

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4663997号
(P4663997)

(45) 発行日 平成23年4月6日(2011.4.6)

(24) 登録日 平成23年1月14日(2011.1.14)

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

請求項の数 5 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2004-65052 (P2004-65052)	(73) 特許権者	000005223
(22) 出願日	平成16年3月9日(2004.3.9)		富士通株式会社
(65) 公開番号	特開2005-259736 (P2005-259736A)		神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
(43) 公開日	平成17年9月22日(2005.9.22)	(74) 復代理人	100157967
審査請求日	平成19年2月8日(2007.2.8)		弁理士 菅田 洋明
前置審査		(74) 代理人	100074099
			弁理士 大菅 義之
		(74) 代理人	100133570
			弁理士 ▲徳▼永 民雄
		(72) 発明者	前田 泰三
			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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 広入力ダイナミックレンジ光増幅器を用いた光伝送装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

光信号を増幅する光増幅手段と、
分岐比を可変でき、該光増幅手段への入力を分岐し、一方を該光増幅手段に入力し、他方を光強度の測定のために供給する可変光分岐手段と、

該可変光分岐手段によって分岐された該他方の光強度を検出し、該光増幅手段に入力される光強度を検出し、該光増幅手段への入力光レベルを該可変光分岐手段の分岐比を制御することで調整するとともに、該分岐比を制御することにより検出された該他方の光強度の分岐比特性に基つき該光増幅手段への入力光レベルを算出し、該光増幅手段の信号対雑音比を制御する制御手段と、
を備え、

前記光増幅手段への入力と出力の値に対応して、入力光レベルの目標値が登録されたテーブルを有し、光増幅手段への入力光レベルの値から目標値を取得し、目標値が入力光レベルより小さい場合には、可変光分岐手段の分岐比を制御することにより入力光レベルが目標値となるように制御し、目標値が入力光レベルより大きい場合には、可変光分岐手段の使用範囲における分岐比を初期値である主信号のロスが最小となる値に設定することを特徴とする光伝送装置。

【請求項2】

前記可変光分岐手段は、電気光学効果を利用した、分岐比を可変できるカプラであることを特徴とする請求項1に記載の光伝送装置。

【請求項 3】

前記可変光分岐手段は、熱光学効果を利用した、分岐比を可変できるカプラであることを特徴とする請求項 1 に記載の光伝送装置。

【請求項 4】

前記可変光分岐手段は、MEMS を利用した、分岐比を可変できるカプラであることを特徴とする請求項 1 に記載の光伝送装置。

【請求項 5】

該可変光分岐手段で分岐された該他方の光強度を検出することによって、前記光増幅手段への入力光レベルは、該検出された光強度に基づき分岐比特性テーブルを参照することによって得られることを特徴とする請求項 1 に記載の光伝送装置。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、WDM (Wavelength Division Multiplexing) 装置において、光増幅器を有する光伝送装置に関する。

【背景技術】

【0002】

図 16 ~ 図 18 は、従来技術を説明する図である。

一般に、WDM 用の光増幅器の雑音指数 (以下、NF : Noise Figure) は、出力を一定にした場合に、アンプの入力レベルの増加と共に増加する傾向がある。図 16 (a) では、光増幅器モジュールの NF の増加の様子を示している。Pin は、光増幅器モジュールへの入力光の入力レベルであり、1 チャンネルあたりの光強度を示している。この図では、光増幅器モジュールの入力ダイナミックレンジ全体に渡って、Pin が増加するに従い、非線形に NF が増加しているのが示されている。また、図 16 (b) は、Pin と OSNR (Optical Signal-to-Noise Ratio) の関係を示している。OSNR は、Pin の増加に伴い、上側に凸のカーブを描いており、OSNR の最大となる点が存在する。なお、以下において、光増幅器ユニットとは、光増幅器モジュールと光増幅器モジュールのゲインを調整する制御回路等を含んだ光増幅器全体を含む構成である。また、光増幅器モジュールとは、光増幅媒体と励起光源とを少なくとも含む、光信号を増幅するために必要な最小限の構成を含んだ光増幅器ユニットの一部である。

20

30

【0003】

また、WDM 伝送では利得の波長依存性が光増幅器の利得に依存するため、利得を一定にする必要がある。結局、低 NF、すなわち、発生する雑音を抑え、かつ、波長依存性を小さくすることと、光増幅器の入力ダイナミックレンジを広く確保することとの両立は困難である。

【0004】

一般に、光増幅器を用いた光伝送システムにおいては、異なるロスを持つスパンが混在するため、光増幅中継器の入力はさまざまな値となり得、広い範囲の入力レベルを取りうる。したがって、システムの性能を最大に得るためには、異なるレベルの入力ダイナミックレンジを持つ光増幅器の種類を複数用意し、入力レベルに応じて最適な光増幅器の種類を選択することで、広範囲の入力レベルに対応せざるを得なかった。また、温度変動などによりスパンロスが変化することがある。また、支障移転 (道路工事等に対応するための線路変更) などによりスパンロスが変化することもある。このような場合に、光増幅器の種類の変更が必要になり、新たな用品の手配が必要となる。既に運用開始されているルートでは、光増幅器のタイプの変更は、運用を停止しない限り不可能となる。

40

【0005】

広範囲のスパンロスに対応するための手法としては、光増幅器モジュールの入力レベルを、アンプの持つ入力ダイナミックレンジ内に納まるよう調整する方法が考えられる。光レベルの調整を行う方法としては、光増幅器モジュールの前に可変アッテネータ (以下、可変 ATT) を配置し、これと光増幅器モジュールの入力レベルを測定するモニタ用カプ

50

ラとPDモニタを組み合わせ、モジュールの入力レベルが一定となるよう光レベル調整を行うという手法が考えられる。

【0006】

図17は、従来の光増幅器ユニットの構成例である。

光増幅器ユニット10は、光増幅器モジュール16のほかに、光増幅モジュール16への入力光の光レベルを調整するための可変アッテネータ(可変ATT)11、OSC光(Optical Supervisory Channel光)を分離、検出するための光カプラ12、光電気変換器13、光増幅器モジュール16への入力光の入力レベルをモニタするための、光カプラ14、PDモニタ15、光増幅器モジュール16の出力レベルをモニタするための、光カプラ17、PDモニタ18、OSC光を主信号に合波するための電気光変換器20、光カプラ19及び、可変ATT11を制御する制御回路21を備える。

10

【0007】

図17より、光増幅器ユニット10の入力(UPin)と、光増幅器モジュール16の入力(Pin)の間には可変ATT11、光カプラ2個12、14が存在し、これらの光部品の損失は光増幅器ユニット10のOSNR(Optical Signal to Noise Ratio、光S/N比)に影響する。図18(a)に光増幅器モジュール/ユニットのNF特性、図18(b)に光増幅器モジュール/ユニットのOSNR特性を示す。UPinが図18(b)の領域(A)にある場合、光増幅器ユニットのNFの傾きが0dB/dB程度になるが、このときOSNRは、1dB/dBの傾きを持ち、UPinが損失により減少すると、UPinが減少した分、OSNRも減少する。つまり、損失とOSNRが1:1で対応するため、上記の光部品の損失がそのまま、OSNRの劣化となる。従って、この損失をできるだけ減らすことが、OSNR向上のために必要となる。

20

【0008】

従来の技術としては、特許文献1及び特許文献2がある。特許文献1は、光信号が断状態になった場合、光増幅器への入力レベルを一定に保つために、光入力レベルを変化させる技術が開示されている。特許文献2には、分岐比可変光カプラを用いて、ハードウェアを共用化した冗長化構成の技術が記載されている。

【特許文献1】特開2000-312185号公報

【特許文献2】特開2001-339344号公報

【発明の開示】

30

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

以上のように、光増幅器ユニット内の光部品の損失により、光増幅器ユニットの出力信号のOSNRが劣化することになるので、光増幅モジュールの性能を十分に活用しようとする場合、光増幅ユニットに含まれる光部品の損失をできるだけ小さくすることが有効である。

【0010】

本発明の課題は、広入力ダイナミックレンジを確保しつつ、OSNRを大きくとることのできる光増幅器を備える光伝送装置を提供することである。

【課題を解決するための手段】

40

【0011】

本発明の光伝送装置は、光信号を増幅する光増幅手段と、分岐比を可変でき、該光増幅手段への入力を分岐し、一方を該光増幅手段に入力し、他方を光強度の測定のために供給する可変光分岐手段と、該可変光分岐手段によって分岐された該他方の光強度を検出し、該光増幅手段に入力される光強度を検出し、該光増幅手段への入力光レベルを該可変光分岐手段の分岐比を制御することで調整し、該光増幅手段の信号対雑音比を制御する制御手段とを備えることを特徴とする。

【0012】

本発明では、光増幅手段への入力レベルを調整するのに、分岐比を可変できる可変分岐手段を用いている。従って、従来の構成の光カプラと光アッテネータの機能を併せ持つこ

50

とができるので、光アッテネータの分だけ光損失を減少でき、光増幅手段のOSNRを高くすることができると共に、従来同様広入力ダイナミックレンジを保つことができる。

【発明の効果】

【0013】

本発明によれば、広入力ダイナミックレンジを確保しつつ、OSNRを大きく取ることのできる光増幅器を備える光伝送装置を提供できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0014】

図1に、本発明の実施形態が適用されるシステム構成図、図2に、本発明の実施形態に従った光増幅器ユニットの構成図、図3に、本発明の実施形態に従った制御フローを示す。

10

【0015】

図1において、OS (Optical Sender) 25から送出された各波長の光信号は、マルチプレクサ26によって合波され、光波長多重信号として伝送路に送出される。光ファイバからなる伝送路には、波長分散のために設けられたDCF (Dispersion Compensation Fiber) 28を備える光増幅器ユニット27が所定間隔毎に設けられている。この光増幅器ユニット27間のことをスパンと呼び、この1つのスパンにおいて生じる光信号の強度ロスのことをスパンロスと呼ぶ。光波長多重信号は、受信側のデマルチプレクサ29によって各波長の光信号に分波され、各波長毎に設けられたOR (Optical Receiver) 30によって受信される。

20

【0016】

図2において、図16と同じ構成要素には同じ参照符号を付して、説明を省略する。

光増幅器モジュール16への光入力レベルの調整制御には、PDモニタ15の測定値を用いる。光増幅器モジュール16への光入力レベルとPDモニタ15の測定値の関係は、可変光カプラ35の分岐比に依存するため、制御回路37内で、可変光カプラ35の分岐比とPDモニタ15の測定値から、光増幅器モジュール16への入力レベルへの変換処理を行う必要がある。

【0017】

図4に、光可変カプラにおける電圧 - 出力特性を、図5に、光可変カプラにおける電圧 - 損失特性及び分岐比特性の例を示す。

30

ここで、OUT1、OUT2は光可変カプラのスルー方向とブランチ方向の出力レベルであり、IN1は、光可変カプラへの入力レベルであり、Vは可変カプラへの印加電圧をあらわす。

【0018】

図4においては、電圧の変化に伴い、OUT1側の強度とOUT2側の強度が連続的に変化する様子が描かれている。この図から分かるように、OUT1とOUT2の強度の変化の仕方は、必ずしも線形的ではない。図5においては、可変カプラの電圧 - 損失特性が描かれているが、分岐比が大きくなるに従い、損失が大きくなっているのが分かる。したがって、実際には、図5に「使用範囲」として示される範囲で可変光カプラを使用する。

40

【0019】

本発明の実施形態では、可変光カプラ35の分岐比を可変させ、OUT2をPDモニタ15でモニタし、制御回路37内において、OUT2から分岐比特性を用いてOUT1の値の算出を行う。具体的には、制御回路37内にて分岐比特性テーブルをデータベースとして持つこととする。分岐比特性テーブルの例を表1に示す。

【0020】

【表 1】

表1

印加電圧 (V/Vp)	分岐比(OUT1/OUT2)	
	dB	真数
0.05	16.0	39.86
0.10	9.8	9.47
0.15	5.9	3.85
0.20	2.8	1.89
0.25	0.0	1.00
0.30	-2.8	0.53
0.35	-5.9	0.26
0.40	-9.8	0.11
0.45	-16.0	0.03

10

20

【0021】

OUT2 (すなわち、図2のPDin) と、印加電圧と分岐比(表1)の関係から、OUT1、すなわちPinを計算する。なお、分岐比特性は、線形補間により計算するものとする。

【0022】

上記により得られた光増幅器モジュール16への入力レベルPinを、アンプの入力ダイナミックレンジ内の制御目標値Ptgtに一致するように制御を行う。ここで、制御目標値Ptgtは、光増幅器モジュール16の入力ダイナミックレンジ内であれば伝送は可能となるが、システムのパフォーマンスを向上させるためには、OSNRが最良となるようにPtgtを設定すべきである。

30

【0023】

このため、最適な入力レベルの算出を行う。制御回路37は、光増幅器モジュール16のNF値のデータベースを持つ。このNF値は、Pin対NFのテーブルとして保存されている(以下、NFマスクという)。表2に、NFマスクの例を示す。

【0024】

【表 2】

表2

Pout [dBm/ch]	EDFA01			EDFA02		
	Pin [dBm/ch]	NF [dB]	Ptgt	Pin [dBm/ch]	NF [dB]	Ptgt
+3.0	-25.0	8.0	-22.5	-23.0	8.5	-21.4
	-24.0	8.5		-22.0	9.5	
	-23.0	9.0		-21.0	10.0	
	-22.0	10.0		-20.0	11.0	
	-21.0	11.5		-19.0	12.5	
	-20.0	14.0		-18.0	15.0	
+2.0	-25.0	8.5	-22.4	-23.0	9.0	-21.3
	-24.0	9.0		-22.0	10.0	
	-23.0	9.5		-21.0	10.5	
	-22.0	10.5		-20.0	11.5	
	-21.0	12.0		-19.0	13.0	
	-20.0	14.5		-18.0	15.5	

10

20

Pout [dBm/ch]	EDFA03			EDFA04		
	Pin [dBm/ch]	NF [dB]	Ptgt	Pin [dBm/ch]	NF [dB]	Ptgt
+3.0	-21.0	9.0	-20.5	-19.0	9.5	-19.5
	-20.0	10.5		-18.0	11.5	
	-19.0	11.0		-17.0	12.0	
	-18.0	12.0		-16.0	13.0	
	-17.0	13.5		-15.0	14.5	
	-16.0	16.0		-14.0	17.0	
+2.0	-21.0	9.5	-20.4	-19.0	10.0	-19.4
	-20.0	11.0		-18.0	12.0	
	-19.0	11.5		-17.0	12.5	
	-18.0	12.5		-16.0	13.5	
	-17.0	14.0		-15.0	15.0	
	-16.0	16.5		-14.0	17.5	

30

40

【 0 0 2 5 】

表 2 において、EDFA01～EDFA04 は、光増幅器モジュールのタイプを表し、Pout の +3.0 と +2.0 は、異なる出力パワーレベルを与える光増幅器モジュールの異なるモードを示す。表 2 に明示されていない NF 値は、線形補間により計算するものとする。また、出力パワーレベルによって光増幅器モジュールの NF 値は変動するため、NF マスクは光増幅器の出力パワーの値に応じて複数モード分用意する。

【 0 0 2 6 】

式 (1) に光増幅器ユニットの OSNR を表す式を示す。

50

$$OSNR = Pin - NF - 10 \log(h f) \quad (1)$$

ここで、OSNR (dB) は、光増幅器ユニットでの光 S/N 比、Pin (dBm/c h) は、光増幅器モジュールへの入力レベル、f (Hz) は、ASE 光帯域幅、h (Js) は、プランク定数、(Hz) は、光周波数である。

【0027】

ここで、光増幅器ユニットの OSNR を最大にする Pin を考える。式 (1) より、

【0028】

【数1】

$$\frac{dOSNR}{dPin} = 1 - \frac{dNF(Pin)}{dPin} \quad (2) \quad 10$$

【0029】

式 (2) より、

【0030】

【数2】

$$\frac{dNF(Pin)}{dPin} = 1 \quad (3) \quad 20$$

【0031】

このときの Pin を光増幅器モジュールへの入力パワーレベルの制御目標値とする。これより、NF カーブの傾きが 1 となる点が、制御目標値 Ptgt となることが分かる。

上記により制御目標値を求めることができるが、各 NF マスクに対し、目標値の計算結果は固定値となるため、制御回路 37 での処理上は、あらかじめ上記目標値を計算しておき、値を NF マスクのテーブル 36 に記録しておくこととする。

【0032】

制御回路 37 は、光増幅器モジュールのタイプ、モード、出力パワーレベルから、該当する NF マスクを選択し、NF 値、及び制御目標値を取得する。 30

上記から、制御目標値 Ptgt、及び光増幅器モジュールへの入力レベル Pin が求まる。これより、Pin を Ptgt へ調整する制御を行う。Pin の目標値への制御は、大別して下記の 2 つのパターンに分かれる。

【0033】

場合 (1) (Pin > Ptgt) : 光可変カブラ 35 により Pin を Ptgt まで調整するように制御を行う。

場合 (2) (Pin < Ptgt) : Pin が Ptgt より小さいため、目標値への制御はできない。この場合は、光可変カブラの損失が最小となるように制御する。

【0034】

具体的な制御方法を、図 3 の制御フローに示す。以下、図 3 制御フローに従い、制御の流れを説明する。 40

始めに、ステップ S10 において、可変カブラへの印加電圧に主信号ロスが最小となる値を設定する。次に、下記 2 つの並行処理を行う。

a. 光増幅器モジュールのタイプ、モード、Pout から、NF マスクを選択し (ステップ S11)、それに対応した OSNR が最良となる制御目標値 Ptgt を求める (ステップ S12)。

b. 可変カブラからの分岐光 OUT2 をモニタし (ステップ S13)、Pin を計算する (ステップ S14)。

【0035】

次に、 $P_{in} \cdot P_{tgt}$ の大小を比較する(ステップS15)。 $P_{in} < P_{tgt}$ (上記、場合(2))の場合、可変光カプラ35への印加電圧は初期値(主信号ロス:最小)のままとし、 P_{in} のレベル調整は終了とする。 $P_{in} > P_{tgt}$ の場合(上記、場合(1))は、下記処理に進む。

【0036】

次に、 P_{in} と P_{tgt} が一致しているか否かを確認する(ステップS16)。ここで、 P_{in} 調整目標値からの許容誤差として、 P_{err} を定義する。これは、 P_{tgt} からの許容可能な制御上のずれを定義するものである。下記条件式が成り立つ場合、許容誤差範囲内として P_{in} のレベル調整は終了とする。

$$|P_{in} - P_{tgt}| \leq P_{err} \quad (4)$$

10

それ以外の場合は、 $P_{in} \cdot P_{tgt}$ の大小を比較する(ステップS17)。

【0037】

$P_{in} > P_{tgt}$ となる場合、可変光カプラ35の主信号側透過損失 L_1 がその最大値 L_{1max} より小さいか否かを判断する(ステップS18)。ステップS18の判断がNOの場合には、ステップS19において、 L_1 が L_{1max} より大きいか否かを判断し、大きくない場合には、可変カプラの主信号側透過損失が最大となる場合は、それ以上のレベル補正は不可能であるため、処理を終了し、大きい場合には、ステップS20において、 $L_1 = L_{1max}$ として、処理を終了する。

【0038】

ステップS18の判断がYESの場合には、印加電圧を上昇し、カプラの主信号(OUT1)側のロスを増加させる(ステップS21)。このとき、図5のように可変カプラにおける電圧-損失特性は電圧値により大きく異なるので、損失の変化が一定となるように、印加電圧の増加量は電圧値により可変させる。すなわち、印加電圧の変化量を V とすると、 $V = a(V) \times (P_{in} - P_{tgt})$ とする。すなわち、印加電圧の値 V によって変化する電圧可変係数 $a(V)$ によって、損失の変化が一定になるような印加電圧値 $V' = V + V$ を得る。そして、ステップS26に進む。

20

【0039】

ステップS17の判断がNO、すなわち、 $P_{in} < P_{tgt}$ となる場合は、ステップS22において、 L_1 が L_1 の最小値より大きいか否かを判断する。ステップS22の判断がNOの場合には、ステップS23において、 L_1 が L_{1min} より小さいか否かを判断し、小さくない場合には、可変カプラの主信号側透過損失が最小となる場合は、それ以下のレベル補正は不可能であるため、処理を終了し、小さい場合には、ステップS24において、 $L_1 = L_{1min}$ として処理を終了する。

30

【0040】

ステップS22の判断が、YESの場合には、ステップS25において、印加電圧を下降させ、カプラの主信号(OUT1)側のロスを減少させる。すなわち、 $P_{in} > P_{tgt}$ の場合と同様、損失の変化が一定となるように、印加電圧の増加量は電圧値により可変させる。特に、 V は、電圧可変係数 $a(V)$ を用いて、 $V = -a(V) \times (P_{in} - P_{tgt})$ とし、変更後の印加電圧 V' を $V' = V + V$ で求める。そして、ステップS26に進む。

40

【0041】

ステップS26においては、可変光カプラ35からの分岐光OUT2をPDモニタ15で測定し、ステップS27において、可変光カプラ35の分岐比特性(図4)を用いて、 $P_{in} (= OUT1)$ を計算する。この場合、 $d(V)$ を分岐比として、以下の式に基づいて計算する。

【0042】

$$P_{in} = PD_{in} + d(V)$$

ステップS27の後には、ステップS16に戻って、制御を繰り返す。

以上の処理により、 P_{in} のレベルは最適値に調整される。

【0043】

50

図 6 に、光増幅器モジュールの入力制御時の光増幅器モジュール・PD 入力レベル特性を示す。

図 6 のように、光増幅器モジュール 16 への入力レベル (図 2 の Pin) は、可変光カプラ 35 の分岐比を制御することで目標値に保たれる。このときの可変光カプラ損失特性を図 7 に示す。

【 0 0 4 4 】

図 6 においては、最初 (1) の線に沿って変化していた Pin は、(3) の部分に来て、一定値に設定され、この一定値と Pin の最小値が一致したところで、(2) に移り、更に上昇していく。図 7 においては、OUT1 は、最小分岐損 L_{1min} であったが、IN1 が 0 dBm/ch になったところで、直線的に最大分岐損になるまで制御される。IN1 が最大分岐損に至った場合には、この値を保持する。一方の OUT2 は、最大分岐損であったものが、非線形に減少し、最小分岐損にいたる。

【 0 0 4 5 】

図 8 に、伝送システムにおける信号光、ASE 光の状態を示す。

上記にて述べた手法では、OSNR が良いシステム (ASE 発生量が少ない)、または、多波長時には問題ない。しかし、OSNR が少ないシステム、または、少数波長時には、ASE による光レベル測定誤差の発生が問題となる。これは、Pin の測定に PD モニタの測定値 (= 信号光と ASE 光の合計値) を使っているため、少数波長時や ASE 発生量が多い場合は、ASE 光による誤差が問題となる。具体的には、図 2 の PD モニタ 15 により測定されるレベルは、主信号の他に光増幅器で発生する ASE 光を含んでいる。これに対し、光増幅器ユニットが通常持っている NF マスクは、信号光のパワーに対して規定されている。このため PD 15 にて測定される値をそのまま制御に用いると、正確な NF 値が参照されないため、OSNR が最適値となる光増幅器入力レベルから誤差が生じることとなる。

【 0 0 4 6 】

本発明の実施形態では、1 つ以上の光増幅器ユニットを上流側に持つ、中継局及び受信局の光増幅器ユニットにおいて、1 つ上流側の光増幅器モジュール出力端における ASE パワーに関する情報を受け取り、これと PD 15 にて測定されたトータル入力パワーから、ASE による誤差が補正された信号光パワーを算出する。

【 0 0 4 7 】

ASE 発生量の伝達には、監視制御用チャネルである OSC (Optical Supervisory Channel) を使用する。図 2 のように、光カプラ 12 にて OSC 光を取り込み、ASE 発生量の情報を得る。更に、光増幅器モジュール内で発生する ASE 量を計算し、OSC 光を通して 1 つの下流の光増幅器に伝達する。

【 0 0 4 8 】

一般に、ASE 発生量は、式 (5) にて計算できる。

$$P_{ASE} = 10 \log (NFh (G - 1) B_{ASE}) \quad (5)$$

ここで、G は、信号光に対する増幅率、NF は、光増幅器モジュールのノイズ指数、h (Js) は、プランク定数、(Hz) は、光周波数、 B_{ASE} (Hz) は、ASE 光帯域幅である。

【 0 0 4 9 】

ここで、式 (5) の NF は Pin の関数である (以降、 $NF(Pin)$ と書く)。この Pin には、図 2 のモニタ PD 15 で測定される値から ASE 光を除いた値を用いる必要がある。この計算を行うため、下記の手順に従い送信光増幅器から順に計算を行う。

【 0 0 5 0 】

図 8 において、ノード 1 の光増幅器ユニット入力では、光増幅器モジュールによる ASE 光の発生は無い (図 8 の (1))。このため ASE を考慮した補正は行わず、モニタ PD 15 の値を Pin とする。次に、 $NF(Pin)$ を NF マスクにより求め、式 (5) により $P_{ASE}(1)$ を計算する。(以下、ノード番号 1、2、3、・・・を用いて各ノードにおける変数を $P_{ASE}(1)$ 、 $P_{ASE}(2)$ 、・・・のように書く)。次に、ノード 2 の中

10

20

30

40

50

継光増幅器(1)の入力(図8の(2))を考えると、上流の光増幅器によるASEが含まれているため、OSCによって得た $P_{ASE}(1)$ から、スパンロスによる劣化を考慮してノード2の光増幅器入力におけるASE量を計算する。この場合、(式6)を用いる。

【0051】

$$P_{ASE}(2) = P_{ASE}(1) - SL(1) \quad (6)$$

ここで、 $SL(dB)$ は、スパンロスである。

これにより、ノード2の中継光増幅器(1)のASEを除いた入力レベル $P_{in}(2)$ は、 $P_{in_total}(2)$ (図2のPD15での測定値)を用いて式(7)で計算できる。

$$P_{in}(2) = P_{in_total}(2) - P_{ASE}(2) \quad (7)$$

式(7)で求めた $P_{in}(2)$ により $NF(P_{in})$ を求め、式(5)により $P_{ASE}(2)$ を求める。この値を、OSCを使って1つ下流の光増幅器へ伝達する。

【0052】

以降、中継光増幅器(2)、(3)、・・・でこれを繰り返すことで、各ノードにおいて、光増幅器入力のPD(図2のPD15)で測定した光増幅器入力パワー： $P_{in_total}(n)$ (n :ノード番号)から、ASE量を除いた $P_{in}(n)$ を求めることができる。これにより、OSNRが最良となる光増幅器入力レベルの制御において、ASE量を除いた $P_{in}(n)$ を用いることで、ASEによる測定誤差を補正し、OSNRを最適化することが実現できる。

【0053】

図9～図12は、本発明の実施形態に使用可能な可変光カプラの構成例を示した図である。

可変光カプラとして、マッハツェンダ干渉計構成で、電気光学効果を利用したカプラ(図9)を適用することを考える。電気光学効果とは、電圧を印加することにより屈折率が変化する効果で、これを用い、図9のように、光路の屈折率(光路長)を変化させる。これにより、干渉状態を変化させ、分岐比の可変を行うことができる。

【0054】

電気光学効果の代わりに、熱光学効果を利用したマッハツェンダ干渉計構成の可変光カプラを用いても良い。図10のように、温度の高低により屈折率を変化させることで、分岐比を変化させ、目標値へのレベル調整を行う。温度を変化させる方法としては、薄膜ヒータや、ペルチェ素子等を使う方法が考えられる。

【0055】

また、2本の光ファイバのコアを近接させ、それぞれの光ファイバのモード結合を発生させることで、光パワーの分岐を行うカプラを用いることを考える。分岐比は、コア間が近接している距離(結合長)により変化させることができるが、図11のように、電気光学効果を利用し、光路の屈折率を変化させ光路長を変えることで、光パワーの分岐比を調節する可変光カプラを使用する。

【0056】

また、モード結合を利用した可変カプラにおいて、電気光学効果ではなく、熱光学効果を利用したものを用いてもよい。図12のように、薄膜ヒータやペルチェ素子等で温度を変化させ、これにより光路の屈折率を変化させて分岐比を調節する可変光カプラを使用する。

【0057】

以上のような可変光カプラのほかに、MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)を利用したカプラを利用することが可能である。MEMSとは、主に、半導体の製造技術を用いて1つの基板上に電子と機械機構を融合させた微小デバイスであり、これにより、極小の可動ミラー等を用いて電圧制御等により分岐比の可変が可能な光カプラを構成する。このようなMEMSを用いた可変光カプラでも本発明の実施形態に使用可能である。

【0058】

以下に、具体的数値例を示す。

10

20

30

40

50

(1) 本発明の実施形態における光レベルの遷移

条件：光増幅器モード：EDFA01（表2参照）、 $V_{ini} = 0.083V$ 、 $P_{out} : +3.0dBm/ch$ 、 $P_{err} : 0.1dB$ 、 $L_{1max} : 12.1dB$ 、 $L_{1min} : 0.6dB$ 、1波伝送

光増幅器タイプ：EDFA01、 $P_{out} = +3.0dBm/ch$ より、表2から、 $P_{tgt} = -22.5dBm/ch$

図3の制御フローに従い、図1の構成の装置において処理を行った場合について、初期状態からレベル調整終了までの値の遷移を図13の表3に示す。

【0059】

また、上記実施形態では、可変光カブラの分岐比を自動で制御することを前提に説明したが、必ずしも自動でなくても良く、手動で分岐比を制御することも可能である。

図14は、可変光カブラの分岐比を手動で可変し、OSNRを最適に保つための光増幅器ユニットの構成を示す図である。同図において、図2と同じ構成要素には、同じ参照符号を付して、説明を省略する。

【0060】

上記OSNR最適値への光レベルの調整は、光増幅器モジュール16の出力に光カブラ42を追加し、これにスペクトルアナライザ40等を接続して、出力スペクトルを実測し、光S/Nが最適値となるように光増幅器モジュール入力の手動調整を行っても良い。手動調整の入力は、制御回路37'に接続された端末41から行う。

【0061】

ここで、従来法（図17）と本発明（図2）の構成を比較し、光部品損失の差異を説明する。本発明の実施形態では光レベル調整の手法として、可変光カブラを使用する。可変光カブラは、図2のように、従来法では分岐比固定の光カブラを用いていた、PDモニタへの分岐箇所配置する。

【0062】

図15は、本発明の実施形態と従来法の性能の比較を行った図である。

下記に、従来法と本発明の実施形態のUPin~Pin間の損失をまとめた。従来法では、光カブラ2つと可変ATT、本発明の実施形態では、光カブラを1つと可変カブラを1つ使っているが、これらのカブラについての分岐損、デッドロスの合計値はほぼ同じで、それぞれの損失値を、（0.6dB程度）とする。また、可変ATTの損失を、（1.5dB~2.5dB程度）とする。以上より、従来法・本発明の差分は、可変ATTの損失：であり、この損失分だけノードOSNRに差が発生する。すなわち、図15（a）に示されるように、従来法に比べ、本発明の実施形態の場合の方が、可変ATTの分だけ損失が小さくなっており、従って、NFの上昇の仕方が小さくなっている。また、図15（b）に示すように、従来法に比べ、本発明の実施形態の方が、可変ATTの分だけ、OSNRがよくなっている。

【0063】

表4に、上記したことをまとめる。

【0064】

10

20

30

【表 3】

表4

	従来法		本発明	
	光カプラ×2	可変ATT	可変光カプラ + 光カプラ	可変ATT
分岐損	β	-	β	-
デッドロス	γ	α	γ	-

10

【0065】

本発明の実施形態では、従来法と本発明の実施形態の差分である可変ATTの損失によって生じるOSNRの差分だけ、より長距離のシステムが設計可能となる。具体的には、可変ATTの損失分をスパンロスに置き換えて考えると、スパン数：15の長距離伝送システムの場合、ロス係数：0.2 [dB/km]、デッドロス：2.0 [dB]として、 $2.0 \div 0.2 [dB/km] \times 15 = 150 [km]$ の改善となる。また、特に、図18の領域(A)のように、OSNRと損失が1対1に対応する場合には、可変ATTの損失分がそのままOSNRの改善となるため、スパン数が $10^{(2/10)} = 1.58$ 倍だけ増加する。スパン数：15、スパン100kmの伝送システムの場合、1500 [km] 2520 [km]への改善となる。

20

【0066】

また、図15の光増幅器ユニットのNF/OSNR特性では、上述のように、光増幅器ユニットにて光増幅器モジュールの入力レベルが一定となるよう調整を行っている。このため、入力ダイナミックレンジが、モジュール特性(図16)に比べ拡大している。また、図15(b)では、領域(B)において、図16(b)、図18(b)とは異なりOSNR一定となっているが、これは、光増幅器ユニットにて、OSNRが最大となる制御目標値にPinを調整しているためである。

30

【0067】

(付記1)

光信号を増幅する光増幅手段と、

分岐比を可変でき、該光増幅手段への入力を分岐し、一方を該光増幅手段に入力し、他方を光強度の測定のために供給する可変光分岐手段と、

該可変光分岐手段によって分岐された該他方の光強度を検出し、該光増幅手段に入力される光強度を検出し、該光増幅手段への入力光レベルを該可変光分岐手段の分岐比を制御することで調整し、該光増幅手段の信号対雑音比を制御する制御手段と、

を備えることを特徴とする光伝送装置。

【0068】

(付記2)

前記光増幅手段への入力光の内の雑音成分を見積もり、該光増幅手段からの出力される光信号レベルが目標値となるように前記可変分岐手段の分岐比を制御することを特徴とする付記1に記載の光伝送装置。

40

【0069】

(付記3)

前記可変分岐手段は、電気光学効果を利用した、分岐比を可変できるカプラであることを特徴とする付記1に記載の光伝送装置。

【0070】

(付記4)

50

前記可変分岐手段は、熱光学効果を利用した、分岐比を可変できるカプラであることを特徴とする付記 1 に記載の光伝送装置。

【 0 0 7 1 】

(付記 5)

前記可変分岐手段は、MEMS を利用した、分岐比を可変できるカプラであることを特徴とする付記 1 に記載の光伝送装置。

【 0 0 7 2 】

(付記 6)

前記可変分岐手段は、マッハツェンダ型の構成を採用したカプラであることを特徴とする付記 1 に記載の光伝送装置。

【 0 0 7 3 】

(付記 7)

前記可変分岐手段は、伝送路のコアを近接させモード結合を発生させることで光パワーの分岐を行うカプラであることを特徴とする付記 1 に記載の光伝送装置。

【 0 0 7 4 】

(付記 8)

前記制御手段の制御の内、前記可変分岐手段の分岐比の制御は、前記光増幅手段の出力光のスペクトルを実測した結果を使用することによって得られる信号対雑音比を改善するように、手動で行われることを特徴とする付記 1 に記載の光伝送装置。

【 0 0 7 5 】

(付記 9)

光信号を増幅する光増幅ステップと、
分岐比を可変でき、該光増幅ステップでの増幅のための入力を分岐し、一方を該光増幅ステップの増幅に使用し、他方を光強度の測定のために供給する可変光分岐ステップと、
該可変光分岐ステップによって分岐された該他方の光強度を検出し、該光増幅ステップで増幅に用いられる光入力強度を検出し、該光増幅ステップの増幅に使用する入力光レベルを該可変光分岐ステップにおける分岐比を制御することで調整し、該光増幅ステップにおける信号対雑音比を制御する制御ステップと、
を備えることを特徴とする光増幅制御方法。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 7 6 】

【 図 1 】 本発明の実施形態が適用されるシステム構成図である。

【 図 2 】 本発明の実施形態に従った光増幅器ユニットの構成図である。

【 図 3 】 本発明の実施形態に従った制御フローを示す図である。

【 図 4 】 光可変カプラにおける電圧 - 出力特性の例を示す図である。

【 図 5 】 光可変カプラにおける電圧 - 損失特性及び分岐比特性の例を示す図である。

【 図 6 】 光増幅器モジュールの入力制御時の光増幅器モジュール・PD 入力レベル特性を示す図である。

【 図 7 】 可変光カプラ損失特性を示す図である。

【 図 8 】 伝送システムにおける信号光、ASE 光の状態を示す。

【 図 9 】 本発明の実施形態に使用可能な可変光カプラの構成例を示した図 (その 1) である。

【 図 1 0 】 本発明の実施形態に使用可能な可変光カプラの構成例を示した図 (その 2) である。

【 図 1 1 】 本発明の実施形態に使用可能な可変光カプラの構成例を示した図 (その 3) である。

【 図 1 2 】 本発明の実施形態に使用可能な可変光カプラの構成例を示した図 (その 4) である。

【 図 1 3 】 図 3 の制御フローに従い、図 1 の構成の装置において処理を行った場合について、初期状態からレベル調整終了までの値の遷移を示す表の図である。

10

20

30

40

50

【図14】可変光カプラの分岐比を手動で可変し、OSNRを最適に保つための光増幅器ユニットの構成を示す図である。

【図15】本発明の実施形態と従来法の性能の比較を行った図である。

【図16】従来の技術を説明する図(その1)である。

【図17】従来の技術を説明する図(その2)である。

【図18】従来の技術を説明する図(その3)である。

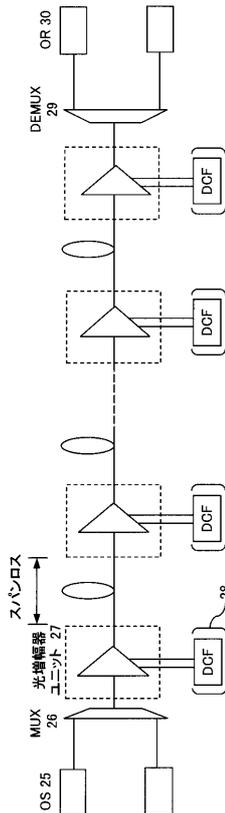
【符号の説明】

【0077】

- 12、17、19 光カプラ
- 13 光電気変換器
- 15、18 PDモニタ
- 16 光増幅器モジュール
- 20 電気光変換器
- 27 光増幅器ユニット
- 35 可変光カプラ
- 36 光増幅器NFデータ(NFマスク)
- 37 制御回路

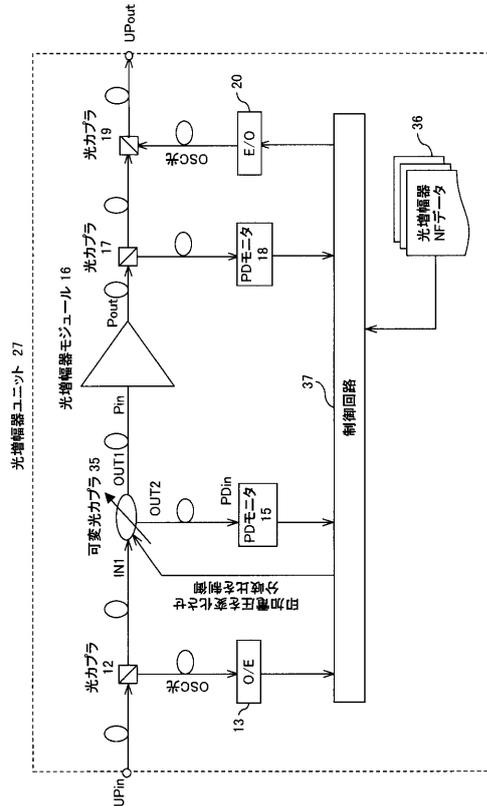
【図1】

本発明の実施形態が適用されるシステム構成図



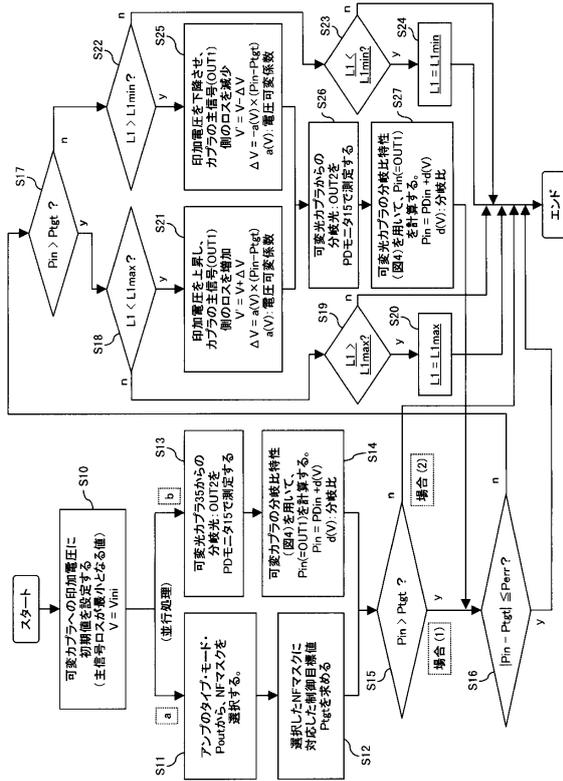
【図2】

本発明の実施形態に従った光増幅器ユニットの構成図



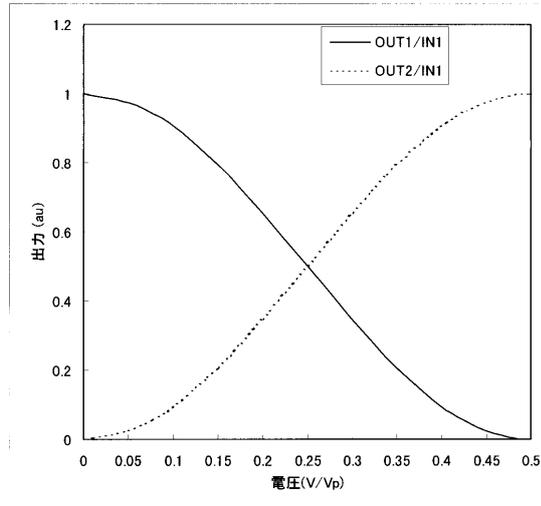
【 図 3 】

本発明の実施形態に従った制御フローを示す図



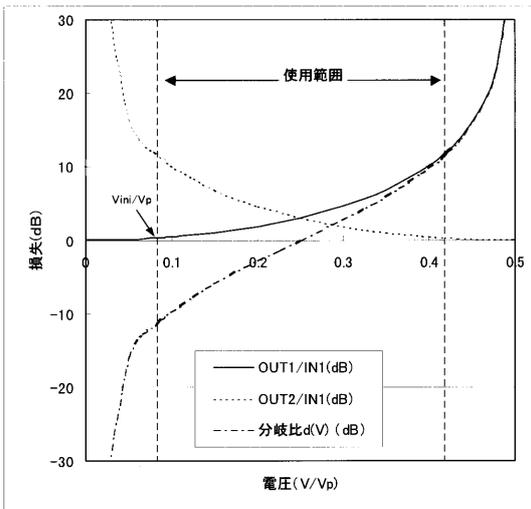
【 図 4 】

光可変カプラにおける電圧-出力特性の例を示す図



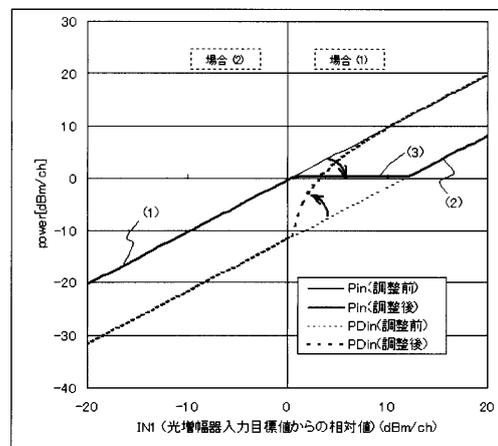
【 図 5 】

光可変カプラにおける電圧-損失特性及び分岐比特性の例を示す図



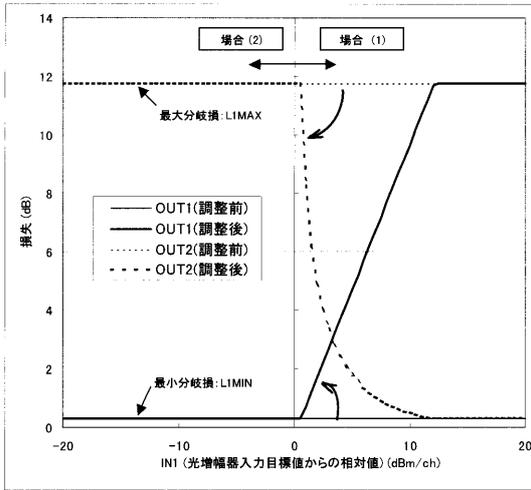
【 図 6 】

光増幅器モジュールの入力制御時の光増幅器モジュール・PD入力レベル特性を示す図



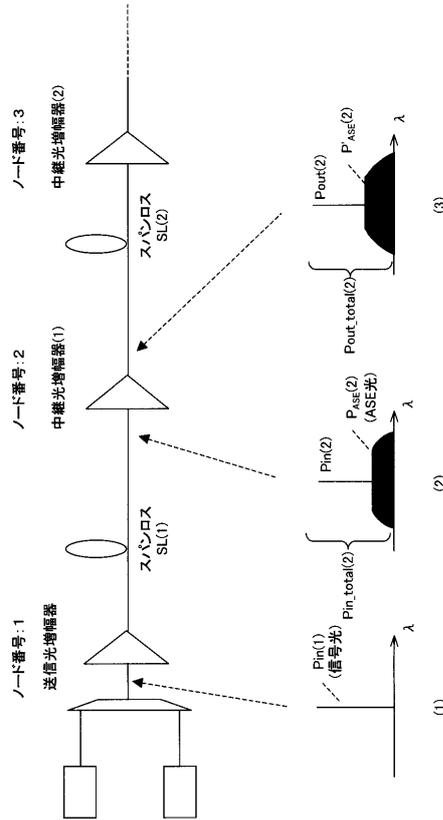
【 図 7 】

可変光カプラ損失特性を示す図



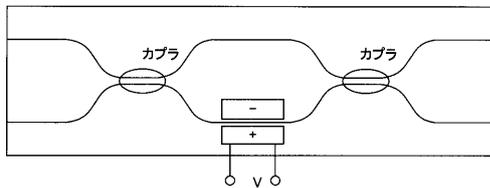
【 図 8 】

伝送システムにおける信号光、ASE光の状態を示す



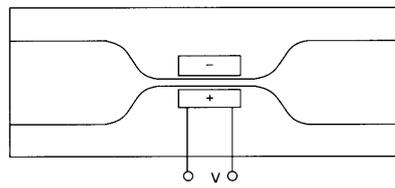
【 図 9 】

本発明の実施形態に使用可能な可変光カプラの構成例を示した図(その1)



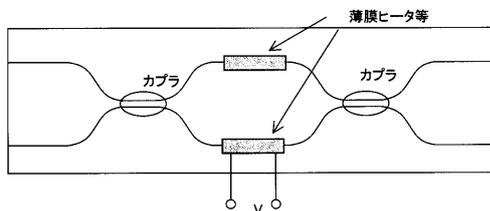
【 図 1 1 】

本発明の実施形態に使用可能な可変光カプラの構成例を示した図(その3)



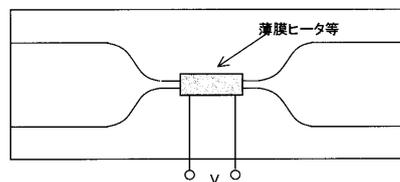
【 図 1 0 】

本発明の実施形態に使用可能な可変光カプラの構成例を示した図(その2)



【 図 1 2 】

本発明の実施形態に使用可能な可変光カプラの構成例を示した図(その4)



【図13】

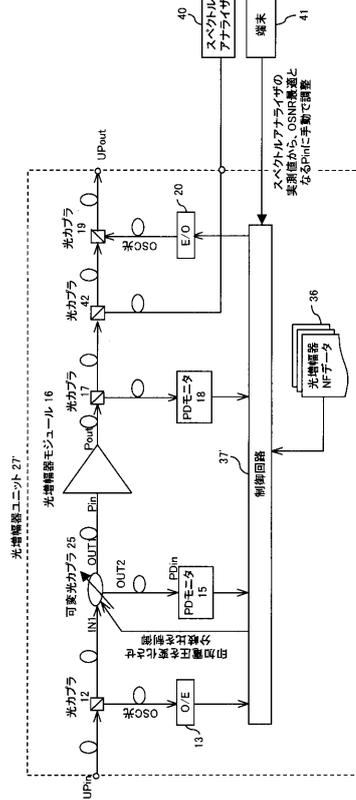
図3の制御フローに従い、図1の構成の装置において処理を行った場合について、初期状態からレベル調整終了までの値の遷移を示す表の図

表3

Time	UPin	V	INI	OUT1	OUT2	PD0in	Pin	Pout	PF2in	UPout	Pqt	Pin-Pqt	a(V)	ΔV
a.u.	dBm	V	dBm	dBm	dBm	dBm	dBm	dBm	dBm	dBm	dBm	dB	a(V)	V
1	-19.8	0.083	-20.4	-21.0	-32.5	-32.5	-21.0	3.0	-10.6	1.8	-22.5	1.5	0.0470	0.071
2	-19.8	0.154	-20.4	-21.8	-27.4	-27.4	-21.8	3.0	-10.6	1.8	-22.5	0.7	0.0268	0.020
3	-19.8	0.173	-20.4	-22.1	-26.5	-26.5	-22.1	3.0	-10.6	1.8	-22.5	0.4	0.0232	0.008
4	-19.8	0.183	-20.4	-22.3	-26.1	-26.1	-22.3	3.0	-10.6	1.8	-22.5	0.2	0.0215	0.005
5	-19.8	0.188	-20.4	-22.3	-25.9	-25.9	-22.3	3.0	-10.6	1.8	-22.5	0.2	0.0206	0.003
6	-19.8	0.191	-20.4	-22.4	-25.7	-25.7	-22.4	3.0	-10.6	1.8	-22.5	0.1	0.0200	0.001
7	-19.8	0.193	-20.4	-22.4	-25.6	-25.6	-22.4	3.0	-10.6	1.8	-22.5	0.1	0.0196	0.001
8	-19.8	0.195	-20.4	-22.5	-25.5	-25.5	-22.5	3.0	-10.6	1.8	-22.5	0.0	0.0194	0.001

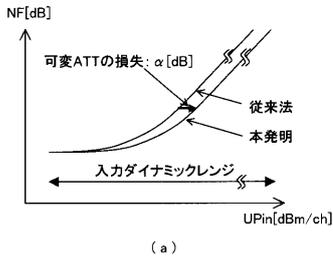
【図14】

可変光カプラの分岐比を手動で可変し、OSNRを最適に保つための光増幅器ユニットの構成を示す図



【図15】

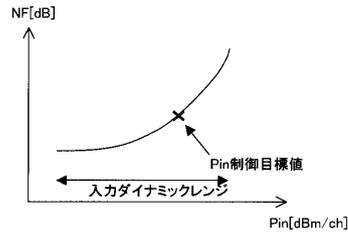
本発明の実施形態と従来法の性能の比較を行った図



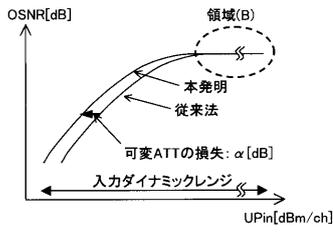
(a)

【図16】

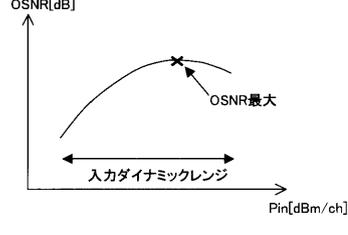
従来技術を説明する図(その1)



(a)



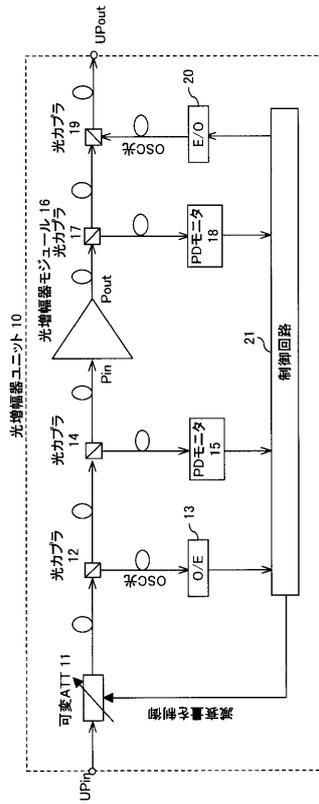
(b)



(b)

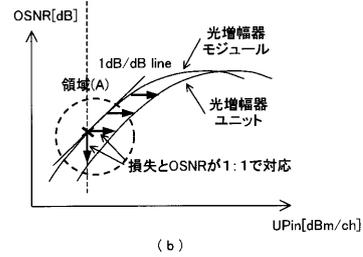
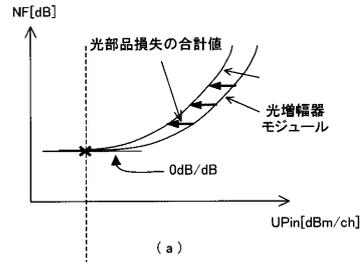
【図 17】

従来の技術を説明する図(その2)



【図 18】

従来の技術を説明する図(その3)



フロントページの続き

- (72)発明者 藤田 武弘
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 関屋 元義
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 杉田 翠

- (56)参考文献 特開2000-244417(JP,A)
特開平05-303125(JP,A)
特開平11-002850(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01S 3/00 - 3/02、
3/04 - 3/0959、
3/098 - 3/102、
3/105 - 3/131、
3/136 - 3/213、
3/23 - 3/30、
4/00