

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3992749号

(P3992749)

(45) 発行日 平成19年10月17日(2007.10.17)

(24) 登録日 平成19年8月3日(2007.8.3)

(51) Int. Cl.	F I				
HO 4 B 10/16 (2006.01)	HO 4 B	9/00		J	
HO 4 B 10/17 (2006.01)	HO 1 S	3/06		B	
HO 1 S 3/06 (2006.01)	HO 1 S	3/10		Z	
HO 1 S 3/10 (2006.01)	HO 4 B	9/00		E	
HO 4 J 14/00 (2006.01)	HO 4 B	9/00		S	

請求項の数 7 (全 9 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願平10-535665	(73) 特許権者	テレフオンアクチーボラゲット エル エム エリクソン (パブル)
(86) (22) 出願日	平成10年2月13日(1998.2.13)		スウェーデン国エスー126 25 ストックホルム(番地なし)
(65) 公表番号	特表2001-511975(P2001-511975A)	(74) 代理人	弁理士 浅村 皓
(43) 公表日	平成13年8月14日(2001.8.14)		弁理士 浅村 肇
(86) 国際出願番号	PCT/SE1998/000255	(74) 代理人	弁理士 清水 邦明
(87) 国際公開番号	W01998/036513		弁理士 林 拓三
(87) 国際公開日	平成10年8月20日(1998.8.20)		
審査請求日	平成16年4月1日(2004.4.1)		
(31) 優先権主張番号	9700533-4		
(32) 優先日	平成9年2月14日(1997.2.14)		
(33) 優先権主張国	スウェーデン(SE)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 可変な利得を有する光ファイバ増幅器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

増幅される入力光を受信し、増幅された出力光を提供する光増幅デバイスであって、  
 どちらも同等に構成された第1光ファイバ増幅器(3) No. 1と第2光ファイバ増幅器  
 (11) No. 2であって、前記第1光ファイバ増幅器は増幅される光を受信し、前記第  
 2光ファイバ増幅器は増幅された出力光を提供し、前記第1、第2光ファイバ増幅器は該  
 第1、第2光ファイバのそれぞれに対して入力パワー  $P_{in,i}$  に対して dB 単位の利得ス  
 ペクトル

$G_{ki}(\lambda) = G_b(\lambda) + k_i (G_a(\lambda) - G_b(\lambda))$  を有し、

ここで、 $\lambda$  は波長、 $k_i$  は入力パワー  $P_{in,i}$  およびそれぞれの増幅器 No.  $i$ ,  $i = 1, 2$  に供給されるポンプ光のパワーに依存し、且つ波長  $\lambda$  には無関係な定数であり、 $G_a(\lambda)$  および  $G_b(\lambda)$  は、互いに異なる2つの入力パワー値に対する利得スペクトルであり、

前記第1、第2光ファイバ増幅器(3, 11)の間に接続された減衰器(5)であって、  
 該減衰器は、波長帯域内で値を一定に調整可能な dB 単位の平坦な減衰 A を有するよう  
 に制御可能であり、

前記減衰器(5)に接続され、該減衰器の減衰 A を制御する制御装置(7)であって、該  
 制御装置は、

前記第1光ファイバ増幅器の利得スペクトルの変化とそれによる定数  $k_1$  の変化をもたら  
 す、前記第1光ファイバ増幅器(3)によって受信された増幅される入力光のパワー  $P_{in}$

10

20

$k_1$  の変化に対しては、増幅された出力光が変化前の増幅された出力光と同じスペクトル依存性を有するように前記第 2 光ファイバ増幅器 ( 1 1 ) の利得スペクトルとそれによる定数  $k_2$  を変化させるように減衰 A を制御し、前記第 2 光ファイバ増幅器 ( 1 1 ) に供給されるポンプ光のパワーの変化とそれによる定数  $k_2$  の変化に対しては、増幅された出力光が変化前の増幅された出力光と同じスペクトル依存性を有するように前記第 2 光ファイバ増幅器の利得スペクトルとそれによる定数  $k_2$  を変化させるように減衰 A を制御するように適合していることを特徴とした光増幅デバイス。

【請求項 2】

増幅される入力光のパワー  $P_{in, 1}$  の変化に対して、定数  $k_1$  は  $(k_1 + k_1)$  に変化させられ、定数  $k_2$  は  $(k_2 + k_2)$  に変化させられ、前記制御装置 ( 7 ) は、条件  $k_2 = -k_1$  が満たされるように減衰 A を一つの値に変化させるように適合されていることを特徴とした請求項 1 に記載の光増幅デバイス。 10

【請求項 3】

定数  $k_2$  を  $(k_2 + k_2)$  に変化させることになる、前記第 2 光ファイバ増幅器 ( 1 1 ) に供給されるポンプ光のパワーの変化に対して、前記制御装置 ( 7 ) は、条件  $k_2 = 0$  が満たされるように減衰 A を一つの値に変化させるように適合されていることを特徴とした請求項 1 に記載の光増幅デバイス。

【請求項 4】

光増幅デバイスの利得が増幅される入力光の波長に実質的に無関係であるようにスペクトル依存性の補償を提供する、前記第 1, 第 2 光ファイバ増幅器 ( 3, 1 1 ) の間に接続された利得平坦化フィルタ ( 9 ) を特徴とした請求項 1 に記載の光増幅デバイス。 20

【請求項 5】

前記第 2 光ファイバ増幅器 ( 1 1 ) に入力される光のパワーおよび前記第 2 光ファイバ増幅器から出力される光のパワーを検知するために接続され、前記減衰器 ( 5 ) の減衰を制御する前記制御装置 ( 7 ) に信号を供給するために接続された光検出器 ( 1 7, 2 1 ) を特徴とした請求項 1 に記載の光増幅デバイス。

【請求項 6】

増幅された出力光のパワーを少なくとも 2 つの異なる波長で検知するために接続され、且つ前記減衰器 ( 5 ) の減衰を制御する前記制御装置 ( 7 ) に信号を供給するために接続されたフィルタ ( 2 5 ) を備えた光検出器 ( 2 1 ) を特徴とした請求項 1 に記載の光増幅デバイス。 30

【請求項 7】

増幅される入力光のパワーを検知するために接続され、且つ前記減衰器 ( 5 ) の減衰を制御する前記制御装置 ( 7 ) に信号を供給するために接続された光検出器 ( 1 3 ) を特徴とした請求項 1 に記載の光増幅デバイス。

【発明の詳細な説明】

技術分野

本発明は、特に WDM ネットワークに用いられるべき利得が可変な光ファイバ増幅器と、また WDM ネットワークと、WDM 光信号を増幅する方法とに関する。 40

背景

光ファイバ増幅器は光波長多重化伝送システム ( WDM システム ) において優れた利点を有する。それは、光ファイバ増幅器は多数個の WDM チャンネルを同時に増幅することができるからである。

通常、このような増幅器は飽和した条件の下で動作する。飽和条件は、増幅器の出力パワーは入力パワーに無関係にほぼ一定であることを意味する。このことはさらに、増幅器の利得は入力パワーに逆比例することを意味する。このことは多くの伝送システムにおいて 1 つの利点である。それは、伝送線路に沿って配置された増幅器はそれらの利得が増幅器間の損失に等しいように自動的に調整されるからである。

WDM システムの場合、この形式の増幅器の動作に関して 1 つの問題点が存在する。増幅 50

器のスペクトル依存性は増幅媒体の分布反転 (population inversion) に応じて変化する。反転が増大すると増幅は短波長に向けてシフトし、そして利得の傾斜が生ずるであろう。飽和した増幅器の利得はまた分布反転の程度に依存する。このことは、異なるWDMチャンネルの間の相対利得が増幅器の増幅に直接に依存することを意味する。利得の変動はチャンネルの間の利得の不均衡の直接の原因となり、そしてこのことは受信機における異なる信号対雑音比 (SNR, signal to noise ratios) に導くであろう。最も低いSNRを有するチャンネルがシステム全体の特性に対する限界を設定するであろう。

通常、増幅器は一定の応用に対して、すなわち一定の入力パワーレベルおよび利得に対して、寸法が定められる。このシステムが設置されそして動作する時、パワーレベルが減衰器を用いて調整されなければならない。残っている利得の不均衡は、特性の許容される余裕度の範囲内でシステムにより処理されなければならない。減衰の大部分は実際の設備の中では大幅に小さいかも知れないが、それぞれの増幅器の間の伝送路の中で減衰が最大である最悪の場合に対してシステム全体の寸法を定めなければならない。したがって、伝送システムの全容量は、伝送システムが潜在的に有している容量よりも大幅に小さいであろう。

異なるWDMチャンネルに対して等しい出力パワーを有する増幅を得る方法がまた提案されている。光WDMスペクトルをデマルチプレックスすることができ、個々のチャンネルパワーを1組の飽和した増幅器により平等にすることができ、そして最後に再びマルチプレックスすることができる。米国特許第US-A 5,452,116号および第US-A 5,392,154号を見よ。それによりそれぞれの波長における利得が個別に飽和するように、いわゆるスペクトラル・ホール・バーニング (Spectral Hole Burning) と呼ばれる効果が得られるように、活性ファイバを極低温に冷却することができる。米国特許第US-A 5,345,332号を見よ。適切な特性を有する波長同調可能なファイバはこれらの変化を部分的に補償することができる。R.A.ベッツ (R.A.Betts) ほか名の論文「利得平坦化EDFAにおけるスプリット・ビーム・フーリエ・フィルタとその応用 (Split-beam Fourier filter and its application in a gain-flattered EDFA)」、オプティカル・ファイバ・コミュニケーションズ・コンフェレンス (Opt. Fiber Communications Conf.)、TuP4、サジェゴ (San Diego)、1995年、を参照されたい。特別に作成された活性ファイバでは、スペクトル変化は縮小した利得依存性を有することが分かっている。J.ニルソン (J.Nilsson)、Y.W.リー (Y.W.Lee) およびW.H.チョウ (W.H.Choe) 名の論文「WDMに対するダイナミック利得平坦性を有するエルビウム添加ファイバ増幅器 (Erbium doped fibre amplifier with dynamic gain flatness for WDM)」、エレクトロン・レターズ (Electron Lett.)、第31巻、1573頁~1579頁、1995年、を参照されたい。

先行技術のこれらの方法はコストがかかる、または複雑であり、または低い特性を有するように思われる。

#### 要約

本発明の1つの目的は、光伝送帯域の中で可変な全利得を有しそして一定のスペクトル依存性を有する、光増幅器を得ることである。

本発明のまた別の目的は、入力光の変動するパワーに対し一定のスペクトル依存性を有する、光増幅器を得ることである。

本発明のまた別の目的は、信号が増幅されて増幅された光信号を生ずるように、入ってくる波長多重化光信号を増幅する方法を得ることである。この場合、入ってくる光全体の変動するパワーに対しておよび変動可能な全利得に対して、異なる信号に対する利得が一定のスペクトル依存性を有する。

したがって、本発明により解決される問題点は、良好な特性を有する、例えば小さな入力信号に対するよりも大きな入力信号に対して良好な信号対雑音比を有する、および妥当なコストで作成することができる、光増幅器をどのようにして構成するかである。

したがって、WDMシステムの光伝送帯域の中で一定のスペクトル依存性を有し、一方、増幅器の雑音指数または出力パワーを損なうことなく増幅器合計の全利得を変えることができる、光増幅器を得ることである。例えばWDMシステムに対してもし必要ならば、残

10

20

30

40

50

っているスペクトル利得の差を固定されたスペクトル・フィルタでもって平等化することができる。この増幅器の動作は、2段階光ファイバ増幅器の中の1つの増幅器段階における利得の傾斜はまた別の増幅器段階において反対符号を有し対応する利得傾斜によって訂正することができるという考えに基づいている。したがって、この増幅器は2段階増幅器として設計することができる。この場合、第1増幅器段階は多少飽和した状態にある前置増幅器として動作する。この増幅器の第2段階は、完全に飽和した状態でほぼ一定の出力パワーを有するパワー増幅器段階またはブースタ増幅器段階として動作する。前置増幅器段階の利得傾斜に比べて大きさが等しく符号が反対の利得傾斜を得るために、第2段階の利得がこの段階に対する入力されるパワーを調整することにより調整される。

第2段階の入力パワーのこの調整は、2個の増幅器段階の間に置かれた制御可能な光減衰器を配置することにより達成されることが好ましい。この減衰器は、手動または自動のいずれかで制御することができる。自動的に制御される減衰器は、周知の種々の技術のいずれかにより機械的または電氣的のいずれかで制御することができる。

固定された入力パワーに対する完成した増幅器の利得は、パワー増幅段階に対するポンプパワーを変えることによりさらに変えることができ、そしてそれにより出力パワーが変わり、そして次に、出力増幅段階の一定の利得を保持するために、減衰器の減衰がそれに対応して同時に変えられる。

減衰器の制御は種々の方法のいずれかで実行することができる。手動減衰器の場合には、増幅器の前の線路部分の実際の損失に対して、損失が設置時に最適であるように調整される。自動的に制御可能な減衰器の場合には、例えば、D.ボンダール(D. Bonnedal)名の論文「ブラックボックス・モデルで説明されたEDFA利得(EDFA Gain, Described with a Black Box Model)」、オプティカル・アンプリファイアズ・アンド・ゼア・アプリケーションズ(Optical Amplifiers and their Applications)、1996年、テクニカル・ダイジェスト(Technical Digest)(オプティカル・ソサイアティ・オブ・アメリカ(Optical Society of America)、ワシントンDC、1996年)、215~218頁、に開示されているような増幅器の十分に予測可能な動作を用いて、測定された入力パワーから損失を計算することができる、または、2個またはさらに多数個のチャンネルのチャンネルパワーを出力において実際に測定することができ、そしてそれらの間の差を制御装置のアルゴリズムによってできるだけ小さくすることができる、のいずれかであることができる。いくつかのチャンネルまたはすべてのチャンネルに異なる周波数のパイロット・トーンを与えそして電氣的領域の中の周波数弁別により相対チャンネルパワーを測定するような十分に既知のいくつかの技術のいずれかを用いて、チャンネルパワーの測定を実行することができる。公開されている欧州出願中特許第EP-A1 0 637 148号を参照されたい。この出願中特許は、米国特許第5,463,487号に対応している。またはそれとは異なって、固定されたまたは走査する光フィルタ、回折格子、または干渉計により、光スペクトルの全体または一部分の解析を行うことができる。

増幅段階の間に減衰器を配置することにより、2つの段階の最適な特性が損なわれない。おのおの場合の動作において、前置増幅器段階から最低可能な雑音が信号に付加され、そしてパワー増幅段階から十分な出力パワーが常に得ることができる。このことは、もし1対の増幅器の間の損失が低下するならば、それに対応してSNRが改善される。光伝送システム全体の潜在能力を完全に利用することができる。

本発明のこの他の目的および利点は下記の説明で示されるであろうが、その一部分は下記の説明から明らかであるであろう、または本発明を実施することにより分かるであろう。本発明のこれらの目的および利点は、特に請求項に指摘された方法、処理工程、設置および組み合わせにより十分に理解しおよび得ることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

添付図面および下記の詳細な説明により、本発明と前記およびその他の特徴を完全に理解することができる。添付図面および下記の説明は、本発明の範囲が添付図面および下記の説明に限定されることを意味するものではない。

図1は、光ファイバ・ネットワークの一部分の図。

10

20

30

40

50

図 2 は、一定のスペクトル利得の増幅器のブロック線図。

詳細な説明

図 1 に示されているように、光ファイバ WDM ネットワークの一部はノード 101 を有する。ノードのおおのほは、1 個の入力ファイバ 103 および 1 個の出力ファイバ 105 を通して、また別のノードに接続される。入力ファイバは前置増幅器 107 に接続され、そして出力ファイバはブースタ増幅器またはパワー増幅器 109 に接続される。前置増幅器 103 およびブースタ 109 は、次にそれぞれ、電気的な入力ポートおよび出力ポート 111、113 に接続される。これらは、それぞれ、デマルチプレクサおよびマルチプレクサ（結合器）を有する。増幅器 107、109 は増幅器の目的に応じて適切に調整された利得を有するように設定することが要求され、そしてまたネットワークの動作期間中に利得を変更することが要求されることがある。けれども、希土類金属エルビウムが添加されたファイバを備えたファイバ光増幅器の型式の増幅器の場合、異なる波長に対する利得の値は相互に等しくなく、そして利得が変えられる時、波長による利得の依存性さえも変わる。このことは、例えば異なる信号対雑音比に関する問題点を生ずる。一定のスペクトル依存性を有する増幅器はこのようなノードの中では利点をもって用いられ、およびまたファイバ光ネットワークの中の線路増幅器として利点をもって用いられ、そして図 2 で説明されるようにこれらを構成することができる。

図 1 のネットワーク部分のノード 101 に用いると適切である図 2 の光増幅器のブロック線図において、光が光ファイバ 1 の光増幅器に入る。この光ファイバは第 1 ファイバ光増幅器 3 に接続される。第 1 ファイバ光増幅器 3 は、ファイバ 1 に受け取られた光を増幅する前置増幅器段階として動作する。前置増幅器 3 は固定された利得を有し、それにより期待される入力光パワー範囲に対して適切な出力パワーを提供する。前置増幅器段階 3 の出力は制御可能な減衰器 5 に送られる。減衰器 5 は電気的制御装置 7 に接続され、そしてこの電気的制御装置 7 により減衰器 5 が制御される。次に、減衰器 5 によって減衰された光は固定された波長平坦化フィルタ 9 に入る。波長平坦化フィルタ 9 の出力はパワー増幅器段階すなわちブースタ段階 11 に接続される。パワー増幅段階 11 は、可変出力パワーを有する光ファイバ増幅器を備える。平坦化フィルタ 9 はオプションであり、そして増幅器の基本的動作に大して必要であるわけではない。それが備えられない場合には、制御可能フィルタ 7 の出力は、パワー増幅段階 11 の入力に直接に接続される。増幅器デバイス全体からの光出力は、パワー増幅器段階 11 の出力端子に接続された光ファイバ 12 に得られる。

電気的制御装置 7 はまた光検出器からの信号を受け取る。入力光パワー検出器 13 の入力には、増幅器に入るファイバ 1 の中に配置された Y 型結合器 15 に接続される。中間パワー検出器 17 は、オプションの平坦化フィルタ 9 とパワー増幅段階 11 の間のファイバ線路に、これらのデバイスの間のファイバの中に挿入された Y 型結合器 19 を通して接続される。出力パワー検出器 21 は、出力線路 12 の中に配置された Y 型結合器 23 を通して、パワー増幅段階 11 の出力に接続される。出力パワー検出器 21 の入力線路に、スペクトル・ファイバのようなオプションのスペクトル解析デバイス 25 を接続することができる。

図 2 の増幅器の動作を次に説明する。この説明は、前置増幅器段階 3 およびパワー増幅段階 9 に備えられるような光ファイバ増幅器において、もし利得の値が dB のような対数単位で表されるならば、2 つの既知のスペクトルの線形結合または線形補間として利得を非常に良い近似で書くことができるという事実に基づいている。前記で引用されたダック・ボンダル (Dag Bonnedal) 名の論文を参照されたい。入力パワー  $P_{in}$  に対する利得スペクトルは次のように書くことができる。

$$G_k(\lambda) = G_b(\lambda) + k(G_a(\lambda) - G_b(\lambda)) \quad [\text{dB 単位}] \quad (1)$$

ここで、 $k$  は波長  $\lambda$  には無関係な定数であり、そして  $G_a(\lambda)$  および  $G_b(\lambda)$  は他の入力パワー値に対する利得である。定数  $k$  は入力パワーおよびポンプパワーに応じて変化する。2 個の同等に構成された第 1 光ファイバ増幅器および第 2 光ファイバ増幅器の利得は

$$G_k(\lambda) = G_b(\lambda) + k_1(G_a(\lambda) - G_b(\lambda)) \quad [\text{dB 単位}] \quad (2)$$

10

20

30

40

50

$$G_k(\lambda) = G_b(\lambda) + k_2 (G_a(\lambda) - G_b(\lambda)) \quad [\text{dB 単位}] \quad (3)$$

である。ここで、 $k_1$  および  $k_2$  は定数であって、それらの値はそれぞれの増幅器の入力パワーおよびポンプパワーに応じて変化する。もし 2 個の増幅器が直列に接続され、そして

$$G_{tot}(\lambda) = 2 \cdot G_b(\lambda) - A + (k_1 + k_2) \cdot (G_a(\lambda) - G_b(\lambda)) \quad [\text{dB 単位}] \quad (4)$$

であるであろう。

したがって、前置増幅段階およびブースタ段階 3、11 と、平坦な減衰を有すると考えられる減衰器 5 すなわち考えられるすべての波長に対して同じ減衰を有すると考えられる減衰器 5 とが、式 (4) による全利得曲線を与えるように設定されたとまず仮定される。次に、前置増幅段階 3 に入力されるパワー入力を変えられ、そして次にその中の利得が変えられ、そして定数  $k_1$  が  $(k_1 + k_1)$  に変えられる。次にまた、増幅器の全利得が式 (4) に従って変えられる。制御装置 7 から減衰器 5 に適切な信号を送ることにより、減衰は新しい値  $(A + A)$  に自動的に制御される。次に、パワー増幅段階 11 に対する入力パワーを変えられ、その結果定数  $k_2$  が  $(k_2 + k_2)$  に変わる。その結果得られる利得は

$$G_{tot}(\lambda) = 2 \cdot G_b(\lambda) - (A + A) + (k_1 + k_2 + k_1 + k_2) \cdot (G_a(\lambda) - G_b(\lambda)) \quad [\text{dB 単位}] \quad (5)$$

となる。もしここで条件  $k_2 = -k_1$  が満たされるように  $A$  が調整されるならば、得られる利得は

$$G_{tot}(\lambda) = 2 \cdot G_b(\lambda) - A - A + (k_1 + k_2) \cdot (G_a(\lambda) - G_b(\lambda)) \quad [\text{dB 単位}] \quad (6)$$

となる、この式は、得られる利得は以前の値、初期の値または設定された値、に比例することを意味し、したがって利得のスペクトル依存性は本質的には不変であることを意味する。

また別の場合には、パワー増幅段階 11 に入力されるポンプ光パワーを変えられ、それにより全増幅器の変更された出力パワーが結果として得られ、およびまた式 (1) の定数  $k_2$  の変化が結果として得られる。この時、減衰器 5 の減衰  $A$  を新しい減衰  $A$  に変えることができる。したがって、利得はなおパワー段階 11 の  $k_2$  であり、その結果次の全利得が結果として得られる。

$$G_{tot}(\lambda) = 2 \cdot G_b(\lambda) - A - A + (k_1 + k_2) \cdot (G_a(\lambda) - G_b(\lambda)) \quad [\text{dB 単位}] \quad (7)$$

これはまた、オリジナルの設定利得に比例する。

もしオプションの利得平坦化フィルタ 9 が用いられるならば、理想的には (WDM チャンネルを含む少なくとも考察されている波長帯域の中で) 減衰を有するように設計されるべきである。

$$A_{gf}(\lambda) = - (2 \cdot G_b(\lambda) + (k_1 + k_2) \cdot (G_a(\lambda) - G_b(\lambda))) - A_{gf0} \quad [\text{dB 単位}] \quad (8)$$

ここで、 $A_{gf0}$  は定数である。これは、波長に無関係である完成した増幅器の全利得が結果として得られるであろう。

減衰器 5 は制御装置 7 により自動的におよび電氣的に制御されるが、しかしまた手動で制御することもできる。固定された入力パワーに対する完成した増幅器の利得は、パワー増幅段階 11 の光ファイバ増幅器のポンプパワーを変えることにより変えられる、または他の方法、例えばスエーデン国出願中特許第 9603337-8 号の特に図 6 の説明に示されているような方法で変えられる。この時、パワー増幅段階 11 の入力パワーおよび出力パワーを検知する検出器 17 および 21 の信号を用いることにより、前記 (式 (7)) の説明に従いパワー増幅段階 11 の一定の利得を保持するために、減衰器 5 の減衰が対応して同時に変えられる。自動的に制御可能な減衰器 5 の場合、もし前置増幅段階 3 の動作および設定が既知であるならば、入力検出器 13 により測定された入力パワーおよび中間検出器 17 により測定された光パワーから、その損失 (減衰) を計算することができる。場合によつ

10

20

30

40

50

ては、制御可能な減衰器に入力するパワー（そして次にまた、その利得を制御することを助けることができる前置増幅器段階3の出力パワー）を検知する付加的な光検出器が必要である。

増幅器の入力パワーが変動する場合、入力検出器13によりこのことが検出され、そして次にファイバ5の減衰が制御されて、パワー増幅段階11の利得がまた変えられるようにその出力信号を変更することにより、この変化が補償される。式(5)と式(6)とを比較せよ。増幅段階3の既知の動作だけを用いることにより、この制御を行うことができる。この場合には、前記で引用されたダグ・ボンダルの論文に示された関数関係を用いることによるような、検出器13および17により検出されたそれぞれの入力パワーから利得および定数kを求めることができる。1個の考察された波長に対するこの論文の式(1)

10

$$G = (G_0^{-\alpha} + (\frac{P_{lim}}{P_{in}})^{-\alpha})^{-\frac{1}{\alpha}} + L \quad \text{[線形単位]} \quad (9)$$

を見よ。ここで、 $P_{in}$ は入力パワー、 $G_0$ は非飽和増幅器に対する利得、 $P_{lim}$ は増幅器の最大出力パワー、 $\alpha$ は0.5~1.5の範囲の指数、Lは定数である。この時、kは次の式から計算される。

$$k = \frac{G_k - G_b}{G_a - G_b} \quad \text{[dB単位]} \quad (10)$$

20

またはそれとは異なって、変動する入力パワーに対しこの場合に減衰器5およびパワー増幅段階11のフィードバック制御を有する場合、場合によってはパワー増幅段階11から光出力のスペクトル分布を決定しそして次に最初に設定したものに比例するように制御しなければならない。式(5)および式(6)を見よ。出力光検出器21に2個またはさらに多数個のWDMチャンネルを選定する適切に調整されたスペクトル・フィルタを備えることにより、出力におけるこれらのチャンネルのチャンネルパワーを測定して、このことを行うことができる。また別の実施例では、スペクトル・フィルタ25は必要ではないが、しかし適切に選定された異なるパイロット・トーンがこれらのチャンネルの信号に加えられ、それにより、パイロット・トーンの周波数の付近の光検出器21から得られる電気信号にフィルタ作用を行うことにより、そして次にこれらのトーンの振幅を測定すること

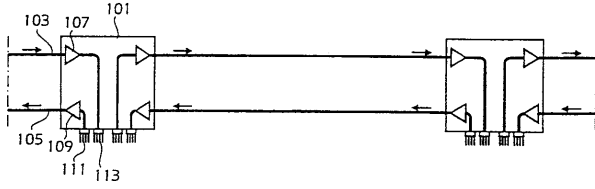
30

により、個別のチャンネルのパワーを測定することができる。雑音を少なくするために前置増幅器段階に小さな最大利得を与えるように、および高い効率を得るためにパワー増幅段階に大きな利得を与えるように、異なる長さの増幅用ファイバが用いられることが多い。これは、波長依存性を表す式(2)および式(3)の中の基本的曲線 $G_a(\lambda)$ および $G_b(\lambda)$ が2つの増幅器段階に対して相互に完全には同じではないことを意味するであろうが、しかしなおこれらは十分に類似している。この場合、前記で説明した精密な制御を行うことができないが、しかしなお、十分に狭い波長間隔の中で、例えば1540nmと1560nmとの間で、または1550nmの周波数の付近のさらに狭い帯域の中の波長に対して、増幅器の全利得の近似的に一定のスペクトル依存性を達成する方法で、制御を行うことができる。

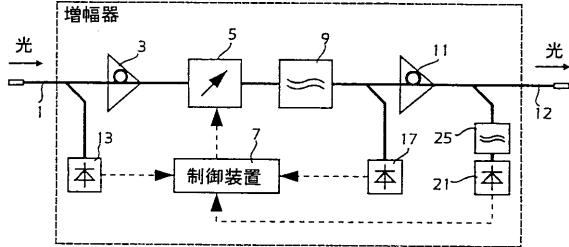
40

さらに付加される利点および変更実施例は当業者には容易に分かるであろう。したがって、本発明の範囲は前記で説明された代表的なデバイスおよび例示された実施例に限定されるものではない。添付された請求の範囲およびそれと同等の内容により定められる本発明の全体的概念の範囲内において、種々の変更を行うことは可能である。

【図1】  
Fig. 1



【図2】  
Fig. 2



## フロントページの続き

(51) Int.Cl. F I

**H 0 4 J 14/02 (2006.01)**  
**H 0 4 B 10/04 (2006.01)**  
**H 0 4 B 10/06 (2006.01)**  
**H 0 4 B 10/14 (2006.01)**

- (72)発明者 ボンネダル, ダグ  
スウェーデン国 エンスケデ, サボラクスベージェン 20
- (72)発明者 サンデル, ヨハン  
スウェーデン国 エンスケデ, ストックホルムスベージェン 41
- (72)発明者 スンデリン, マグヌス  
スウェーデン国 ストックスンド, キルクベージェン 20

審査官 角田 慎治

- (56)参考文献 特開平08-248455(JP, A)  
特開平08-095097(JP, A)  
特開平10-144984(JP, A)  
米国特許第06055092(US, A)  
米国特許第05764404(US, A)  
英国特許第02294170(GB, B)  
特開平09-214433(JP, A)  
特表2000-513144(JP, A)  
国際公開第97/050157(WO, A1)  
特開平07-301831(JP, A)  
特開平09-159526(JP, A)  
特開平09-211507(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H04B 10/00 - 10/28  
H04J 14/00 - 14/08  
H01S 3/06  
H01S 3/10