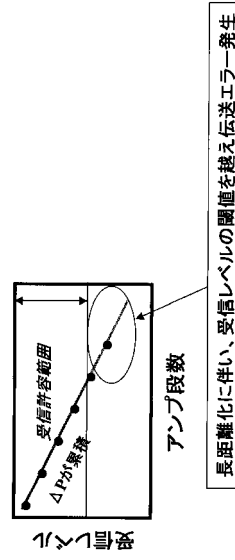
【 図 1 3 】



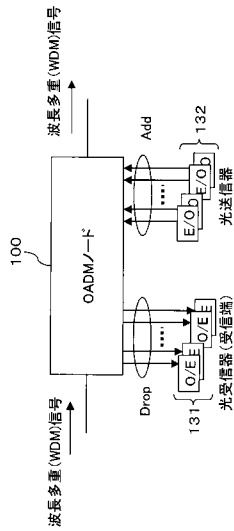
【図14】



【図15】



【図16】



フロントページの続き

(72)発明者 林 悦子

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

審査官 後澤 瑞征

(56)参考文献 特開2006-295113(JP,A)

特開平10-229386(JP,A)

特開2001-094181(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H04B10/00-10/28

H04J14/00-14/08

H01S 3/063