

(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2006-295113

(P2006-295113A)

(43) 公開日 平成18年10月26日(2006.10.26)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 S 3/10 (2006.01)	HO 1 S 3/10 Z	2 K O O 2
HO 1 S 3/06 (2006.01)	HO 1 S 3/06 B	5 F 1 7 2
HO 4 B 10/02 (2006.01)	HO 4 B 9/00 M	5 K 1 O 2
HO 4 B 10/18 (2006.01)	HO 4 B 9/00 J	
HO 4 B 10/16 (2006.01)	HO 4 B 9/00 E	

審査請求 未請求 請求項の数 30 O L (全 60 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2005-286608 (P2005-286608)  
 (22) 出願日 平成17年9月30日 (2005. 9. 30)  
 (31) 優先権主張番号 特願2005-71044 (P2005-71044)  
 (32) 優先日 平成17年3月14日 (2005. 3. 14)  
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(71) 出願人 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 西原 真人  
 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 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 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

最終頁に続く

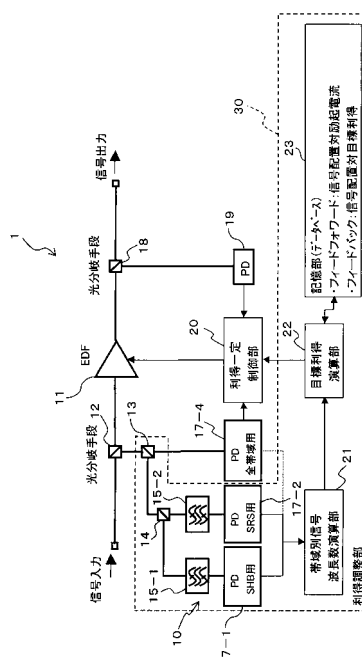
(54) 【発明の名称】 光増幅器の制御装置及び制御方法並びに光増幅器、光伝送装置及び帯域単位利得等化器並びに同等化器を用いた波長多重伝送装置、光増幅器及び波長多重伝送システム

(57) 【要約】

【課題】 簡易な構成で、かつ、雑音特性を劣化させることなく、SHBやSRSによる信号光レベルの過渡変動を高速に抑圧することで、光増幅器の更なる多段化を可能とし、ひいては、光分岐挿入装置を含む伝送システムの長距離化を図れるようにする。

【解決手段】 利得一定制御部20と、光増幅器1への入力光の信号波長帯域を、少なくとも、信号波長数減少時において、光増幅器1の出力光パワーが減少傾向にある帯域と、主に利得一定制御部20による利得制御の波長偏差に起因して光増幅器1の出力光パワーが変化する利得偏差帯域を含む帯域とに分割し、分割帯域別に入力光パワーをモニタする帯域別入力光モニタ部10と、そのモニタ結果に基づいて上記各分割帯域の信号波長数をそれぞれ求める帯域別信号波長数演算部21と、その演算結果に基づいて利得一定制御部20で用いる前記目標利得を補正する目標利得補正部22とをそなえるように構成する。

【選択図】 図2



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

光増幅器の入出力光パワーと目標利得とに基づいて該光増幅器の利得を一定制御する利得一定制御部と、

該光増幅器への入力光の信号波長帯域を、少なくとも、信号波長数減少時において、該光増幅器の出力光パワーが減少傾向にある帯域と、当該帯域以外の信号波長帯域であって主に該利得一定制御部による利得制御の波長偏差に起因して該光増幅器の出力光パワーが変化する利得偏差帯域を含む帯域とに分割し、それぞれの分割帯域別に該光増幅器への入力光パワーをモニタする帯域別入力光モニタ部と、

該帯域別入力光モニタ部によるモニタ結果に基づいて上記各分割帯域の信号波長数をそれぞれ求める帯域別信号波長数演算部と、

信号波長数変動時において該帯域別信号波長数演算部による演算結果に基づいて該利得一定制御部で用いる前記目標利得を補正する目標利得補正部とをそなえたことを特徴とする、光増幅器の制御装置。

10

## 【請求項 2】

該帯域別入力光モニタ部が、

上記出力光パワーが減少傾向にある帯域としてスペクトラルホールバーニング (S H B) 効果が支配的な S H B 帯域と、該利得偏差帯域と、上記出力光パワーが減少傾向にある別の帯域として該光増幅器の出力伝送路で生じる誘導ラマン散乱 (S R S) 効果が支配的な S R S 帯域とに 3 分割して、それぞれの入力光パワーをモニタすべく構成されたことを

20

## 【請求項 3】

該信号波長帯域が C バンドであり、該 S H B 帯域が 1 5 3 0 ~ 1 5 4 0 n m、該 S R S 帯域が 1 5 5 5 ~ 1 5 6 5 n m、該利得偏差帯域がこれらの S H B 帯域及び S R S 帯域に挟まれた帯域であることを特徴とする、請求項 2 記載の光増幅器の制御装置。

## 【請求項 4】

該帯域別信号波長数演算部が、

上記各分割帯域別の入力光パワーモニタ値をそれぞれ信号波長 1 波長あたりの設計信号光パワーで除算し、その値が 2 の n 乗に最も近い値を上記各分割帯域の信号波長数として決定すべく構成されたことを特徴とする、請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の光増幅器

30

## 【請求項 5】

上記信号波長数の決定に用いる閾値が上記各分割帯域の出力光パワー変動の特徴に基づいて設定されることを特徴とする、請求項 4 記載の光増幅器の制御装置。

## 【請求項 6】

上記出力光パワーが減少傾向にある帯域についての上記閾値が、上記の利得偏差帯域を含む帯域についての閾値よりも小さく設定されることを特徴とする、請求項 5 記載の光増幅器の制御装置。

## 【請求項 7】

該目標利得補正部が、

該帯域別信号波長数演算部による演算結果から上記出力光パワーが減少傾向にある帯域の信号波長数が所定数以下に減少したことを認識すると、前記目標利得を増加すべく構成されたことを特徴とする、請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の光増幅器の制御装置。

40

## 【請求項 8】

該目標利得補正部が、

該帯域別信号波長数演算部による演算結果から上記出力光パワーが減少傾向にある帯域の信号波長数が所定数以上残留している状態で、該利得偏差帯域の信号波長数が所定数以下に減少したことを認識すると、前記目標利得を減少すべく構成されたことを特徴とする、請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の光増幅器の制御装置。

## 【請求項 9】

50

該目標利得補正部が、

信号波長数変動発生時から一定時間経過するまで、該帯域別信号波長数演算部による演算結果に基づいて前記目標利得を更新し、前記一定時間経過後に、前記目標利得を規定の利得値に徐々に近づけるように変更すべく構成されたことを特徴とする、請求項 1 ~ 8 のいずれか 1 項に記載の光増幅器の制御装置。

【請求項 10】

光増幅器の入出力光パワーと目標利得とに基づいて該光増幅器の利得を一定制御する利得一定制御機能を有する光増幅器の制御方法であって、

該光増幅器への入力光の信号波長帯域を、少なくとも、信号波長数減少時において、該光増幅器の出力光パワーが減少傾向にある帯域と、当該帯域以外の信号波長帯域であって主に上記利得制御の波長偏差に起因して該光増幅器の出力光パワーが変化する利得偏差帯域を含む帯域とに分割し、それぞれの分割帯域別に該光増幅器への入力光パワーをモニタし、

そのモニタ結果に基づいて上記各分割帯域の信号波長数をそれぞれ求め、

信号波長数変動時において上記各分割帯域の信号波長数に基づいて上記利得一定制御に用いる前記目標利得を補正することを特徴とする、光増幅器の制御方法。

【請求項 11】

光増幅器の入出力光パワーと目標利得とに基づいて該光増幅器の利得を一定制御する利得一定制御部と、

該光増幅器への入力光の信号波長帯域を、少なくとも、信号波長数減少時において、該光増幅器のチャンネルあたりの出力光パワーが減少傾向にある、または信号波長数増加時において、光増幅器のチャンネルあたりの出力光パワーが増加傾向にある帯域と、当該帯域以外の信号波長帯域であって主に該利得一定制御部による利得制御の波長偏差に起因して該光増幅器のチャンネルあたりの出力光パワーが変化する利得偏差帯域を含む帯域とに分割し、それぞれの分割帯域別に該光増幅器への入力光パワーをモニタする帯域別入力光モニタ部と、

該帯域別入力光モニタ部によるモニタ結果に基づいて上記各分割帯域の信号波長数をそれぞれ求める帯域別信号波長数演算部と、

信号波長数変動時において該帯域別信号波長数演算部による演算結果に基づいて該利得一定制御部で用いる前記目標利得を補正する目標利得補正部とをそなえたことを特徴とする、光伝送装置。

【請求項 12】

該帯域別入力光モニタ部が、

上記チャンネルあたりの出力光パワーが信号波長数減少時には減少傾向、信号波長数増加時には増加傾向にある帯域としてスペクトラルホールバーニング (SHB) 効果が支配的な SHB 帯域と、該利得偏差帯域と、上記チャンネルあたりの出力光パワーが信号波長数減少時には減少傾向、信号波長数増加時には増加傾向にある別の帯域として該光増幅器の出力伝送路で生じる誘導ラマン散乱 (SRS) 効果が支配的な SRS 帯域とに 3 分割して、それぞれの入力光パワーをモニタすべく構成されたことを特徴とする、請求項 11 記載の光伝送装置。

【請求項 13】

該 SHB 帯域が 1530 ~ 1540 nm、該 SRS 帯域が 1555 ~ 1565 nm、該利得偏差帯域がこれらの SHB 帯域及び SRS 帯域に挟まれた帯域であることを特徴とする、請求項 12 記載の光伝送装置。

【請求項 14】

該帯域別信号波長数演算部が、

上記各分割帯域別の入力光パワーモニタ値をそれぞれ信号波長 1 波長あたりの設計信号光パワーで除算し、その値が 2 の n 乗に最も近い値を上記各分割帯域の信号波長数として決定すべく構成されたことを特徴とする、請求項 11 ~ 13 のいずれか 1 項に記載の光伝送装置。

10

20

30

40

50

## 【請求項 15】

上記信号波長数の決定に用いる閾値が上記各分割帯域のチャンネルあたりの出力光パワー変動の特徴に基づいて設定されることを特徴とする、請求項 14 記載の光伝送装置。

## 【請求項 16】

上記チャンネルあたりの出力光パワーが減少または増加傾向にある帯域についての上記閾値が、上記の利得偏差帯域を含む帯域についての閾値よりも小さく設定されることを特徴とする、請求項 15 記載の光伝送装置。

## 【請求項 17】

該目標利得補正部が、

該帯域別信号波長数演算部による演算結果から上記チャンネルあたりの出力光パワーが減少または増加傾向にある帯域の信号波長数が所定数以下に減少したことを認識すると、前記目標利得を増加すべく構成されたことを特徴とする、請求項 11 ~ 16 のいずれか 1 項に記載の光伝送装置。

10

## 【請求項 18】

該目標利得補正部が、

該帯域別信号波長数演算部による演算結果から上記チャンネルあたりの出力光パワーが減少または増加傾向にある帯域の信号波長数が所定数以上残留している状態で、該利得偏差帯域の信号波長数が所定数以下に減少したことを認識すると、前記目標利得を減少すべく構成されたことを特徴とする、請求項 11 ~ 16 のいずれか 1 項に記載の光伝送装置。

20

## 【請求項 19】

該目標利得補正部が、

信号波長数変動発生時から一定時間経過するまで、該帯域別信号波長数演算部による演算結果に基づいて前記目標利得を更新し、前記一定時間経過後に、前記目標利得を規定の利得値に徐々に近づけるように変更すべく構成されたことを特徴とする、請求項 11 ~ 18 のいずれか 1 項に記載の光伝送装置。

## 【請求項 20】

入出力光パワーと目標利得とに基づいて利得を一定制御する利得一定制御機能を有する光増幅器であって、

該光増幅器への入力光の信号波長帯域を、少なくとも、信号波長数減少時において、該光増幅器のチャンネルあたりの出力光パワーが減少傾向にある、または信号波長数増加時において、光増幅器のチャンネルあたりの出力光パワーが増加傾向にある帯域と、当該帯域以外の信号波長帯域であって主に上記利得制御の波長偏差に起因して該光増幅器の出力光パワーが変化する利得偏差帯域を含む帯域とに分割し、それぞれの分割帯域別に該光増幅器への入力光パワーをモニタし、

30

そのモニタ結果に基づいて上記各分割帯域の信号波長数をそれぞれ求め、

信号波長数変動時において上記各分割帯域の信号波長数に基づいて上記利得一定制御に用いる前記目標利得を補正することを特徴とする、光増幅器。

## 【請求項 21】

入力波長多重光の信号波長帯域を、少なくとも、信号波長数減少時において、光増幅器のチャンネルあたりの出力光パワーが減少傾向にある、または信号波長増加時において、光増幅器のチャンネルあたりの出力光パワーが増加傾向にある帯域と、当該帯域以外の信号波長帯域であって主に光増幅器での利得一定制御の波長偏差に起因して該光増幅器のチャンネルあたりの出力光パワーが変化する利得偏差帯域を含む帯域とに分割する帯域分割手段と

40

、  
該帯域分割手段によって分割された分割帯域単位で出力光パワーを調整する調整手段とをそなえたことを特徴とする、帯域単位利得等化器。

## 【請求項 22】

該帯域分割手段が、

上記チャンネルあたりの出力光パワーが信号波長数減少時には減少傾向、信号波長数増加時には増加傾向にある帯域としてスペクトラルホールバーニング (SHB) 効果が支配的

50

な S H B 帯域と、該利得偏差帯域と、上記チャネルあたりの出力光パワーが信号波長数減少時には減少傾向、信号波長数増加時には増加傾向にある別の帯域として該光増幅器の出力伝送路で生じる誘導ラマン散乱 ( S R S ) 効果が支配的な S R S 帯域とに 3 分割すべく構成されたことを特徴とする、請求項 2 1 記載の帯域単位利得等化器。

【請求項 2 3】

該調整手段が、

上記 S H B 帯域用の可変光減衰器と、上記利得偏差帯域用の可変光減衰器と、上記 S R S 帯域用の可変光減衰器とをそなえて構成されるとともに、

該帯域分割手段が、

上記利得偏差帯域の光を反射する利得偏差帯域反射デバイスと、

該入力波長多重光を該利得偏差帯域反射デバイスへ導くとともに、該利得偏差帯域反射デバイスからの反射光を上記利得偏差帯域用の可変光減衰器へ導く第 1 の光サーキュレータと、

該利得偏差帯域反射デバイスを透過してくる光を上記の S H B 帯域及び S R S 帯域の光に分割して上記 S H B 帯域及び S R S 帯域用の各可変光減衰器へ導く帯域分離デバイスと、

上記 S H B 帯域及び S R S 帯域用の各可変光減衰器の出力光を合波する帯域合波デバイスと、

上記利得偏差帯域用の可変光減衰器の出力側に設けられ、該帯域合波デバイスの出力光を上記利得偏差帯域用の可変光減衰器側へ導くとともに、当該可変光減衰器側から入力される光を出力ポートへ導く第 2 の光サーキュレータとをそなえるととともに、

上記利得偏差帯域用の可変光減衰器と上記第 2 の光サーキュレータとの間に、上記利得偏差帯域用の可変光減衰器側へ導かれてきた光のうち上記 S H B 帯域の光を反射する S H B 帯域反射デバイスと、上記利得偏差帯域用の可変光減衰器側へ導かれてきた光のうち上記 S R S 帯域の光を反射する S R S 帯域反射デバイスとが設けられて構成されたことを特徴とする、請求項 2 2 記載の帯域単位利得等化器。

【請求項 2 4】

上記の各可変光減衰器が、それぞれ、マイクロ秒オーダの応答速度を有する高速可変光減衰器であることを特徴とする、請求項 2 3 記載の帯域単位利得等化器。

【請求項 2 5】

請求項 2 1 記載の帯域単位利得等化器と、

該帯域単位利得等化器の入力光又は出力光のパワーを上記分割帯域別にモニタして、そのモニタ結果に基づいて上記各分割帯域の出力光パワーがそれぞれ所定の目標値となるように該調整手段による上記分割帯域単位の出力光パワー調整を制御する制御手段とをそなえたことを特徴とする、帯域単位利得等化器を用いた波長多重伝送装置。

【請求項 2 6】

該制御手段が、

該帯域単位利得等化器の入力光又は出力光のパワーを上記分割帯域別にモニタする帯域別モニタ部と、

上記目標値を予め記憶しておく記憶部と、

該帯域別モニタ部によるモニタ結果と該記憶部における上記目標値との差分を上記分割帯域別に検出する差分検出部と、

該差分検出部で検出された上記分割帯域別の差分がそれぞれ最小となるように該調整手段を制御する利得等化制御部とをそなえたことを特徴とする、請求項 2 5 記載の帯域単位利得等化器を用いた波長多重伝送装置。

【請求項 2 7】

該波長多重伝送装置が、前記入力波長多重光の少なくとも一部の波長の光について分岐又は挿入を行なう分岐挿入部を有する波長分岐挿入装置として構成されるとともに、

該帯域単位利得等化器が、該分岐挿入部の前段又は後段に設けられたことを特徴とする、請求項 2 5 又は 2 6 に記載の帯域単位利得等化器を用いた波長多重伝送装置。

**【請求項 28】**

請求項 25 記載の波長多重伝送装置をそなえたことを特徴とする、帯域単位利得等化器を用いた波長多重伝送システム。

**【請求項 29】**

入力波長多重光を増幅する増幅媒体と、

該増幅媒体の入出力光パワーと目標利得とに基づいて利得一定制御を行なう利得一定制御部と、

該増幅媒体の出力光の信号波長帯域を、少なくとも、信号波長数減少時において、チャンネルあたりの出力光パワーが減少傾向にある、または信号波長増加時において、光増幅器のチャンネルあたりの出力光パワーが増加傾向にある帯域と、当該帯域以外の信号波長帯域であって主に該利得一定制御の波長偏差に起因して該光増幅器のチャンネルあたりの出力光パワーが変化する利得偏差帯域を含む帯域とに分割して、その分割帯域単位で出力光パワーを調整しうる帯域単位利得等化器と、

10

該増幅媒体の出力光パワーを上記分割帯域別にモニタして、そのモニタ結果に基づいて上記各分割帯域の出力光パワーがそれぞれ所定の目標値となるように該帯域単位利得等化器の上記出力光パワー調整を上記分割帯域別に制御する制御手段とをそなえたことを特徴とする、帯域単位利得等化器を用いた光増幅器。

**【請求項 30】**

請求項 29 記載の光増幅器をそなえたことを特徴とする、帯域単位利得等化器を用いた波長多重伝送システム。

20

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0001】**

本発明は、光増幅器の制御装置及び制御方法並びに光増幅器，光伝送装置及び帯域単位利得等化器並びに同等化器を用いた波長多重伝送装置，光増幅器及び波長多重伝送システムに関し、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】****【0002】**

30

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 16 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 16 に示すシステムは、複数の OADM（Optical Add-Drop Multiplexer）ノード 100 がそれぞれ伝送路（光ファイバ）400 を介してリング状に接続されて、各 OADM ノード 100 で、それぞれ、任意波長（チャンネル）の信号光を伝送路 400 へ挿入（アド）したり、伝送路 400 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。また、各 OADM ノード 100 の前後段にはそれぞれ光増幅器（プリアンプ 200 及びポストアンプ 300）が適宜設けられて、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。

40

**【0003】**

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 400）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、上記アンプ 200，300 には、利得一定制御（AGC）機能を有する AGC アンプが適用される。

**【0004】**

ここで、AGC アンプは、例えば図 17 に示すように、光増幅器（EDFA）200（300）の入出力光の一部をそれぞれ光カプラ等の光分岐手段 501，502 によって分

50

岐してPD601, 602によりそれぞれのパワー〔つまり、光増幅器200(300)の入出力光パワー〕をモニタし、そのパワー比が一定となるようにEDFA200(300)への励起光パワーを利得一定制御部700によって制御するように構成される。

#### 【0005】

さて、このようなシステムにおいて、例えば図18(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18(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19(A)に示すごとく、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。

10

#### 【0006】

なお、上記「信号受信端」とは、例えば図25に示すように、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101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)を所定波長のアド光にて送信する電気/光変換機能(E/O)を具備する光送信器102を意味する。

#### 【0007】

さて、上記信号光パワー変化には、例えば図19(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。

20

##### (1)SHB

1つ目の要因であるSHBは、光増幅器200(300)で生じる現象で、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20に示すごとく、光増幅器200(300)で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。

30

#### 【0008】

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、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19(B)中の(1)欄及び図21(A)に示すように、光増幅器200(300)の利得が短波長側の残留信号光ほど低下し、これに伴って出力光パワーも低下(-P)するという現象が発生する。つまり、信号波長数及び配置に応じてSHBによる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

#### 【0009】

##### (2)利得偏差

2つ目の要因である利得(波長)偏差も光増幅器200(300)で生じる現象である。即ち、光増幅器200(300)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19(B)中の(2)欄に示すように、残留光信号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、信号波長数及び配置に応じて光増幅器200(300)の動作点が変わり、利得スペクトルが変化するのである。

50

## 【0010】

## (3) SRS効果

3つ目の要因であるSRS効果は、伝送路400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22に示すごとく、励起光波長から約13THz低周波側(励起光波長が1400nm付近にある場合は約100nm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22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。

10

## 【0011】

つまり、WDM光信号が伝送路400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23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19中の(3)欄及び図21(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。

## 【0012】

このように、伝送路400を伝送されるWDM信号光の波長数が大きく変動すると、主にSHB, 利得偏差及びSRSの主として3つの要因によって、残留信号光(残留チャンネル)の出力光パワーが変化する。各光増幅器、各伝送路あたりの変化量はそれほど小さくなくても、AGCを行なう光増幅器200, 300を多段に設けたシステムでは、各光増幅器200, 300及び伝送路400で生じた各チャンネルの出力光パワー変化(P)が累積されていくことになる。

20

## 【0013】

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、例えば図24中左側に示すように、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。

30

かかるパワー変化の累積は、例えば図24中右側に示すごとく、波長数変化が生じた際に高速な出力一定制御(ALC)を行なうことにより防ぐことが可能と考えられる。ここで、ALCは、通常、光増幅器200(300)の出力光パワーをPD等でモニタし、そのモニタ値が1チャンネルあたりの目標出力光パワー $P_{target}$  [dBm/ch] × 入力信号波長数で求められる目標出力光パワー $P_{out}$ となるように光増幅器200(300)への励起光パワーが制御(フィードバック制御)される。

## 【0014】

このように、光増幅器200(300)のALCを実現するためには、光増幅器200(300)に入力される入力信号波長数の情報が必要となるが、光監視制御チャンネル(OSC)やネットワーク管理システム(NMS)から波長数情報を受けるには時間がかかり過ぎ、障害発生直後などにおける過渡的な変化(例えば図19(A)中に網がけ部で示すごとく、波長数変化が生じてからOADMノード100によるレベル補償が機能するまでの期間の変化)には対応できない。

40

## 【0015】

そこで、従来、ノード内で波長数を算出する技術(方法)がいくつか提案されている。

(a)1つは光増幅器へ入力される各波長の光パワーが揃っている(1波長あたりの入力光パワーが予め分かっている)ことを前提として、光増幅器の入力光のトータルパワーを監視(モニタ)し、そのモニタ値を1チャンネルあたりの規定の入力光パワーで除算することにより伝送波長数を算出する方法である。

## 【0016】

50

(b)もう一つは、例えば下記の特許文献1及び2でも提案されているように、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 (DEMUX) 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方法である。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、EDF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。

10

## 【0017】

また、上述した光増幅器出力の過渡的な変化 (信号光の波長特性の偏差) は、できる限り高速に (例えば、マイクロ秒オーダー) 補償 (平坦化) できることが望ましい。このような出力パワー変動を補償する技術の候補としては、例えば、(c)WDM出力光を波長毎に分波して、波長毎の可変光減衰器 (VOA) によって個々の波長の光パワーを調整した上で合波する構成や、(d)ダイナミック利得等化器 (DGEQ) などが挙げられる。DGEQは、WDM信号光の波長毎に損失調整を行なうデバイスであり、利得偏差を補償することができる。

## 【0018】

なお、利得等化に関する技術としては、他に、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WDMカプラとを有し、WDM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。

20

【特許文献1】特開2001-168841号公報

【特許文献2】特開2003-258348号公報

【特許文献3】特開平10-173597号公報

【特許文献4】特開平11-337750号公報

30

【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】

## 【0019】

しかしながら、ノード内で波長数を算出する技術 (方法) に関して、上記(a)で述べた方法では、光増幅器へ入力される各チャンネルのパワーが変動する場合には、波長数を誤って算出する可能性が高くなるという課題がある。また、上記(b)で述べた方法では、コストが高く、サイズも大きくなってしまいう課題がある。これに加えて、特許文献1の技術では、波長分波器 (DEMUX) での損失が大きいことから、入力分岐比を高くする必要があり、光増幅器の雑音特性 (NF) が劣化するなどの課題があり、特許文献2の技術では、高速応答が困難であるという課題がある。

40

## 【0020】

また、利得等化技術に関しては、上記(c)で述べた技術や上記特許文献3の技術では、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

50

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。

#### 【0021】

さらに、上記(d)で述べ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

#### 【0022】

本発明は、以上のような課題に鑑み創案されたもので、簡易な構成で、かつ、雑音特性を劣化させることなく、上述したSHBやSRSSによる信号光レベルの過渡変動を高速に抑圧することで、光増幅器の更なる多段化を可能とし、ひいては、光分岐挿入装置を含む伝送システムの長距離化を図れるようにすることを目的とする。

また、信号光の波長帯域内の波長特性の偏差を、簡易かつ安価に、また、高速に補償できるようにすることも目的とする。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0023】

上記の目的を達成するために、本発明では、下記の光増幅器の制御装置及び制御方法並びに帯域単位利得等化器並びに同等化器を用いた波長多重伝送装置、光増幅器及び波長多重伝送システムを用いることを特徴としている。即ち、

20

(1)本発明の光増幅器の制御装置は、光増幅器の入出力光パワーと目標利得とに基づいて該光増幅器の利得を一定制御する利得一定制御部と、該光増幅器への入力光の信号波長帯域を、少なくとも、信号波長数減少時において、該光増幅器の出力光パワーが減少傾向にある帯域と、当該帯域以外の信号波長帯域であって主に該利得一定制御部による利得制御の波長偏差に起因して該光増幅器の出力光パワーが変化する利得偏差帯域を含む帯域とに分割し、それぞれの分割帯域別に該光増幅器への入力光パワーをモニタする帯域別入力光モニタ部と、該帯域別入力光モニタ部によるモニタ結果に基づいて上記各分割帯域の信号波長数をそれぞれ求める帯域別信号波長数演算部と、信号波長数変動時において該帯域別信号波長数演算部による演算結果に基づいて該利得一定制御部で用いる前記目標利得を補正する目標利得補正部とをそなえたことを特徴としている。

30

#### 【0024】

(2)ここで、該帯域別入力光モニタ部は、上記出力光パワーが減少傾向にある帯域としてスペクトラルホールバーニング(SHB)効果が支配的なSHB帯域と、該利得偏差帯域と、上記出力光パワーが減少傾向にある別の帯域として該光増幅器の出力伝送路で生じる誘導ラマン散乱(SRSS)効果が支配的なSRSS帯域とに3分割して、それぞれの入力光パワーをモニタすべく構成されるのが好ましい。

#### 【0025】

(3)より具体的には、該信号波長帯域がCバンドであり、該SHB帯域が1530~1540nm、該SRSS帯域が1555~1565nm、該利得偏差帯域がこれらのSHB帯域及びSRSS帯域に挟まれた帯域であるのが好ましい。

40

(4)また、該帯域別信号波長数演算部は、上記各分割帯域別の入力光パワーモニタ値をそれぞれ信号波長1波長あたりの設計信号光パワーで除算し、その値が2のn乗に最も近い値を上記各分割帯域の信号波長数として決定すべく構成されるのが好ましい。

#### 【0026】

(5)なお、上記信号波長数の決定に用いる閾値は上記各分割帯域の出力光パワー変動の特徴に基づいて設定されるのが好ましい。

(6)ここで、上記出力光パワーが減少傾向にある帯域についての上記閾値が、上記の

50

利得偏差帯域を含む帯域についての閾値よりも小さく設定されるのが好ましい。

(7) また、該目標利得補正部は、該帯域別信号波長数演算部による演算結果から上記出力光パワーが減少傾向にある帯域の信号波長数が所定数以下に減少したことを認識すると、前記目標利得を増加すべく構成されるのが好ましい。

【0027】

(8) さらに、該目標利得補正部は、該帯域別信号波長数演算部による演算結果から上記出力光パワーが減少傾向にある帯域の信号波長数が所定数以上残留している状態で、該利得偏差帯域の信号波長数が所定数以下に減少したことを認識すると、前記目標利得を減少すべく構成されるのが好ましい。

(9) また、該目標利得補正部は、信号波長数変動発生時から一定時間経過するまで、該帯域別信号波長数演算部による演算結果に基づいて前記目標利得を更新し、前記一定時間経過後に、前記目標利得を規定の利得値に徐々に近づけるように変更すべく構成されるのが好ましい。

【0028】

(10) さらに、本発明の光増幅器の制御方法は、光増幅器の入出力光パワーと目標利得とに基づいて該光増幅器の利得を一定制御する利得一定制御機能を有する光増幅器の制御方法であって、該光増幅器への入力光の信号波長帯域を、少なくとも、信号波長数減少時において、該光増幅器の出力光パワーが減少傾向にある帯域と、当該帯域以外の信号波長帯域であって主に該利得一定制御部による利得制御の波長偏差に起因して該光増幅器の出力光パワーが変化する利得偏差帯域を含む帯域とに分割し、それぞれの分割帯域別に該光増幅器への入力光パワーをモニタし、そのモニタ結果に基づいて上記各分割帯域の信号波長数をそれぞれ求め、信号波長数変動時において上記各分割帯域の信号波長数に基づいて上記利得一定制御に用いる前記目標利得を補正することを特徴としている。

【0029】

(11) また、本発明の光伝送装置は、光増幅器の入出力光パワーと目標利得とに基づいて該光増幅器の利得を一定制御する利得一定制御部と、該光増幅器への入力光の信号波長帯域を、少なくとも、信号波長数減少時において、該光増幅器のチャンネルあたりの出力光パワーが減少傾向にある、または信号波長数増加時において、光増幅器のチャンネルあたりの出力光パワーが増加傾向にある帯域と、当該帯域以外の信号波長帯域であって主に該利得一定制御部による利得制御の波長偏差に起因して該光増幅器のチャンネルあたりの出力光パワーが変化する利得偏差帯域を含む帯域とに分割し、それぞれの分割帯域別に該光増幅器への入力光パワーをモニタする帯域別入力光モニタ部と、該帯域別入力光モニタ部によるモニタ結果に基づいて上記各分割帯域の信号波長数をそれぞれ求める帯域別信号波長数演算部と、信号波長数変動時において該帯域別信号波長数演算部による演算結果に基づいて該利得一定制御部で用いる前記目標利得を補正する目標利得補正部とをそなえたことを特徴としている。

【0030】

(12) ここで、該帯域別入力光モニタ部は、上記チャンネルあたりの出力光パワーが信号波長数減少時には減少傾向、信号波長数増加時には増加傾向にある帯域としてスペクトラルホールバーニング(SHB)効果が支配的なSHB帯域と、該利得偏差帯域と、上記チャンネルあたりの出力光パワーが信号波長数減少時には減少傾向、信号波長数増加時には増加傾向にある別の帯域として該光増幅器の出力伝送路で生じる誘導ラマン散乱(SRS)効果が支配的なSRS帯域とに3分割して、それぞれの入力光パワーをモニタすべく構成されるのが好ましい。

【0031】

(13) また、該SHB帯域が1530~1540nm、該SRS帯域が1555~1565nm、該利得偏差帯域がこれらのSHB帯域及びSRS帯域に挟まれた帯域であるのが好ましい。

(14) さらに、該帯域別信号波長数演算部は、上記各分割帯域別の入力光パワーモニタ値をそれぞれ信号波長1波長あたりの設計信号光パワーで除算し、その値が2のn乗に

10

20

30

40

50

最も近い値を上記各分割帯域の信号波長数として決定すべく構成されていてもよい。

【0032】

(15) また、上記信号波長数の決定に用いる閾値は上記各分割帯域のチャンネルあたりの出力光パワー変動の特徴に基づいて設定されるのが好ましい。

(16) さらに、上記チャンネルあたりの出力光パワーが減少または増加傾向にある帯域についての上記閾値は、上記の利得偏差帯域を含む帯域についての閾値よりも小さく設定されるのが好ましい。

【0033】

(17) また、該目標利得補正部は、該帯域別信号波長数演算部による演算結果から上記チャンネルあたりの出力光パワーが減少または増加傾向にある帯域の信号波長数が所定数以下に減少したことを認識すると、前記目標利得を増加すべく構成されていてもよい。

(18) さらに、該目標利得補正部は、該帯域別信号波長数演算部による演算結果から上記チャンネルあたりの出力光パワーが減少または増加傾向にある帯域の信号波長数が所定数以上残留している状態で、該利得偏差帯域の信号波長数が所定数以下に減少したことを認識すると、前記目標利得を減少すべく構成されていてもよい。

【0034】

(19) また、該目標利得補正部は、信号波長数変動発生時から一定時間経過するまで、該帯域別信号波長数演算部による演算結果に基づいて前記目標利得を更新し、前記一定時間経過後に、前記目標利得を規定の利得値に徐々に近づけるように変更すべく構成されていてもよい。

(20) さらに、本発明の光増幅器は、入出力光パワーと目標利得とに基づいて利得を一定制御する利得一定制御機能を有する光増幅器であって、該光増幅器への入力光の信号波長帯域を、少なくとも、信号波長数減少時において、該光増幅器のチャンネルあたりの出力光パワーが減少傾向にある、または信号波長数増加時において、光増幅器のチャンネルあたりの出力光パワーが増加傾向にある帯域と、当該帯域以外の信号波長帯域であって主に上記利得制御の波長偏差に起因して該光増幅器の出力光パワーが変化する利得偏差帯域を含む帯域とに分割し、それぞれの分割帯域別に該光増幅器への入力光パワーをモニタし、そのモニタ結果に基づいて上記各分割帯域の信号波長数をそれぞれ求め、信号波長数変動時において上記各分割帯域の信号波長数に基づいて上記利得一定制御に用いる前記目標利得を補正することを特徴としている。

【0035】

(21) また、本発明の帯域単位利得等化器は、入力波長多重光の信号波長帯域を、少なくとも、信号波長数減少時において、光増幅器のチャンネルあたりの出力光パワーが減少傾向にある、または信号波長増加時において、光増幅器のチャンネルあたりの出力光パワーが増加傾向にある帯域と、当該帯域以外の信号波長帯域であって主に該光増幅器での利得一定制御の波長偏差に起因して該光増幅器の出力光パワーが変化する利得偏差帯域を含む帯域とに分割する帯域分割手段と、該帯域分割手段によって分割された分割帯域単位で出力光パワーを調整する調整手段とをそなえたことを特徴としている。

【0036】

(22) ここで、該帯域分割手段は、上記チャンネルあたりの出力光パワーが信号波長数減少時には減少傾向にある、または信号波長数増加時において、光増幅器のチャンネルあたりの出力パワーが増加傾向にある帯域としてスペクトラルホールバーニング(SHB)効果が支配的なSHB帯域と、該利得偏差帯域と、上記チャンネルあたりの出力光パワーが信号波長数減少時には減少傾向にある、または信号波長数増加時において、光増幅器のチャンネルあたりの出力パワーが増加傾向にある別の帯域として該光増幅器の出力伝送路で生じる誘導ラマン散乱(SRS)効果が支配的なSRS帯域とに3分割すべく構成されていてもよい。

【0037】

(23) また、該調整手段は、上記SHB帯域用の可変光減衰器と、上記利得偏差帯域用の可変光減衰器と、上記SRS帯域用の可変光減衰器とをそなえて構成されるとともに

10

20

30

40

50

、該帯域分割手段が、上記利得偏差帯域の光を反射する利得偏差帯域反射デバイスと、  
該入力波長多重光を該利得偏差帯域反射デバイスへ導くとともに、該利得偏差帯域反射  
デバイスからの反射光を上記利得偏差帯域用の可変光減衰器へ導く第1の光サーキュレー  
タと、該利得偏差帯域反射デバイスを透過してくる光を上記のSHB帯域及びSR S帯域  
の光に分割して上記SHB帯域及びSR S帯域用の各可変光減衰器へ導く帯域分離デバイ  
スと、上記SHB帯域及びSR S帯域用の各可変光減衰器の出力光を合波する帯域合波デ  
バイスと、上記利得偏差帯域用の可変光減衰器の出力側に設けられ、該帯域合波デバイ  
スの出力光を上記利得偏差帯域用の可変光減衰器側へ導くとともに、当該可変光減衰器側か  
ら入力される光を出力ポートへ導く第2の光サーキュレータとをそなえるととも、上記  
利得偏差帯域用の可変光減衰器と上記第2の光サーキュレータとの間に、上記利得偏差帯  
域用の可変光減衰器側へ導かれてきた光のうち上記SHB帯域の光を反射するSHB帯域  
反射デバイスと、上記利得偏差帯域用の可変光減衰器側へ導かれてきた光のうち上記SR  
S帯域の光を反射するSR S帯域反射デバイスとが設けられて構成されていてもよい。

10

**【0038】**

(24)さらに、上記の各可変光減衰器は、それぞれ、マイクロ秒オーダーの応答速度を  
有する高速可変光減衰器であるのが好ましい。

(25)また、本発明の帯域単位利得等化器を用いた波長多重伝送装置は、上記項目(21)  
記載の帯域単位利得等化器と、該帯域単位利得等化器の入力光又は出力光のパワー  
を上記分割帯域別にモニタして、そのモニタ結果に基づいて上記各分割帯域の出力光パワ  
ーがそれぞれ所定の目標値となるように該調整手段による上記分割帯域単位の出力光パワ  
ー調整を制御する制御手段とをそなえたことを特徴としている。

20

**【0039】**

(26)さらに、該制御手段は、該帯域単位利得等化器の入力光又は出力光のパワーを  
上記分割帯域別にモニタする帯域別モニタ部と、上記目標値を予め記憶しておく記憶部と  
、該帯域別モニタ部によるモニタ結果と該記憶部における上記目標値との差分を上記分割  
帯域別に検出する差分検出部と、該差分検出部で検出された上記分割帯域別の差分がそれ  
ぞれ最小となるように該調整手段を制御する利得等化制御部とをそなえていてもよい。

**【0040】**

(27)また、該波長多重伝送装置は、前記入力波長多重光の少なくとも一部の波長の  
光について分岐又は挿入を行なう分岐挿入部を有する波長分岐挿入装置として構成される  
とともに、該帯域単位利得等化器は、該分岐挿入部の前段又は後段に設けられていてもよ  
い。

30

(28)さらに、本発明の帯域単位利得等化器を用いた波長多重伝送システムは、上記  
項目(25)記載の波長多重伝送装置をそなえたことを特徴としている。

**【0041】**

(29)また、本発明の帯域単位利得等化器を用いた光増幅器は、入力波長多重光を増  
幅する増幅媒体と、該増幅媒体の入出力光パワーと目標利得とに基づいて利得一定制御を  
行なう利得一定制御部と、該増幅媒体の出力光の信号波長帯域を、少なくとも、信号波長  
数減少時において、チャンネルあたりの出力光パワーが減少傾向にある、または信号波長増  
加時において、チャンネルあたりの光増幅器の出力光パワーが増加傾向にある帯域と、当該  
帯域以外の信号波長帯域であって主に該利得一定制御の波長偏差に起因して該光増幅器の  
チャンネルあたりの出力光パワーが変化する利得偏差帯域を含む帯域とに分割して、その分  
割帯域単位で出力光パワーを調整しうる帯域単位利得等化器と、該増幅媒体の出力光パワ  
ーを上記分割帯域別にモニタして、そのモニタ結果に基づいて上記各分割帯域の出力光パ  
ワーがそれぞれ所定の目標値となるように該帯域単位利得等化器の上記出力光パワー調整  
を上記分割帯域別に制御する制御手段とをそなえたことを特徴としている。

40

**【0042】**

(30)さらに、本発明の波長多重伝送システムは、上記項目(29)記載の光増幅器  
をそなえたことを特徴としている。

**【発明の効果】**

50

## 【 0 0 4 3 】

上記本発明によれば、上記分割帯域のそれぞれについて入力光パワーをモニタして求めた信号波長数に基づいて、目標利得を補正することにより、障害発生等で信号波長数が急激に変化して光増幅器への入力光パワーが急変したとしても、出力信号光パワー（残留信号光パワー）の変動（過渡変動）を最小限に抑圧することが可能となり、過渡的な出力パワー変化の累積を抑圧することが可能となる。したがって、信号受信端での信号パワーが受信器の受信パワー許容範囲から外れず、また、信号パワー低減の累積による大幅な信号受信端での光SN比劣化を大きく改善することができる。また、従来のように信号波長数を求めるために波長単位で分波する必要がないので、光増幅器の雑音特性（NF）の劣化も抑圧することができる。

10

## 【 0 0 4 4 】

特に、信号波長帯域をSHB帯域、利得偏差帯域およびSR S帯域の3つの帯域に分割して各帯域の入力光パワーをモニタして各帯域の信号波長数を求めるようにすれば、それぞれの帯域の出力光パワー変動傾向に応じた利得補正が可能となるので、より大きな出力信号光パワーの過渡変動抑圧効果を得ることができる。

また、本発明によれば、上記分割帯域別に独立してそれぞれの出力光パワーを調整することができるので、信号波長帯域に生じた利得偏差（出力光パワー偏差）を波長単位ではなく分割帯域単位で補償（等化）することができる。したがって、簡易かつ安価に利得等化器を実現することができる。

## 【 0 0 4 5 】

ここで、上記分割帯域単位の出力パワー調整をマイクロ秒オーダーの応答速度を有する高速可変光減衰器によって行なうようにすれば、上記信号波長帯域に生じた利得偏差を高速に補償することが可能となるので、信号光状態（波長数及び波長配置）が急激に変動（増加または減少）して、その変動に既存の光分岐挿入装置等のノードが追従して補償できないような場合であっても、出力偏差が累積されず、多段に伝送した際でも、受信端での伝送エラーの発生を防ぐことが可能となる。

20

## 【 発明を実施するための最良の形態 】

## 【 0 0 4 6 】

## 〔 A 〕 第 1 実施形態の説明

図1は本発明の第1実施形態に係るWDM光伝送システムの一部に着目した構成を示すブロック図で、この図1に示す構成は、図16により前述したシステムの1スパン分（或るOADMノード100から隣接するOADMノード100まで）に相当する構成を示しており、隣接するOADMノード100間に、光増幅器（ポストアンプ）1，伝送路2，光増幅器（第1のプリアンプ）3，分散補償器（DCM）4及び光増幅器（第2のプリアンプ）5をそなえて構成されている。

30

## 【 0 0 4 7 】

ここで、ポストアンプ1は、所定の信号光レベルにまで前段のOADMノード100からのWDM光を増幅するもので、大幅な波長数変動時に本発明に係るALCを適用される個所である。また、プリアンプ3は、伝送路2で損失を受けて伝送されてきたWDM光を所要の信号光レベルにまで増幅するものであり、DCM4は、WDM光が伝送路2から受けた波長分散を補償するものであり、プリアンプ5は、このDCM4での損失分を補償すべく入力WDM光を所要の信号光レベルにまで増幅するものである。

40

## 【 0 0 4 8 】

このような構成により、或るOADMノード100から送信されたWDM光は、上記の各アンプ2，3，5でそれぞれ増幅されながら、また、DCM4にて波長分散が補償されて次段のOADMノード100へ伝送されてゆく。ただし、本実施形態においては、WDM光の波長数が急激に変化した場合の前記主に3つの要因（SHB，利得偏差，SR S効果）により生じる出力光パワー変動（以下、単に「パワー変動」ともいう）を最小限に低減すべくポストアンプ1において特別な手法で入力WDM光に含まれる実際の波長数を簡易かつ高速に測定して出力一定制御（ALC）を行なうようになっている。

50

## 【0049】

即ち、本実施形態のポストアンプ1は、図3に示すごとく、入力WDM光の信号波長帯域（以下、信号帯域ともいう）40を、SHBによるパワー変動が支配的な（SHB効果が強い）波長帯域（以下、SHB帯域という）41と、利得偏差によるパワー変動が支配的な（利得偏差の効果が強い）波長帯域（以下、利得偏差帯域という）42と、SRSEffectによるパワー変動が支配的な（SRSEffect効果が強い）波長帯域（以下、SRSEffect帯域という）43の3つの帯域毎にそれぞれ入力光パワーをモニタし、それぞれのモニタ値から各帯域41, 42, 43に含まれる波長数を推定（概算）して信号波長帯域40に含まれる波長数を求めることにより、波長数変動時において、従来のように、OSCやNMSから波長数情報を受けることなく、また、信号帯域40に含まれる波長毎にパワーモニタを行なうことなく、簡易かつ高速に、波長数変動時の信号波長数を求めてAGCの目標利得を調整（補正）することによりALCを行なえるようになっている。

10

## 【0050】

なお、上記のSHB帯域41、SRSEffect帯域43は、アンプ（光増幅器）1のチャンネルあたりの出力光パワーが減少傾向にある、または信号波長数増加時において、アンプ1のチャンネルあたりの出力パワーが増加傾向にある帯域に相当する。また、なお、SHB効果（メインホールの深さ）は、図4に示すように、1540nm以下の波長で強く、1545nm以上の波長では略一定であるので、SHB帯域41は、例えば1530～1540nmに設定することができる。また、SRSEffect効果は、図5に示すように、Cバンド40波入力時において波長に対して略線形な偏差（dB）の傾斜をもつので、SRSEffect帯域43は、例えば1555～1565nmに設定することができる。

20

## 【0051】

さて、上述のALCを実現すべく、本実施形態のアンプ1は、例えば図2に示すように、EDF11と、アンプ1の制御装置を構成する要素として、EDF11の入力側に、入力側光分岐手段としての光カプラ12, 13, 14, バンドパスフィルタ15-1, 15-2, 受光素子としてのフォトダイオード（PD）17-1, 17-2, 17-4をそなえたとともに、EDF11の出力側に、出力側光分岐手段としての光カプラ18, 受光素子としてのPD19をそなえ、かつ、利得一定制御部20, 帯域別信号波長数演算部21, 目標利得演算部22及び記憶部（データベース）23をそなえて構成されている。

## 【0052】

ここで、光カプラ12は、入力信号光（WDM光）の一部を入力モニタ光としてパワー分岐して光カプラ13へ出力するものであり、光カプラ13は、当該入力モニタ光を2分岐して光カプラ14と信号帯域40用のPD17-4とに入力するものであり、光カプラ（WDMカプラ：3dBカプラ）14は、この光カプラ13からの入力モニタ光の帯域を信号帯域40の中心波長付近で2分割してバンドパスフィルタ15-1, 15-2にそれぞれ入力するものであり、バンドパスフィルタ15-1は、この光カプラ13からの入力モニタ光からSHB帯域41の信号光成分のみを通過させるものであり、バンドパスフィルタ15-2は、同様に、SRSEffect帯域43の信号光成分のみを通過させるもので、それぞれ例えば7nm～10nm程度の帯域通過幅を有している。

30

## 【0053】

PD17-1は、上記バンドパスフィルタ15-1を通過したSHB帯域41の信号光を受光してその受光量に応じたレベルの電気信号をSHB帯域41の信号光パワーのモニタ値として帯域別信号波長数演算部21へ出力するものであり、同様に、PD17-2は、上記バンドパスフィルタ15-2を通過したSRSEffect帯域43の信号光を受光してその受光量に応じたレベルの電気信号をSRSEffect帯域43の信号光パワーのモニタ値として帯域別信号波長数演算部21へ出力するものであり、PD17-4は、上記光カプラ12からの信号帯域40の信号光を受光してその受光量に応じたレベルの電気信号を信号帯域40の信号光パワー（トータル入力光パワー）のモニタ値として利得一定制御部20へ出力するものである。

40

## 【0054】

50

つまり、本実施形態の光増幅器 1 は、PD 17 - 1 及び 17 - 2 により SHB 帯域 4 1 及び SRS 帯域 4 3 のそれぞれの入力信号光パワーをモニタするとともに、PD 17 - 4 により信号帯域 4 0 の信号光パワー（トータル入力光パワー）をモニタするようになっているのである。換言すれば、上記の光カプラ 13, 14, バンドパスフィルタ 15 - 1, 15 - 2, PD 17 - 1, 17 - 2 は、SHB 帯域 4 1 及び SRS 帯域 4 3 別にそれぞれの入力信号光パワーをモニタする帯域別入力光モニタ部 10 として機能している。なお、PD 17 - 4 のモニタ値から SHB 帯域 4 1 及び SRS 帯域 4 3 の各モニタ値を差し引くことによって、SHB 帯域 4 1 と SRS 帯域 4 3 以外の帯域、即ち、利得偏差帯域 4 2 の信号光パワーを求めることが可能である。もっとも、図 14 や図 15 により後述するように、各帯域 4 1, 4 2, 4 3 のための PD を設けてそれぞれの入力光パワーをモニタするようによい。

#### 【0055】

光カプラ 18 は、EDF 11 の出力光の一部を出力モニタ光として分岐して PD 19 に入力するものであり、PD 19 は、この光カプラ 18 からの出力モニタ光を受光してその受光量に応じたレベルの電気信号を利得一定制御部 20 へ出力するものである。

帯域別信号波長演算部 21 は、SHB 帯域 4 1, 利得偏差帯域 4 2 及び SRS 帯域 4 3 の各信号光パワーのモニタ値に基づいて、各帯域 4 1, 4 2, 4 3 に含まれる信号光波長数を推定（概算）するもので、例えば、1 波長（チャンネル）あたりの設計した信号光パワーで、SHB 帯域 4 1 と SRS 帯域 4 3 のモニタ値、および、これらの帯域 4 1, 4 3 に挟まれた利得偏差帯域 4 2 の演算により求めた信号光パワーを除算し、その値が 2 の n 乗（1, 2, 4, 8, 16, ...）に最も近い値を選択し、その値を信号光波長数とすることができる。

#### 【0056】

より詳細には、例えば図 6（A）に示すように、SHB 帯域 4 1 についてのモニタ値 P に対して閾値  $P_1, P_2, P_3, P_4, \dots$  を設定し、 $P < P_1$  なら信号波長数 =  $2^0 = 1$ 、 $P_1 < P < P_2$  なら信号波長数 =  $2^1 = 2$ 、 $P_2 < P < P_3$  なら信号波長数 =  $2^2 = 4$ 、 $P_3 < P < P_4$  なら信号波長数 =  $2^3 = 8$  というように SHB 帯域 4 1 の信号波長数を求める（概算する）ことができる。

#### 【0057】

同様に、図 6（B）に示すように、利得偏差帯域 4 2 についてのモニタ値 P に対して閾値  $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, \dots$  を設定し、 $P < P_1$  なら信号波長数 =  $2^0 = 1$ 、 $P_1 < P < P_2$  なら信号波長数 =  $2^1 = 2$ 、 $P_2 < P < P_3$  なら信号波長数 =  $2^2 = 4$ 、 $P_3 < P < P_4$  なら信号波長数 =  $2^3 = 8$ 、 $P_4 < P < P_5$  なら信号波長数 =  $2^4 = 16$  というように利得偏差帯域 4 2 の信号波長数を求めることができ、さらに、図 6（C）に示すように、SRS 帯域 4 3 についてのモニタ値 P に対して閾値  $P_1, P_2, P_3, P_4, \dots$  を設定し、 $P < P_1$  なら信号波長数 =  $2^0 = 1$ 、 $P_1 < P < P_2$  なら信号波長数 =  $2^1 = 2$ 、 $P_2 < P < P_3$  なら信号波長数 =  $2^2 = 4$ 、 $P_3 < P < P_4$  なら信号波長数 =  $2^3 = 8$  というように SRS 帯域 4 3 の信号波長数を求めることができる。

#### 【0058】

ただし、上述のごとく信号波長数を算出する場合には、上流から注入される ASE パワーを考慮しなければならない場合がある。その場合は、上流の光アンプの ASE パワーを監視信号等で受け取り、各帯域 4 1, 4 2, 4 3 の帯域幅に従って ASE パワーを分割し、各帯域 4 1, 4 2, 4 3 のモニタ値から減算して、その値を用いて信号波長数を算出すればよい。

#### 【0059】

また、上記の閾値は、各帯域 4 1, 4 2, 4 3 でのパワー変化の特徴に基づいて設定するのが好ましく、そのため各帯域 4 1, 4 2, 4 3 で異なるのが好ましい。例えば、SHB 帯域 4 1 は、SHB の影響で信号光パワーが減少する傾向にあるので、利得偏差帯域 4 2 についての閾値よりも小さめに設定するのが好ましく、また、SRS 帯域 4 3 は、SR

10

20

30

40

50

Sの影響がなくなることで信号光パワーが減少する傾向にあるので、同様に、利得偏差帯域42についての閾値よりも小さめに設定するのが好ましい。

#### 【0060】

記憶部23は、上記の帯域毎の閾値や、上記ASEパワー情報、1波長あたりの入力光パワーの設計値、フィードフォワード制御に必要な信号(波長)配置対励起電流情報、フィードバック制御に必要な信号(波長)配置対目標利得情報などを記憶しておくものである。

目標利得演算部(目標利得補正部)22は、例えば図7に示すごとく、上記の帯域別信号波長数演算部21により得られた波長数情報から帯域41, 42, 43毎に1波長あたりの平均入力光パワーを求め、その結果から全信号帯域40の平均入力光パワーを求めて規定の入力光パワーとの差分をキャンセルするのに必要な目標利得の補正量(利得補正量)を求めるもので、当該利得補正量に応じて利得一定制御部20がEDF11の利得を調整(補正)することで、出力信号光レベルの変動が抑制されるようになっている。なお、この目標利得演算部22は、後述するごとく、1波長あたりの平均入力光パワーを求めた後、1波長あたりの規定の目標出力光パワーとの差分を上記利得補正量として求めることも可能である。また、利得補正量ではなく当該利得補正量を反映した新たな目標利得を利得一定制御部20に対して設定するようにしてもよい。

#### 【0061】

以下、上述のごとく構成された本実施形態の光増幅器1の利得制御方法について詳述する。

例えば図8に示すように、定常状態(信号波長数変化が規定値よりも少ない状態)では、利得一定制御部20により、PD17-4及びPD19によるEDF11の入出力光パワーのモニタ値に基づきEDF11の利得が所定の利得値となるように利得一定制御が行なわれている(ステップS1, S2及びステップS3のYesルートからステップS4)。このとき、利得調整部30の帯域別信号波長数演算部21では、上述したごとく各帯域41, 42, 43の信号波長数をカウントして信号波長数の変化を監視している(ステップS2, S3)。

#### 【0062】

かかる状態において、例えば、全信号波長数の半分以上(40波のうち39波など)が障害等によって入力されなくなり、光増幅器1へのトータル入力光パワー(PD17-4でモニタ)が大幅に(例えば3dB)低下(図9の矢印51及び符号A参照)したとすると、目標利得演算部22が、帯域別信号波長数演算部21により得られた波長数情報から1波長あたりの平均入力光パワーを求め、当該平均入力光パワーと目標出力光パワーとから目標利得を求める。

#### 【0063】

より詳細には、まず、帯域別信号波長数演算部21において、各帯域41, 42, 43の入力モニタ値( $P_{in\_mon\_k}$ )と、事前に入手しておく各帯域41, 42, 43のASEパワー( $P_{ase\_k}$ )及び1波長あたりの規定の信号光パワー( $P_{in\_design}$ )とに基づいて、下記式(1)により各帯域41, 42, 43に含まれている波長数( $m'_k$ )が算出される。

#### 【0064】

$$m'_k = (P_{in\_mon\_k} - P_{ase\_k}) / P_{in\_design} \quad \dots (1)$$

そして、得られた波長数( $m'_k$ )が前記閾値により量子化されて、概算波長数( $m_k$ )が決定される。例えば、 $0.7 \leq m'_k < 1.41$ であれば $m_k = 1$ 、 $1.41 \leq m'_k < 2.82$ であれば $m_k = 2$ 、 $2.82 \leq m'_k < 5.15$ であれば $m_k = 4$ 、 $5.15 \leq m'_k < 11.3$ であれば $m_k = 8$ 、 $11.3 \leq m'_k < 22.6$ であれば $m_k = 16$ という具合である。ただし、概算波長数 $m_k$ の最大値は各帯域に含まれ得る最大波長数に制限される。また、既述のように、概算波長数 $m_k$ を求める際の閾値は帯域41, 42, 43毎に異なるのが好ましい。

## 【 0 0 6 5 】

次いで、帯域別信号波長数演算部 2 1 は、上述のごとく得られた各帯域 4 1 , 4 2 , 4 3 の概算波長数  $m_k$  の合計を信号帯域 4 0 の全波長数  $m$  とし、算出した波長数  $m$  を基に、下記式 ( 2 ) により、1 波長あたりの信号光入力パワー (  $P_{in}$  ) を決定する。ただし、下記の式 ( 2 ) において、 $P_{ase}$  は各帯域 4 1 , 4 2 , 4 3 の上記 A S E パワー  $P_{ase\_k}$  の合計を表す。

$$P_{in} = ( P_{in\_mon\_k} - P_{ase} ) / m \quad \dots ( 2 )$$

そして、このようにして得られた 1 波長あたりの信号光入力パワー  $P_{in}$  と、目標出力光パワー (  $P_{out\_target}$  ) とを基に、目標利得演算部 2 2 が、下記式 ( 3 ) により、目標利得 (  $G_t$  ) を決定する ( 以上、ステップ S 3 の N o ルートからステップ S 5 )。 10

$$G_t = P_{out\_target} / P_{in} \quad \dots ( 3 )$$

利得一定制御部 2 0 は、定常状態における目標利得 ( 所定値 ) を上述のごとく算出された目標利得  $G_t$  に変更する ( ステップ S 6 )。その後、所定時間  $t = b$  ( システムレベル調整の制御応答時間よりも十分遅い時間 ) が経過するまで ( ステップ S 7 で  $t = b$  となるまで )、帯域別信号波長数演算部 2 1 及び目標利得演算部 2 2 において目標利得  $G_t$  が算出され、利得一定制御部 2 0 は、このように逐次更新される目標利得  $G_t$  に従って E D F 1 1 への励起光パワーを高速に調整 ( 補正 ) し ( A G C の目標利得を  $G_t$  に変更し )、例えば  $1 \mu s$  オーダの速い変化で生じる過渡変動に追従してこれを抑圧する ( ステップ S 7 の「 $t < b$ 」で示すルートからステップ S 5 , S 6 及び図 9 の実線波形 5 2 参照)。なお、上記の所定時間  $t$  は、例えば、通常、光増幅器 1 の応答に遅れて O A D M ノード 1 0 0 内の出力調整のための光可変減衰器 ( 図示省略 ) が働き出すことから、光増幅器 1 の出力と O A D M ノード 1 0 0 内の光可変減衰器の応答が安定するまでの時間である。 20

## 【 0 0 6 6 】

その後、上記所定時間  $t = b$  が経過すると、利得一定制御部 2 0 は、目標利得  $G_t$  をその時点での値にいったん固定し ( ステップ S 8 及び図 9 の符号 B 参照 )、光増幅器 1 の全信号帯域 4 0 をモニタする入力 P D 1 7 - 3 及び出力 P D 1 9 による入出力モニタ値に基づいて利得一定制御 ( フィードバック制御 ) を行なった後、目標利得  $G_t$  を設計利得値 ( 所定値 ) へ伝送システムで用いられる他のアクティブデバイスの応答時間よりも遅く徐々に ( 例えば、 $0.1 \text{ dB}$  ずつ ) 近づけて ( 戻して ) ゆく ( ステップ S 9 , ステップ S 1 0 の Y e s ルート及び図 9 の符号 C 参照)。目標利得  $G_t$  が上記設計利得値に達すると、利得一定制御部 2 0 は、定常状態での制御に移行する ( ステップ S 1 0 の Y e s ルートからステップ S 1 1 )。 30

## 【 0 0 6 7 】

以上のように、S H B 帯域 4 1 , 利得偏差帯域 4 2 及び S R S 帯域 4 3 のそれぞれについて算出した信号波長数に基づいて、目標利得  $G_t$  を逐次更新して高速に利得調整 ( 補正 ) することにより、図 9 中に実線波形 5 2 で示すごとく、障害発生等で信号波長数が急激に変化して光増幅器 1 への入力光パワーが急変したとしても、出力信号光レベル ( 残留信号光レベル ) の変動 ( 過渡変動 ) を最小限に抑圧する ( つまり、A L C を実現すること ) が可能となり、過渡的な出力パワー変化の累積を抑圧することが可能となる。なお、図 9 中に示す点線波形 5 3 は従来の A G C による制御での残留信号光レベルの過渡変動を示しており、本実施形態の制御に比して大きな過渡変動が発生することが分かる。 40

## 【 0 0 6 8 】

したがって、例えば図 1 0 に示すごとく、従来の A G C を用いた伝送システムでは、最大伝送波長数 4 0 波のうち 3 9 波が切断された場合、残留信号光パワーの変化量は光増幅器 1 を通過する毎に減少してゆく ( 符号 5 3 参照 ) のに対し、O A D M ノード 1 0 0 の出力側に設置されるポストアンプ 1 に本実施形態の光増幅器 ( A G C ) を適用することによ 50

り、残留信号光パワーの変化量を1/10程度に抑圧することが可能(符号54参照)である。これは、図11に示すごとく、信号受信端(例えば図25でいえば光受信器101)での光SN比として4dB程度の改善効果が得られることを示している。

【0069】

また、信号帯域40を3分割して各分割帯域41, 42, 43の入力光パワーをモニタする構成なので、従来のように信号波長数を求めるために波長単位で分波する波長分波器(DEMUX)を必要としないので、雑音特性(NF)の劣化も抑圧することができる。

〔A1〕利得制御方法の変形例

次に、以下では、上述した利得制御方法の他の例について説明する。

【0070】

光増幅器1の試験結果、例えば、波長配置と、信号波長数が変化する前と後の状態と、全波長が入力されたときの光増幅器1の利得波長特性とから、目標利得 $G_t$ を算出することが可能である。事前に算出したこの目標利得 $G_t$ を光増幅器1内のデータベース23(図2参照)に保持しておき、波長配置と信号波長数が変化した際に、このデータベース23を参照して目標利得 $G_t$ を更新(選択)する。

10

【0071】

ここで、目標利得の算出方法としては、例えば、以下のように取り決められる。

(1)SHB帯域41の信号波長数が多い(所定数以上残留した)まま、他の帯域42, 43(特に、利得偏差帯域42)で大幅(所定数以下)に信号波長数が減少した場合には、目標利得 $G_t$ を定常状態の利得値から減少させる。

20

(2)SHB帯域41の信号波長数が大幅(所定数以下)に減少した場合には、目標利得 $G_t$ を定常状態の利得値から増加させる。

【0072】

(3)SHB帯域41の波長数変化前の信号波長数が少ない(規定値 $k$ 未満の)場合には、目標利得 $G_t$ は変化させない。

(4)SHB帯域41の信号波長数が大幅に減少し(規定値 $k$ 未満)、かつ、全信号帯域40の信号波長数が規定値 $m$ 以下となる場合には、目標利得 $G_t$ を定常状態の利得値から増加させる。

【0073】

(5)全信号帯域40の信号波長数が規定値 $n$ 以上の状態からSRB帯域43以外の信号波長数が規定値 $p$ 以下となり、SRB帯域43に残った信号波長数が少数であると判断した場合には、目標利得を定常状態の利得値から増加させる。

30

以上の更新動作を基本として、光増幅器1の利得波長特性に従って利得調整量を決定する。即ち、

(6)平均利得の高い帯域に信号波長数が多いまま、その他の帯域で大幅に信号波長数が減少した場合には、目標利得 $G_t$ を定常状態の利得値から増加させる。

【0074】

(7)平均利得の低い帯域に信号波長数が多いまま、その他の帯域で大幅に信号波長数が減少した場合には、目標利得 $G_t$ を定常状態の利得値から減少させる。

以上の動作を実現する目標利得 $G_t$ の算出結果(目標利得設定テーブル)の一例を図12に示す。この図12に示す目標利得設定テーブル231が上記データベース23に予め保持される。なお、この図12に示すテーブル231において、「前」は信号波長数の変動前、「後」は信号波長数の変動後を表しており、印は帯域41, 42又は43内の信号波長数が或る一定波長数(規定値)以上であることを表し、印は帯域41, 42又は43内の信号波長数が或る一定波長数(規定値)以下であることを表している。

40

【0075】

したがって、一例として、このテーブル231の符号Aで示す行は、波長数変動前後で、SHB帯域41には一定波長数以上(多く)の信号波長が残っており、かつ、利得偏差帯域42及びSRB帯域43にはいずれも一定波長数以下の(少ない)信号波長が残っている状況においては、目標利得 $G_t$ を減少させ、同様に、符号Bで示す行は、波長数変動

50

前後で、SHB帯域41及びSR S帯域43にはいずれも一定波長数以下の(少ない)信号波長が残っており、かつ、利得偏差帯域42には一定波長数以上(多く)の信号波長が残っている状況においては、目標利得 $G_t$ を増加させることをそれぞれ示している。

#### 【0076】

この場合、目標利得演算部22(図2参照)は、信号波長数(波長配置)が変化した場合、帯域別信号波長数演算部21で求められた各帯域41, 42, 43の信号波長数(波長配置)に基づいて上記テーブル231を参照(検索)することによって該当する目標利得 $G_t$ を選択することにより目標利得 $G_t$ を逐次更新することになる。

以下、本例による利得制御方法について、図13に示すフローチャートを参照しながら説明する。

#### 【0077】

まず、本例においても、定常状態(信号波長数変化が許容量よりも少ない状態)では、利得一定制御部20により、PD17-3及びPD19によるEDF11の入出力モニタ値に基づきEDF11の利得が所定の利得値となるように利得一定制御が行なわれている(ステップS1, S2及びステップS3のYesルートからステップS4)。このとき、利得調整部30の帯域別信号波長数演算部21では、上述したごとく各帯域41, 42, 43の信号波長数をカウントして信号波長数の変化を監視している(ステップS2, S3)。

#### 【0078】

かかる状態において、例えば、全信号波長数の半分以上(40波のうち39波など)が障害等によって入力されなくなり、光増幅器1への入力光パワー(PD17-3でモニタ)が3dB低下(図9の矢印51参照)したとすると、目標利得演算部22が、帯域別信号波長数演算部21により得られる帯域41, 42, 43毎の波長数情報から波長配置と波長数変化とを認識し、これらを基にデータベース23の目標利得設定テーブル231を参照して、該当する目標利得 $G_t$ [利得調整量(励起光源駆動電流値)]を取得(選択)する(ステップS3のNoルートからステップS5)。

#### 【0079】

利得一定制御部20は、この目標利得演算部22からの目標利得 $G_t$ の設定に従って励起光パワー制御を行ない(AGCの目標利得を $G_t$ に変更し)、例えば1 $\mu$ sオーダの速い変化で生じる過渡変動に追従してこれを抑圧する(ステップS6及び図9の実線波形52参照)。その後、利得一定制御部20は、光増幅器1の全信号帯域40をモニタする入力PD17-3及び出力PD19(図2参照)による入出力モニタ値に基づいて利得一定制御(フィードバック制御)を行なう。ただし、利得は目標利得 $G_t$ とする。

#### 【0080】

そして、一定時間経過後、利得一定制御部20は、伝送システムで用いられる他のアクティブデバイスの応答時間よりも遅く(例えば、0.1dBずつ)目標利得 $G_t$ を設計利得値(所定値)に近づけてゆく(ステップS9, ステップS10のYesルート及び図9の符号C参照)。目標利得 $G_t$ が上記設計利得値に達すると、利得一定制御部20は、定常状態での制御に移行する(ステップS10のYesルートからステップS11)。

#### 【0081】

なお、ラマン増幅を適用するアップグレードでは、この過渡応答対策用のモニタをラマン増幅器のチルトモニタとして兼ねることもできる。

以上のように、本変形例によれば、SHB帯域41, 利得偏差帯域42及びSR S帯域43のそれぞれについて算出した信号波長数に基づいて、目標利得 $G_t$ をデータベース23の目標利得設定テーブル231から選択・設定するという簡易かつ高速な制御で、上述した実施形態と同様に、出力信号光レベル(残留信号光レベル)の変動(過渡変動)を最小限に抑圧して、過渡的な出力パワー変化の累積を抑圧することが可能となる。

#### 【0082】

したがって、本例においても、最大伝送波長数40波のうち39波が切断された場合でも、残留信号光パワーの変化量を1/10程度に抑圧することが可能であり、信号受信端

10

20

30

40

50

での光SN比として4dB程度の改善効果が得られる。

〔A2〕帯域別入力光モニタ部10の変形例

上述した実施形態では、信号帯域40のうちSHB帯域41及びSR S帯域43についてそれぞれPD17-1, 17-2により入力信号光パワーをモニタし、PD17-4のモニタ値からこれらPD17-1, 17-2による各モニタ値を差し引くことによって、利得偏差帯域42の入力信号光パワーを演算により求める構成となっているが、3つの帯域41, 42, 43のそれぞれについてPDを用いて入力信号光パワーをモニタする構成にすることもできる。

【0083】

即ち、例えば図14に示すように、SHB帯域41, 利得偏差帯域42及びSR S帯域43のそれぞれについてPD17-1, PD17-2, PD17-3を用意し、光カプラ(3dBカプラ)13, エッジフィルタ16-1, 16-2を用いて信号帯域40を上記各帯域41, 42, 43に3分割して各PD17-1, 17-2, 17-3に入力する構成とする。

【0084】

また、例えば図15に示すように、3dBカプラ13, 14と、各帯域41, 42, 43用のバンドパスフィルタ15-1, 15-2, 15-3と、各帯域41, 42, 43用のPD17-1, 17-2, 17-3を用いることによって、同様に、各帯域41, 42, 43別にそれぞれの入力信号光パワーをモニタすることが可能である。

いずれの構成によっても、上記のような利得偏差帯域42の入力信号光パワーの演算が不要になるので、より高速な制御が実現可能である。

【0085】

〔A3〕その他

なお、上述した実施形態では、いずれも、信号波長帯域40をSHB帯域41, 利得偏差帯域42およびSR S帯域43の3つの帯域に分割して各分割帯域41, 42, 43の信号波長数を求める構成になっているが、SHB帯域41とそれ以外の帯域(利得偏差帯域42を含む)、あるいは、SR S帯域43とそれ以外の帯域(利得偏差帯域42を含む)の2つに2分割して各分割帯域の信号波長数を求める構成にしてもよい。この場合であっても、従来よりも残留信号光パワーの変動の抑圧効果を期待することができる。

【0086】

また、上述した実施形態では、本発明をポストアンプ1に適用した例について説明したが、勿論、プリアンプ3又は5(図1参照)に適用することもできる。

〔B〕第2実施形態の説明

次に、以下では、高速応答で低コストな利得等化デバイスについて説明する。前述したように、信号光の信号状態の動的な変化によって発生する信号光の波長平坦性の変化は主にEDFA中で発生するSHB、EDFAの利得偏差、光伝送路中で発生するSR Sが要因として挙げられる。そして、各々の要因は波長によって効果の大きさが異なり、例えば、Cバンド(1532nm~1563nm)では、短波長ほどSHB, 利得偏差及びSR Sの効果が大きいのに対して、長波長はSR S及び利得偏差の効果、これらの中間の波長帯域は利得偏差の効果は他の2つの要因と比較して大きくなる。

【0087】

したがって、信号光状態(波長数及び波長配置)の変化に伴う利得波長特性の変化は、高価となる波長単位の補償ではなく、発生要因の内訳に応じて信号帯域を分割し、帯域単位で補償することによって十分な効果が得られる。そこで、図3により前述したごとく、信号帯域40をSHB帯域41, 利得偏差帯域42及びSR S帯域43の3つの帯域に分割し、これらの帯域41, 42, 43単位で信号光の出力等化する手段(利得等化デバイス)を安価かつ簡易に実現して、波長数及び波長配置の変化による伝送エラーの発生を防ぐ。

【0088】

(B1)高速応答特性を有する利得等化デバイスの説明

10

20

30

40

50

図 26 は本発明の第 2 実施形態に係る利得等化デバイスの構成を示すブロック図で、この図 26 に示す利得等化デバイス（帯域単位利得等化器）60 は、例えば、2 つのサーキュレータ 601、602 と、3 種類の反射型デバイス 603、608、609 と、2 つの WDM カブラ 604、610 と、3 つの可変光減衰器（VOA）605、606、607 とをそなえて構成され、サーキュレータ 601 の一方の出力ポートに VOA 605 が接続され、この VOA 605 に反射型デバイス 608、609 が直列に接続され、さらに後段の反射型デバイス 609 の出力にサーキュレータ 602 の一方の入力ポートが接続されるとともに、サーキュレータ 601 の他方の出力ポートに反射型デバイス 603 が接続され、この反射型デバイス 603 に WDM カブラ 604 が接続され、この WDM カブラ 604 の一方の出力に VOA 606、他方の出力に VOA 607 が接続され、さらに、これらの VOA 606、607 の出力が WDM カブラ 610 に接続され、この WDM カブラ 610 の出力が後段のサーキュレータ 602 の他方の入力ポートに接続されている。

10

#### 【0089】

ここで、サーキュレータ（第 1 の光サーキュレータ）601 は、入力 WDM 光（主信号光）を反射型デバイス 603 へ導くとともに、反射型デバイス 603 からの入力光を VOA 605 へ導くものであり、反射型デバイス（利得偏差帯域反射デバイス）603 は、サーキュレータ 602 からの入力主信号光のうち前記利得偏差帯域（以下、「中間帯域」ともいう）42 の波長の光を反射する一方、それ以外の波長の光（つまり、前記 SHB 帯域 41 及び SRS 帯域 43 の光）を WDM カブラ 604 へ透過するもので、例えば、かかる波長反射/透過特性をもつ反射型グレーティングとして構成することができる（他の反射型デバイス 608、609 についても同様）。

20

#### 【0090】

VOA 605、606、607 は、それぞれ、入力光の減衰度を調整することにより出力光パワーを調整するもので、それぞれの減衰度は図 28 又は図 29 により後述する制御部 70（利得等化制御部 74）によって個別に調整されるようになっている。なお、これらの VOA 605、606、607 は、それぞれ、OADM ノード 100 でのレベル補償制御の応答速度（～10ms 程度）と比べて十分速い（マイクロ秒オーダの）応答速度をもつ（例えば、～数 10μs 程度）ものとし、故に、以下において、高速 VOA 605、606、607 と表記することがある。

#### 【0091】

WDM カブラ（帯域分離デバイス）604 は、上記反射型デバイス 603 を透過してきた入力光を SHB 帯域 41 の光と SRS 帯域 43 の光とに分波して、SHB 帯域の光は VOA 607 へ、SRS 帯域の光は VOA 606 へ出力するもので、これにより、SHB 帯域 41 の光と SRS 帯域 43 の光とについて VOA 606、607 で個別に出力パワー調整を行なうことが可能となる。なお、上記とは逆に、SHB 帯域 41 の光を VOA 606 へ、SRS 帯域 43 の光を VOA 607 へ出力するようにしてもよい。

30

#### 【0092】

WDM カブラ（帯域合波デバイス）610 は、VOA 606 及び VOA 607 の出力光を合波してサーキュレータ 602 へ出力するものであり、サーキュレータ（第 2 の光サーキュレータ）602 は、反射型デバイス 609 側から入力される光を出力ポートへ導く一方、WDM カブラ 610 側から入力される光を VOA 605（反射型デバイス 608、609）側へ導くものである。つまり、本例では、SHB 帯域 41 及び SRS 帯域 43 の光が、このサーキュレータ 602 にて反射型デバイス 609 側へ導かれることになる。

40

#### 【0093】

そして、反射型デバイス（SHB 帯域反射デバイス）608 は、SHB 帯域 41 の光を反射し、それ以外の波長の光は透過するものであり、反射型デバイス（SRS 帯域反射デバイス）609 は、SRS 帯域 43 の光を反射し、それ以外の波長の光は透過するものである。したがって、本例では、VOA 605 からの光（つまり、利得偏差帯域 42 の光）は、反射型デバイス 608 及び 609 をいずれも透過してサーキュレータ 602 へ導かれ、VOA 606、607、WDM カブラ 610 及びサーキュレータ 602 を経由した光（

50

つまり、SHB帯域41及びSRS帯域43の光)は、反射型デバイス608, 609で反射されて、再度、サーキュレータ602へ導かれることになる。

【0094】

つまり、上記のサーキュレータ601, 602, 反射型デバイス603, 608, 609, WDMカプラ604, 610は、入力波長多重光の信号波長帯域40をSHB帯域41, 中間帯域42及びSRS帯域43の3帯域に分割する帯域分割手段として機能し、上記のVOA607はSHB帯域41用、VOA605は中間帯域(利得偏差帯域)42用、VOA606はSRS帯域43用の可変光減衰器として機能し、これらのVOA605, 606, 607によって、上記分割帯域41, 42, 43単位で出力光パワーを調整する調整手段が実現されていることになる。

10

【0095】

このような構成により、本例の利得等化デバイス60では、入力光が上記帯域41, 42, 43別に図27に示すような光路83, 81, 82を辿って伝搬して、これらの帯域41, 42, 43別にVOA605, 606, 606によって独立して出力光パワーの調整を行なうことが可能となる。

即ち、利得等化デバイス60への入力光は、まず、サーキュレータ601により反射型デバイス603へ導かれるが、光路81で示すごとく、利得偏差帯域42の光は、反射型デバイス603にて反射されて、再度、サーキュレータ601へ導かれ、VOA605, 反射型デバイス608及び609を経由してサーキュレータ602へ導かれて、その出力ポートから出力される。

20

【0096】

これに対し、SHB帯域41の光は、光路83で示すごとく、SRS帯域43の光とともに反射型デバイス603を透過してWDMカプラ604へ導かれた後、WDMカプラ604によりVOA607へ導かれ、VOA607, WDMカプラ610, サーキュレータ602, 反射型デバイス609を経由して反射型デバイス608へ導かれる。そして、当該反射型デバイス608にて反射され、さらに、反射型デバイス609を透過してサーキュレータ602の出力ポートから出力される。

【0097】

また、SRS帯域43の光は、光路82で示すごとく、SHB帯域41の光とともに反射型デバイス603を透過してWDMカプラ604へ導かれた後、WDMカプラ604によりVOA606へ導かれ、VOA606, WDMカプラ610, サーキュレータ602を経由して反射型デバイス609へ導かれ、当該反射型デバイス609にて反射されてサーキュレータ602の出力ポートから出力される。

30

【0098】

したがって、上記の各光路81, 82, 83上にそれぞれ設けられている高速VOA605, 606, 607の減衰度を個別に調整(制御)することにより、利得偏差帯域42, SRS帯域43, SHB帯域41の帯域別に独立してそれぞれの出力光パワーを調整することが可能となり、これにより、信号波長帯域40に生じた利得偏差(出力光パワー偏差)を波長単位ではなく帯域41, 42, 43単位で高速に(従来のようなミリ秒オーダーではなくマイクロ秒オーダーで)補償(等化)することが可能となる。

40

【0099】

その結果、高価な高速VOAを波長毎にそなえる必要がなく、信号波長帯域40の波長数によらず各帯域41, 42, 43用の3つを用意すれば足りるので、高速応答特性を有する利得等化デバイス60を安価に実現することができる。

なお、本例の利得等化デバイス60は、上記の各光路81, 82, 83で同程度の損失が生じるように設計されている。即ち、光路81には、サーキュレータ601, 反射型デバイス603, VOA605, 反射型デバイス608, 609及びサーキュレータ602の計6つの光部品が存在し、光路82には、サーキュレータ601, 反射型デバイス603, WDMカプラ604, VOA606, WDMカプラ610及びサーキュレータ602の計6つの光部品が存在し、光路83には、サーキュレータ601, 反射型デバイス60

50

3, WDMカブラ604, VOA607, WDMカブラ610及びサーキュレータ602の計6つの光部品が存在しており、いずれの光路81, 82, 83についても光が同数の光部品を経由するように構成されているのである。

#### 【0100】

これにより、利得等化デバイス60内において、各帯域41, 42, 43の光のパワー損失の偏差(ばらつき)を最小限に抑制することができるので、高速VOA605, 606, 607として同じもの、あるいは、同程度の減衰幅をもつものを適用すればよいので、製造コストも削減することができる。また、減衰度の制御も簡易化することが可能である。

#### 【0101】

(B2)利得等化デバイス60の適用例の説明

上述した利得等化デバイス60は、OADMノード100に適用することができ、例えば、図28に示すように、OADMノード100の分岐挿入部110の後段、あるいは、図29に示すように、OADMノード100の分岐挿入部110の前段に設けることができる。

#### 【0102】

即ち、図28及び図29に示すOADMノード100は、入力WDM光のうちの特定(任意)の波長の光についての分岐/挿入を行なう光分岐挿入部110と、WDMカブラ50と、光分岐挿入部110の前段又は後段に設けられた利得等化デバイス60と、利得等化デバイス60による利得等化を制御する制御部70とをそなえて構成され、さらに、この制御部70には、帯域毎モニタ部71, 損失量演算部72, 記憶部73及び利得等化制御部74がそなえられている。

#### 【0103】

ここで、光分岐挿入部110は、例えば、AWG(Arrayed Waveguide Grating)とVOAの組合せや、波長選択スイッチ(WSS: Wavelength. Selective Switch)などを用いて構成することができる。また、この光分岐挿入部110は、その出力光パワーをWDM光の波長別に調整する機能を有しており、信号光状態が定常状態の時(波長数及び波長配置に変化がない時)は、光分岐挿入部110から出力される各波長の信号光が予め定められたパワーとなるよう出力一定(ALC)制御を行ない、波長毎に出力等化を行なえるようになっている。

#### 【0104】

WDMカブラ50は、光分岐挿入部110又は光増幅器(EDFA)1から入力されるWDM光の一部をモニタ光としてパワー分岐して帯域毎モニタ部71へ出力するとともに、残りを利得等化デバイス60へ出力するものである。

また、制御部70において、帯域毎モニタ部71は、上記WDMカブラ50から入力されるモニタ光を基に前記SHB帯域41, 利得偏差帯域42及びSRB帯域43の各帯域別にそれぞれの受光パワー(1波あたりの平均信号光パワー)をモニタするもので、このモニタ機能は、例えば、図2や図14, 図15により前述した帯域別入力モニタ手段10と同等の構成により実現することができる。

#### 【0105】

記憶部73は、利得等化デバイス60の挿入位置に応じて、1波長あたりの平均出力光パワーの目標値(以下、目標出力光パワーともいう)を予め記憶しておくものであり、損失量演算部(差分検出部)72は、この帯域毎モニタ部71でのモニタ結果と記憶部73に記憶されている目標出力光パワーとの差分(損失量)を帯域41, 42, 43別に計算(検出)するものである。

#### 【0106】

そして、利得等化制御部74は、上記損失量演算部72にて得られた損失量が最小となるように(平均出力光パワーが目標出力光パワーとなるように)利得等化デバイス60、より詳細には、前記高速VOA605, 606, 607を個別に制御して前記帯域41, 42, 43の損失量を個別に調整することにより、信号波長帯域40に生じている損失量

10

20

30

40

50

のばらつき（利得偏差）を波長単位ではなく帯域 4 1 , 4 2 , 4 3 単位に補償するものである。

【 0 1 0 7 】

このような構成により、本例の O A D M ノード 1 0 0 では、波長パスの再構築等によって信号光状態が急激に変化した直後は、光分岐挿入部 1 1 0 による波長毎利得等化制御の応答速度が遅いため、過渡期間において、その損失特性が一定のまま（信号波長帯域 4 0 に出力光パワー偏差（利得偏差）が生じたまま）となるが、制御部 7 0 が、入力信号光の帯域 4 1 , 4 2 , 4 3 別に入力信号光パワーをモニタして、そのモニタ結果に基づいて、利得等化デバイス 6 0 の出力信号光における各帯域 4 1 , 4 2 , 4 3 の平均出力パワーが予め定められた目標出力光パワーとなるように、利得等化デバイス 6 0（V O A 6 0 5 , 6 0 6 , 6 0 7）を制御することで、上記利得偏差を高速に補償することが可能となる。

10

【 0 1 0 8 】

なお、上記構成では、帯域毎モニタ部 7 1 は、利得等化デバイス 6 0 の入力信号光パワーをモニタしている（つまり、フィードフォワード制御している）が、利得等化デバイス 6 0 の出力信号光パワーをモニタする（つまり、フィードバック制御する）構成としてもよい。

（ B 3 ） O A D M ノード 1 0 0 での制御方法の説明

以下、上記の利得等化デバイス 6 0 の制御方法（制御部 7 0 の動作）について、図 3 0 , 図 3 1 及び図 3 2 を参照しながら詳述する。

【 0 1 0 9 】

まず、図 3 1 に示すように、上記制御部 7 0 は、帯域毎モニタ部 7 1 により帯域 4 1 , 4 2 , 4 3 別にそれぞれの入力信号光パワーの平均値（平均パワー）を取得する（ステップ S 2 1）。この各帯域 4 1 , 4 2 , 4 3 の平均パワーは、それぞれ、損失量演算部 7 2 へ出力され、損失量演算部 7 2 は、例えば、まず、中間帯域 4 2 の平均パワーと記憶部 7 3 における信号波長帯域 4 0 についての目標出力パワー（つまり、この場合は、各帯域 4 1 , 4 2 , 4 3 で同じ目標出力パワーが設定されている）とを比較して（ステップ S 2 2）、両者が一致するか否かを判定する（ステップ S 2 3）。

20

【 0 1 1 0 】

その結果、一致していなければ、損失量演算部 7 2 は、一致するまで（ステップ S 2 3 で Y E S と判定されるまで）、中間帯域 4 2 の平均パワーが目標出力パワーとなるのに必要な利得等化デバイス 6 0（高速 V O A 6 0 5）の制御量を決定し、当該制御量に基づいて利得等化制御部 7 4 によって高速 V O A 6 0 5 を制御する（ステップ S 2 3 の N O ルートからステップ S 2 4）。

30

【 0 1 1 1 】

一方、中間帯域 4 2 の平均パワーと上記目標出力パワーとが一致している場合は、次に、損失量演算部 7 2 は、S H B 帯域 4 1 の平均パワーと上記目標出力パワーとを比較して（ステップ S 2 3 の Y E S ルートからステップ S 2 5）、両者が一致しているか否かを判定する（ステップ S 2 6）。その結果、一致していなければ、損失量演算部 7 2 は、一致するまで（ステップ S 2 6 で Y E S と判定されるまで）、S H B 帯域 4 1 の平均パワーが上記目標出力パワーとなるのに必要な利得等化デバイス 6 0（高速 V O A 6 0 7）の制御量を決定し、当該制御量に基づいて利得等化制御部 7 4 によって高速 V O A 6 0 7 を制御する（ステップ S 2 6 の N O ルートからステップ S 2 7）。

40

【 0 1 1 2 】

また、S H B 帯域 4 1 の平均パワーと上記目標出力パワーとが一致している場合は、次に、損失量演算部 7 2 は、S R S 帯域 4 3 の平均パワーと上記目標出力パワーとを比較して（ステップ S 2 6 の Y E S ルートからステップ S 2 8）、両者が一致しているか否かを判定する（ステップ S 2 9）。その結果、一致していなければ、損失量演算部 7 2 は、一致するまで（ステップ S 2 9 で Y E S と判定されるまで）、S R S 帯域 4 3 の平均パワーが上記目標出力パワーとなるのに必要な利得等化デバイス 6 0（高速 V O A 6 0 6）の制御量を決定し、当該制御量に基づいて利得等化制御部 7 4 によって高速 V O A 6 0 6 を制

50

御する（ステップ S 2 9 の N O ルートからステップ S 3 0 ）。

【 0 1 1 3 】

そして、S H B 帯域 4 1 の平均パワーと上記目標出力パワーとが一致すれば、すべての帯域 4 1 , 4 2 , 4 3 についての出力信号光パワーの上記目標出力パワーへの調整が完了し、信号波長帯域 4 0 に生じている利得偏差が等化（補償）される。なお、上記の例では、中間帯域 4 2 S H B 帯域 4 3 S R S 帯域 4 2 の順序で目標出力パワーとの比較、判定を行なっているが、当該順序は不問である。

【 0 1 1 4 】

以上の利得等化制御による各帯域 4 1 , 4 2 , 4 3 の出力信号パワーの変化のイメージを図 3 0 に示す。即ち、信号光状態が急激に変化した結果、図 3 0 の（ A ）に示すごとく、S H B 帯域 4 1 及び S R S 帯域 4 3 の平均パワーがいずれも目標出力光パワーよりも高く、中間帯域 4 2 の平均パワーが目標出力パワーよりも低い状態となっていた場合、上述した制御部 7 0 による利得等化制御が働くことによって、図 3 0 の（ B ）に示すごとく、すべての帯域 4 1 , 4 2 , 4 3 の平均パワーが目標出力パワーとなるように高速に調整される。

【 0 1 1 5 】

次に、上記 O A D M ノード 1 0 0 での定常状態と信号光状態に変化が発生した状態とにおける信号波長帯域 4 0 のパワー変化の様子について、図 3 2 を参照しながら説明する。

O A D M ノード 1 0 0 に入力される信号光は、光増幅器 1 の製造ばらつき等の理由から図 3 2 の（ A ）に示すような波長特性をもつ。定常状態では、光分岐挿入部 1 1 0 が追従できるため、光増幅器 1 の出力偏差は図 3 2 の（ B ）に示すごとく補償され、信号光の波長特性は平坦になる。したがって、この状態では、利得等化デバイス 6 0 の出力は、図 3 2 の（ C ）に示すごとく、目標出力パワーを満たしており（目標出力パワーに一致しており）、利得等化の必要はない。

【 0 1 1 6 】

続いて、波長パスの再構築等によって W D M 伝送システムの波長数が変化したとすると、光増幅器 1 の出力偏差は、S H B , S R S , 光増幅器 1 の平均 A G C に伴う動作点シフト等によって、図 3 2 の（ A ）に示す形状から、例えば図 3 2 の（ D ）に示すように変化する。このとき、光分岐挿入部 1 1 0 の波長毎 A L C による波長毎出力等化は応答速度が遅く、波長数変化直後は追従できない。

【 0 1 1 7 】

したがって、光分岐挿入部 1 1 0 の出力でも、図 3 2 の（ E ）に示すように、出力偏差が残留する。しかし、残留した出力偏差は、利得等化デバイス 6 0 によって、上述したごとく帯域 4 1 , 4 2 , 4 3 単位で利得等化されるので、図 3 2 の（ F ）に示すように出力偏差が軽減される。なお、各帯域 4 1 , 4 2 , 4 3 内の出力偏差は、本実施形態の利得等化デバイス 6 0 では補償しないため残留するが、帯域 4 1 , 4 2 , 4 3 間の出力偏差と比較してその影響は小さい。

【 0 1 1 8 】

以上のような利得等化機能（利得等化デバイス 6 0 及び制御部 7 0 ）を、W D M 伝送システムを構成する O A D M ノード 1 0 0 の全て又は一部に適用することで、利得等化デバイス 6 0 を装備する O A D M ノード 1 0 0 において、信号波長帯域 4 0 の出力光パワーが帯域 4 1 , 4 2 , 4 3 単位で目標出力パワーとなるように高速に調整されるため、出力偏差が累積されず、多段に伝送した際でも、受信端での伝送エラーの発生を防ぐことが可能となる。

【 0 1 1 9 】

例えば図 3 3 に示すように、W D M 伝送システムにおける中継光増幅器数が 3 0 台程度であったとすると、従来構成では、O A D M ノード 1 0 0 が追従できずに残留した出力偏差がそのまま累積し、多ノード伝搬すると信号光パワーが大きく減衰することが確認できる（符号 7 0 1 参照）のに対し、本例では、O A D M ノード 1 0 0 毎に出力光パワーを目標値に調整するため、多ノード伝送しても信号光パワーの劣化がみられず（符号 7 0 2 参

10

20

30

40

50

照)、従来構成に比して、8.5 dB程度の改善効果が得られることが分かっている。

【0120】

(B4) 利得等化デバイス60を用いたWDM伝送システムの調整手法の説明

光増幅器(EDFA)1の出力波長特性は、波長状態変化時の伝送エラー要因となるため、基本的に平坦(無偏差)であることが望まれる。しかし、実際には、EDFA1の製造ばらつきやOADMノード100の光部品の波長特性等によって偏差が発生する。そこで、上記の利得等化デバイス60を用いて、WDM伝送システム立ち上げ時に、製造ばらつきを補償するように調整を行なう。

【0121】

即ち、例えば図34に示すように、2台の光増幅器(EDFA)1(1a, 1b)の間に、OADMノード100と利得等化デバイス60とを介装してWDM伝送システムを構築し、前段のEDFA1aに規定のパワーの信号光を入力し、後段のEDFA1bの出力波長特性を前述したごとく帯域41, 42, 43別にモニタし、モニタした出力波長特性の各帯域41, 42, 43の平均出力パワーがそれぞれ予め与えられた目標出力パワーとなるように利得等化デバイス60の損失調整(フィードバック制御)を前記制御部70による利得等化制御と同様にして行なうことで、製造ばらつき等の影響を補償するのである。

【0122】

これにより、例えば、EDFA1a, 1bの出力波長特性に、図35の(A)に示すごとく、EDFA1a, 1bの製造ばらつきやOADMノード100の光部品の波長特性等によって信号波長帯域40に偏差が生じていたとしても、利得等化デバイス60の利得等化制御によって、図35の(B)に示すごとく、当該偏差を帯域41, 42, 43別に補償して平坦化することが可能である。なお、この場合も、フィードフォワード制御によって、上記信号波長帯域40の偏差を補償するようにしてもよい。

【0123】

(B5) 利得等化デバイス60を用いた光増幅器(EDFA)1の説明

上述した利得等化デバイス60は、光増幅器(EDFA)1に適用することも可能である。図36に、本例でのEDFA1の構成を示す。この図36に示すEDFA1は、主信号光伝送系として、例えば、2段構成のEDF(増幅媒体)11A, 11Bと、前段のEDF11Aの入力側にそれぞれ設けられた、WDMカプラ111, 光アイソレータ112, WDMカプラ113と、EDF11AとEDF11Bとの間にそれぞれ設けられた、ゲインコライザ(GEQ)114, 可変光減衰器(VOA)115, 利得等化デバイス60, WDMカプラ116, 光アイソレータ117及びWDMカプラ118と、後段のEDF11Bの出力側にそれぞれ設けられた、光アイソレータ119, WDMカプラ120及び121とをそなえて構成されている。

【0124】

また、制御系として、例えば、受光素子としてのフォトダイオード(PD)122, 123及び124と、励起光生成手段としての励起レーザダイオード(LD)125, 126と、利得一定制御(AGC)部127とをそなえるとともに、前記制御部70(図28又は図29参照)と同等の利得等化制御を実現すべく、帯域毎モニタ部71, 損失量演算部72, 記憶部73及び利得等化制御部74をそなえて構成されている。

【0125】

ここで、上記主信号光伝送系において、WDMカプラ111は、入力主信号光(WDM光)の一部をモニタ光としてパワー分岐してPD122へ出力するものであり、光アイソレータ112は、WDMカプラ111を透過してくる主信号光を後段のWDMカプラ113側への一方向にのみ透過して、WDMカプラ112への反射戻り光を防止するためのものであり、WDMカプラ125は、励起LD125からのEDF11Aのための励起光をEDF11Aの前方から主信号光に結合してEDF11Aへ入力するためのものである。

【0126】

EDF11Aは、上記励起LD125が生成した励起光を受けることにより主信号光を

増幅するものであり、GEQ114は、固定の利得等化特性を有し、EDF11Aからの主信号光について波長単位で利得等化を行なうものであり、VOA115は、その減衰率が調整されることにより、GEQ114による利得等化後の主信号光パワーを調整するものである。

【0127】

利得等化デバイス60は、前述したとおり、入力主信号光の信号波長帯域40に生じている利得偏差をSHB帯域41，中間帯域42及びSR S帯域43の帯域単位で利得等化を行なうものである。ただし、本例では、利得等化動作の応答速度が、OADMノード100での波長毎ALCの応答速度と比較して、高速なデバイス（高速VOA605，606，607）を用いても良いし、低速なデバイスを用いても良い。なお、利得等化デバイス60をEDF11AとEDF11Bとの段間に挿入しているのは、光増幅器1全体の特性（雑音特性、増幅効率）を考慮した場合に、EDF11Aの前段やEDF11Bの後段に設ける場合に比して、良好な特性が得られるためである。

10

【0128】

WDMカプラ116は、利得等化デバイス60の出力光の一部をモニタ光としてパワー分岐してPD123へ出力するものであり、光アイソレータ117は、WDMカプラ116を透過してくる主信号光を後段のWDMカプラ118側への一方向にのみ透過して、WDMカプラ116への反射戻り光を防止するためのものであり、WDMカプラ118は、励起LD126からのEDF11Bのための励起光をEDF11Bの前方から主信号光に結合してEDF11Bへ入力するためのものである。

20

【0129】

EDF11Bは、上記励起LD126が生成した励起光を受けることにより入力主信号光を増幅するものであり、光アイソレータ119は、EDF11Bからの主信号光を後段のWDMカプラ120側への一方向にのみ透過して、EDF11Bへの反射戻り光を防止するためのものであり、WDMカプラ120は、光アイソレータ119を透過してくる主信号光の一部をモニタ光としてパワー分岐してPD124へ出力するものであり、WDMカプラ121は、WDMカプラ120を透過してくる主信号の一部をモニタ光としてパワー分岐して帯域毎モニタ部71へ出力するものである。

【0130】

また、上記制御系において、PD122，123，124は、それぞれ、WDMカプラ111，116，120から入力されるモニタ光の受光量（パワー）に応じた電気信号（電圧信号）をAGC部127へ出力するものであり、励起LD125，126は、EDF11A，11Bのための上記励起光を生成するものであり、AGC部127は、上記の各PD122，123，124からの受光パワー（トータルパワー）に応じた電圧信号（つまり、パワーモニタ値）に基づいて、即ち、EDF11A，11Bの入出力光パワーと目標利得とに基づいて、励起LD125，126を個別に制御することにより、EDFA1としての利得を一定に保つように制御するものである。

30

【0131】

そして、帯域毎モニタ部71，損失量演算部72，記憶部73及び利得等化制御部74は、それぞれ、図28及び図29により前述したものと同様のもので、帯域毎モニタ部71は、WDMカプラ121からの主信号光についてのモニタ光をSHB帯域41，中間帯域42，SR S帯域43の3帯域に分割してそれぞれの帯域41，42，43別に主信号光パワー（平均パワー）を取得して、損失量演算部72へ出力するものである。

40

【0132】

また、記憶部73は、EDFA1の1波長あたりの目標出力パワー、つまり、主信号光の信号波長帯域40（SHB帯域41，中間帯域42及びSR S帯域43）についての目標出力パワー（平均値）を予め記憶しておくものであり、損失量演算部72は、上記帯域41，42，43別の平均パワーと記憶部73における目標出力パワーとを比較して各帯域41，42，43の損失量を求めるものであり、利得等化制御部74は、この損失量演算部72により求められた損失量に応じて利得等化デバイス60のVOA605，606

50

、607を個別に制御することにより、帯域41、42、43単位で主信号光出力パワーが目標出力パワーとなるように制御して、信号波長帯域40に生じている利得偏差を補償するものである。

【0133】

上述のごとく構成されたEDFA1では、各EDF11A、11Bの入出力信号光のトータルパワーをPD122、123、124によってモニタした結果と目標利得とに基づいて、AGC部127によって、励起LD125、126の出力光パワーが制御されることで、平均AGCが行なわれるとともに、帯域毎モニタ部71、損失量演算部72、記憶部73及び利得制御部74によって、帯域41、42、43別に主信号光の目標出力パワーに対する損失量が求められて、当該損失量に応じて各帯域41、42、43の主信号光パワーが上記目標出力パワーとなるように、利得等化デバイス60の損失量が帯域41、42、43別に調整されて、信号波長帯域40に生じている利得偏差が抑圧される。

10

【0134】

(B6)利得等化デバイス60を具備する上記EDFA1の制御手法の説明

次に、図36により上述した構成を有するEDFA1での利得等化制御について、図37及び図38を参照しながら詳述する。なお、本例でのEDFA1では、制御の安定性を考慮して、利得等化デバイス60による利得等化制御は、OADMノード100の波長単位の出力等化制御と比較して、十分遅い応答速度(1秒程度)で行なうこととする。

【0135】

まず、EDFA1では、AGC部127による平均AGCが行なわれる。即ち、図37に示すように、PD122、122、123によって、EDF11A、11Bの入出力信号光のトータルパワーが取得(モニタ)され(ステップS31)、そのモニタ結果に基づいてAGC部127において、平均利得が求められ、当該平均利得と予めメモリ(図示省略)等に記憶されているAGCの目標利得とが比較されて(ステップS32)、上記モニタにより得られた平均利得が目標利得となっているか否かが判定される(ステップS33)。

20

【0136】

その結果、上記モニタにより得られた平均利得が目標利得となっていなければ(ステップS33でNOであれば)、AGC部127は、目標利得となるまで(ステップS33でYESと判定されるまで)、励起LD125、126を個別制御して、励起光出力パワーを適宜調整する(ステップS33のNOルートからステップS34)。

30

一方、上記の平均利得が目標利得となっていれば(ステップS33でYESと判定されれば)、次に、利得等化デバイス60による利得等化制御が動作する。即ち、帯域毎モニタ部71によって、各帯域41、42、43のそれぞれについての平均パワーを取得し(ステップS33のYESルートからステップS35)、損失量演算部72において、まず、例えば中間帯域42についての平均パワーと目標出力パワーとを比較し(ステップS36)、当該平均パワーが目標出力パワーとなっているかを判定する(ステップS37)。

【0137】

その結果、目標出力パワーとなっていなければ(ステップS37でNOであれば)、損失量演算部72は、目標出力パワーとなるまで(ステップS37でYESと判定されるまで)、目標出力パワーとの差分(つまり、損失量)を求め、利得等化制御部74によって当該損失量が最小となるように利得等化デバイス60のVOA605の減衰量を調整することにより、中間帯域42についての損失量を調整(補償)する(ステップS38)。

40

【0138】

これに対し、中間帯域41についての平均パワーが目標出力パワーとなれば(ステップS37でYESなら)、損失量演算部72は、次に、例えばSHB帯域41の平均パワーと目標出力パワーとを比較し(ステップS39)、当該平均パワーが目標出力パワーとなっているかを判定する(ステップS40)。

その結果、SHB帯域41の平均パワーが目標出力パワーとなっていなければ(ステップS40でNOであれば)、損失量演算部72は、目標出力パワーとなるまで(ステップ

50

S 4 0でYESと判定されるまで)、目標出力パワーとの差分(損失量)を求め、利得等化制御部74によって当該損失量が最小となるように利得等化デバイス60のVOA607の減衰量を調整することにより、SHB帯域41についての損失量を調整(補償)する(ステップS41)。

【0139】

一方、SHB帯域41についての平均パワーが目標出力パワーとなれば(ステップS40でYESなら)、損失量演算部72は、次に、SR S帯域43の平均パワーと目標出力パワーとを比較し(ステップS42)、当該平均パワーが目標出力パワーとなっているかを判定する(ステップS43)。

その結果、SR S帯域43の平均パワーが目標出力パワーになっていなければ(ステップS43でNOであれば)、損失量演算部72は、目標出力パワーとなるまで(ステップS43でYESと判定されるまで)、目標出力パワーとの差分(損失量)を求め、利得等化制御部74によって当該損失量が最小となるように利得等化デバイス60のVOA606の減衰量を調整することにより、SR S帯域43についての損失量を調整(補償)する(ステップS44)。

【0140】

そして、SR S帯域43の平均パワーが目標出力パワーとなれば(ステップS43でYESと判定されれば)、すべての帯域41, 42, 43の平均パワーが目標出力パワーに調整されて、信号波長帯域40の利得偏差が補償されて平坦化される。なお、本例では、中間帯域42 SHB帯域41 SR S帯域43の順序で調整を行なっているが、これら

【0141】

ここで、EDFA1に上記利得等化制御を適用した場合の定常状態と信号光状態に変化が発生した状態とにおける信号波長帯域40のパワー変化の様子について、図38を参照しながら説明する。

EDFA1から出力される信号光パワーは、利得等化制御を行なわないと、製造ばらつき等の理由から図38の(A)に示すような波長特性をもつ。定常状態では、低速の利得等化デバイス60を用いても利得等化動作が追従するため、EDFA1の出力光パワー偏差は帯域41, 42, 43単位で図38の(B)に示すように等化される。このとき、残留した出力偏差は、OADMノード100の波長毎ALC機能によって図38の(C)に

【0142】

続いて、波長パスの再構築等によってWDM伝送システムの信号光状態(波長数及び波長配置)が変化し、EDFA1の出力信号が図38の(B)に示す波長特性から図38の(D)に示す波長特性に変化したとする。すると、EDFA1のAGC部127による平均AGCによって、図38の(D)に示す動作状態から動作点のシフトが起きて、波長特性が変化するが、定常状態の時点で図38の(B)に示すように利得偏差が小さくなるように利得等化デバイス60が調整されているため、動作点シフトによる波長特性の変化は図38の(E)に示すように比較的小さくなる。

【0143】

このとき、OADMノード100の波長毎ALC機能による波長毎の出力等化制御は追従できないが、上記のように利得等化デバイス60によって利得偏差が抑圧されているため、波長数変化による波長特性の変化が小さく、図38の(F)に示すように、出力偏差の累積も小さい。

したがって、WDM伝送システムを構成する各ノード(EDFA1)で発生する出力偏差の累積を抑圧することができ、多段に伝送した際でも、受信端での伝送エラーの発生を防ぐことが可能となる。なお、上述した利得等化デバイス60を装備したEDFA1は、WDM伝送システムを構成するすべての光増幅器として適用してもよいし、例えば図39に示すように、受信端で伝送エラーが発生しない範囲で、一部の光増幅器として適用してもよい。なお、この図39では、符号1Aが利得等化デバイス60を装備した光増幅器(

10

20

30

40

50

E D F A ) を示し、符号 1 は利得等化デバイス 6 0 を装備しない既存の光増幅器 ( E D F A ) を示している。

【 0 1 4 4 】

( B 7 ) 利得等化デバイス 6 0 の変形例の説明

次に、以下では、上述した利得等化デバイス 6 0 の変形例について説明する。特に、上述した利得等化デバイス 6 0 に高速応答特性が要求されない場合には、以下の第 1 変形例及び第 2 変形例に示す構成を適用することが、規模、コスト面等で有利である。

( B 7 . 1 ) 第 1 変形例

図 4 0 は上述した利得等化デバイス 6 0 の第 1 変形例を示すブロック図で、この図 4 0 に示す利得等化デバイス 6 0 は、特定の波長よりも長波長側の光を透過するハイパスフィルタとして機能するエッジフィルタ 6 1 1 と、特定の波長よりも短波長側の光を透過するローパスフィルタとして機能するエッジフィルタ 6 1 2 と、可変光減衰器 ( V O A ) 6 1 3 と、透過波長制御部 6 1 4 とをそなえて構成される。

10

【 0 1 4 5 】

ここで、エッジフィルタ ( 第 1 のエッジフィルタ ) 6 1 1 は、例えば図 4 1 に示すように、S H B 帯域 4 1 と中間帯域 4 2 との境界近傍の波長において透過帯域 ( 斜線部参照 ) の立ち上がりエッジ ( スロープ ) 部分 6 2 0 を有し、この立ち上がりエッジ部分 6 2 0 から長波長側の波長の光を透過する特性を有するもので、透過波長制御部 6 1 4 によって当該立ち上がりエッジ部分 6 2 0 を波長軸上でシフト ( 波長シフト ) させることができるようになっている。

20

【 0 1 4 6 】

また、エッジフィルタ ( 第 2 のエッジフィルタ ) 6 1 2 は、例えば図 4 2 に示すように、中間帯域 4 2 と S R S 帯域 4 3 との境界近傍の波長において透過帯域 ( 斜線部参照 ) の立ち下がりエッジ ( スロープ ) 部分 6 3 0 を有し、この立ち下がりエッジ部分 6 3 0 から短波長側の波長の光を透過する特性を有するもので、上記エッジフィルタ 6 1 1 と同様に、透過波長制御部 6 1 4 によって当該立ち下がりエッジ部分 6 3 0 を波長軸上でシフト ( 波長シフト ) させることができるようになっている。

【 0 1 4 7 】

したがって、これらのエッジフィルタ 6 1 1 及び 6 1 2 による合成透過帯域特性は、例えば図 4 3 に示すように、中間帯域 4 2 から S H B 帯域 4 1 及び S R S 帯域 4 3 に跨った台形状の特性となり、上記の各エッジ部分 6 2 0 , 6 3 0 を透過波長制御部 6 1 4 によって個別に適宜波長シフトすることで、S H B 帯域 4 1 及び S R S 帯域 4 3 の透過光量を変えることが可能となる。

30

【 0 1 4 8 】

透過波長制御部 6 1 4 は、エッジフィルタ 6 1 1 , 6 1 2 のフィルタ膜の角度をアクチュエータ等によって個別に変化させることによって、上記波長シフトを行なうものであり、V O A 6 1 3 は、その減衰量が調整されることにより、各エッジフィルタ 6 1 1 及び 6 1 2 を透過してきた光の出力パワーを調整するものである。

つまり、本例では、上記の各エッジフィルタ 6 1 1 , 6 1 2 が、入力波長多重光の信号波長帯域 4 0 を各帯域 4 1 , 4 2 , 4 3 に 3 分割する帯域分割手段として機能し、上記の V O A 6 1 3 及び透過波長制御部 6 1 4 が、分割された帯域 4 1 , 4 2 , 4 3 単位で出力光パワーを調整する調整手段として機能するのである。

40

【 0 1 4 9 】

本構成により、利得等化デバイス 6 0 は、エッジフィルタ 6 1 1 , 6 1 2 を制御して、それぞれの透過帯域のエッジ部分 6 2 0 , 6 3 0 を個別に波長シフトすることによって、S H B 帯域 4 1 と S R S 帯域 4 3 の出力光パワーをそれぞれ独立に制御することが可能となる。

したがって、図 2 6 により前述した構成に比して、より簡易な構成で安価に、利得等化デバイス 6 0 を実現することができる。

【 0 1 5 0 】

50

## ( B 7 . 2 ) 第 2 変形例

図 4 4 は上述した利得等化デバイス 6 0 の第 1 変形例を示すブロック図で、この図 4 4 に示す利得等化デバイス 6 0 は、直列に配列された 2 つのファイバグレーティング 6 1 5 , 6 1 6 と、これらのファイバグレーティング 6 1 5 , 6 1 6 に対応してそれぞれ設けられた透過特性制御手段 6 1 5 a , 6 1 6 a と、透過量制御部 6 1 7 と、可変光減衰器 ( V O A ) 6 1 8 とをそなえて構成されている。

## 【 0 1 5 1 】

ここで、入力側のグレーティング ( 第 1 の透過型ファイバグレーティング ) 6 1 5 は、S H B 帯域 4 1 の波長の光に損失を与えるべく、例えば図 4 5 に示すごとく、信号波長帯域 4 0 の最短波長側から一定広がり透過 ( 損失 ) 特性 6 4 0 を有するものであり、出力側のグレーティング ( 第 2 の透過型ファイバグレーティング ) 6 1 6 は、S R S 帯域 4 3 の波長の光に損失を与えるべく、例えば図 4 6 に示すごとく、信号波長帯域 4 0 の最長波長側から一定広がり透過 ( 損失 ) 特性 6 5 0 を有するものである。したがって、これらのファイバグレーティング 6 1 5 , 6 1 6 の合成透過特性、即ち、利得等化デバイス 6 0 の透過特性は、例えば図 4 7 に示すようになる。なお、これらのファイバグレーティング 6 1 5 , 6 1 6 には、いずれも、長周期型またはスラント型等の透過型のものを用いることができる。

## 【 0 1 5 2 】

透過特性制御手段 6 1 5 a は、対応するファイバグレーティング 6 1 5 に対して温度または圧力を加えることによってグレーティングの透過特性を変化させて、S H B 帯域 4 1 の損失量を制御するもので、温度変化を与える場合にはペルチェ素子を用いることができる。また、透過特性制御手段 6 1 6 a は、同様に、対応するファイバグレーティング 6 1 6 に対して温度または圧力を加えることによってグレーティングの透過特性を変化させて、S R S 帯域 4 3 の損失量を制御するものである。

## 【 0 1 5 3 】

さらに、透過量制御部 6 1 7 は、これらの透過特性制御手段 6 1 5 a , 6 1 5 b がファイバグレーティング 6 1 5 , 6 1 6 に与える温度または圧力を独立制御することによって、ファイバグレーティング 6 1 5 , 6 1 6 での損失量を個別に制御して透過光量を独立制御するものである。

つまり、本例では、上記の各ファイバグレーティング 6 1 5 , 6 1 6 が、入力波長多重光の信号波長帯域 4 0 を各帯域 4 1 , 4 2 , 4 3 に 3 分割する帯域分割手段として機能し、上記の V O A 6 1 8 , 透過特性制御手段 6 1 5 a , 6 1 6 a 及び透過量制御部 6 1 7 が、分割された帯域 4 1 , 4 2 , 4 3 単位で出力光パワーを調整する調整手段として機能するのである。

## 【 0 1 5 4 】

上述のごとく構成された利得等化デバイス 6 0 では、透過量制御部 6 1 7 が、透過特性制御手段 6 1 5 a , 6 1 5 b を独立して制御することにより、S H B 帯域 4 1 , S R S 帯域 4 3 の損失量を個別に制御することが可能となり、この場合も、図 2 6 により前述した構成に比して、より簡易な構成で安価に利得等化デバイス 6 0 を実現することができる。

なお、上述した第 1 変形例及び第 2 変形例の利得等化デバイス 6 0 は、既存の D G E Q による代替が可能であるが、D G E Q は本デバイス 6 0 と比べてコストが高い、挿入損失が大きいといった課題があり、D G E Q を用いる利点は少ない。

## 【 0 1 5 5 】

## ( B 7 . 3 ) 第 3 変形例

図 4 8 は上述した利得等化デバイス 6 0 の第 3 変形例を示すブロック図で、この図 4 8 に示す利得等化デバイス 6 0 は、W D M カプラ 6 2 1 , 6 2 2 , 6 2 3 , 6 2 4 , 6 3 0 , 6 3 1 , 6 3 2 , 6 3 3 と、可変光減衰器 ( V O A ) 6 2 5 , 6 2 6 , 6 2 7 , 6 2 8 , 6 2 9 とをそなえて構成されている。なお、本利得等化デバイス 6 0 に高速応答特性が要求される場合には、V O A 6 2 5 , 6 2 6 , 6 2 7 , 6 2 8 , 6 2 9 として、図 2 6 により前述したごとく、O A D M ノード 1 0 0 でのレベル補償制御の応答速度 ( ~ 1 0 m s

10

20

30

40

50

)と比べて十分速い応答速度をもつ( ~数10 $\mu$ s程度)高速VOAを適用すればよい。

【0156】

ここで、WDMカブラ(帯域分離デバイス)621は、入力主信号光のうち中間帯域42の最短波長側から4波長分の光を分離してVOA629へ出力するとともに、残りの波長の光を後段のWDMカブラ622へ出力するバンドスプリッタとして機能するもので、ここでは、4波長を分離する際に波長軸上その両サイドの波長の光に損失を与えることがない帯域分離(損失)特性を有している(図48中の「4skip0」は、このことを意味している)。

【0157】

また、WDMカブラ(帯域分離デバイス)622も、バンドスプリッタとして機能し、10  
上記バンドスプリッタ621と同等の波長分離(損失)特性(「4skip0」)を有し、バンドスプリッタ621からの主信号光のうち中間帯域42の最長波長側から4波長分の光を切り出して(分離して)VOA625へ出力するとともに、残りの波長の光を後段のWDMカブラ623へ出力するものである。

【0158】

WDMカブラ(帯域分離デバイス)623も、バンドスプリッタとして機能し、上記バンドスプリッタ622からの主信号光のうち中間帯域42に残っている光を分離してVOA626へ出力するとともに、残りの波長(SHB帯域41, SRS帯域43)の光をWDMカブラ624へ出力するもので、ここでは、16波長を分離する際に波長軸上その両サイドでそれぞれ4波長分の光に損失を与えて犠牲にしてしまう帯域分離(損失)特性を20  
有している(図48中の「16skip4」は、このことを意味している)。

【0159】

つまり、本例の利得等化デバイス60は、中間帯域42の光を分離するのに用いるバンドスプリッタ623として、上記「16skip4」の安価なスプリッタを利用するために、犠牲となる中間帯域42の両サイドの4波長の光をそれぞれバンドスプリッタ621, 622で予め分離しておくようになっているのである。

また、WDMカブラ(帯域分離デバイス)624も、バンドスプリッタとして機能し、バンドスプリッタ623からの入力光をSHB帯域41とSRS帯域43の光に分割してそれぞれVOA627, 628へ出力するものであり、WDMカブラ(帯域合波デバイス)30  
)630は、VOA627及び628の出力光(つまり、SHB帯域41及びSRS帯域の光)を合波してWDMカブラ631へ出力するものであり、WDMカブラ(帯域合波デバイス)631は、VOA626の出力光(つまり、16波の中間帯域42の光)と上記WDMカブラ630の出力光(SHB帯域41及びSRS帯域43の光)とを合波するものである。

【0160】

WDMカブラ(帯域合波デバイス)632は、上記WDMカブラ631の出力光とVOA629の出力光(中間帯域42の最短波長側から4波長分の光)とを合波するものであり、WDMカブラ(帯域合波デバイス)633は、このWDMカブラ632の出力光とVOA625の出力光625(中間帯域42の長波長側から4波長分の光)とを合波するものである。40

【0161】

以下、上述のごとく構成された利得等化デバイス60の動作について、図49を参照しながら説明する。なお、図49の(1)~(6)は、それぞれ、図48中に(1)~(6)で示す箇所の波長配置を示している。

まず、利得等化デバイス60に入力された主信号光(図49の(1)参照)は、バンドスプリッタ621にて、そのうちの中間帯域42の最短波長側の4波長分の光が他波長に損失を与えることなく分離されてVOA629へ入力され、残りの波長の光が後段のバンドスプリッタ622へ入力される(図49の(2)参照)。

【0162】

バンドスプリッタ622では、入力主信号光のうち中間帯域42の長波長側の4波長分50

の光が他波長に損失を与えることなく分離されてVOA625へ入力され、残りの波長の光が後段のバンドスプリッタ623へ入力される(図49の(3)参照)。

そして、バンドスプリッタ623では、バンドスプリッタ622からの入力主信号光を、中間帯域42の最短波長及び最長波長の4波長を除く波長の光と、SHB帯域41の光及びSR5帯域43の光とに分離して、前者をVOA626へ出力し(図49の(4)参照)、後者をバンドスプリッタ624へそれぞれ出力する。バンドスプリッタ624では、バンドスプリッタ623からの入力主信号光をSHB帯域41とSR5帯域43の光に分離して、それぞれ、VOA627, 628へ入力する。

#### 【0163】

つまり、VOA625, 626及び629には、中間帯域42の光が入力され、VOA627には、SHB帯域41(又はSR5帯域43)の光が入力され、VOA628には、SR5帯域43の光が入力されることになる。そして、VOA625, 626, 627, 628, 629の減衰量を個々に制御することによって、帯域41, 42, 43単位で主信号光の出力光パワー偏差を調整することが可能となる。

#### 【0164】

なお、VOA627及び628の出力光(SHB帯域41及びSR5帯域43の光)は、WDMカプラ630にて合波されてWDMカプラ631へ入力され、当該WDMカプラ631にて、VOA626の出力光(中間帯域42の両サイド4波長分を除く光)と合波されて後段のWDMカプラ632へ出力される(図49の(5)参照)。そして、WDMカプラ631の出力光は、WDMカプラ632にて、VOA629の出力光(中間帯域42の最短波長側の4波長の光)と合波され、当該WDMカプラ632の出力光は、WDMカプラ633にて、VOA625の出力光(中間帯域42の最長波長側の4波長の光)と合波されて出力される(図49の(6)参照)。

#### 【0165】

以上のようにして、信号波長帯域40に含まれるすべての帯域41, 42, 43のどの波長の光についても損失なく[上記帯域分離特性により犠牲にすることなく(これを「ガードバンドなし」と称する)、VOA625~629により出力光パワーの調整を行なうことが可能となる。つまり、VOA625, 626及び629での減衰量を制御することによって中間帯域42の出力光パワー(損失)を調整することができ、VOA627での減衰量を制御することによってSHB帯域41(又はSR5帯域43)の出力光パワー(損失)を調整することができ、VOA628での減衰量を制御することによってSR5帯域43の出力光パワー(損失)を調整することができる。

#### 【0166】

したがって、図26により前述した構成に比して、サーキュレータ601, 602及び反射型デバイス603, 609を用いることなく、帯域41, 42, 43単位の利得等化デバイス60を実現することができる。なお、本構成の利得等化デバイス60の挿入損失は、~5dB程度である。

#### (B7.4)第4変形例

図50は上述した利得等化デバイス60の第4変形例を示すブロック図で、この図50に示す利得等化デバイス60は、WDMカプラ641, 642, 646及び647と、可変光減衰器(VOA)643, 644及び645とをそなえて構成されている。なお、本例においても、高速応答特性が要求される場合には、VOA643, 644, 645として、図26により前述したごとく、OADMノード100でのレベル補償制御の応答速度(~10ms)と比べて十分速い応答速度をもつ(~数10μs程度)高速VOAを適用すればよい。

#### 【0167】

ここで、WDMカプラ(帯域分離デバイス)641は、入力主信号光のうちSHB帯域41の光を分離してVOA645へ出力するとともに、残りの波長の光を後段のWDMカプラ642へ出力するバンドスプリッタとして機能するものである。ただし、本例のバンドスプリッタ641は、8波長を分離する際に波長軸上その両サイドで2波長分ずつの光

に損失を与えて犠牲にする帯域分離（損失）特性を有している（図50中の「8skip2」は、このことを意味している）。

【0168】

また、WDMカプラ（帯域分離デバイス）642も、バンドスプリッタとして機能し、上記バンドスプリッタ641と同等の帯域分離（損失）特性（「8skip2」）を有し、バンドスプリッタ642からの入力光のうちSR5帯域43の光を分離してVOA643へ出力するとともに、残りの中間帯域42の光をVOA644へ出力するものである。

WDMカプラ（帯域合波デバイス）646は、VOA644の出力光（中間帯域42の光）とVOA645の出力光（SHB帯域41の光）とを合波して出力するものであり、WDMカプラ（帯域合波デバイス）647は、このWDMカプラ646の出力光（SHB帯域41及び中間帯域42の光）と、VOA643の出力光（SR5帯域43の光）とを合波して出力するもので、いずれも、上記バンドスプリッタ641、642と同等の損失特性（「8skip2」）を有している。

10

【0169】

以下、上述のごとく構成された利得等化デバイス60の動作について、図51を参照しながら説明する。なお、図51中に示す(1)～(5)は、それぞれ、図50中に(1)～(5)で示す箇所の波長配置を示している。

まず、利得等化デバイス60に入力された主信号光（図51の(1)参照）は、バンドスプリッタ641にて、そのうちのSHB帯域41の光が分離されてVOA645へ入力され、残りの波長の光が後段のバンドスプリッタ642へ入力される（図51の(2)参照）。ただし、この際、バンドスプリッタ641の帯域分離特性（「8skip2」）により、中間帯域42の最短波長側から2波長分が損失を受けて犠牲になる（ガードバンドあり）。

20

【0170】

バンドスプリッタ642では、上記バンドスプリッタ641からの入力光のうちSR5帯域43の光が分離されてVOA643へ出力されるとともに、残りの中間帯域42の光がVOA644へ出力される（図51の(3)参照）。ただし、この場合も、SR5帯域43の光を分離する際に、バンドスプリッタ642の損失特性（「8skip2」）により、中間帯域42の長波長側から2波長分が損失を受けて犠牲になる。

【0171】

以上により、VOA645にはSHB帯域41の光が入力され、VOA644には中間帯域42の光が入力され、VOA643にはSR5帯域43の光が入力されることになる。したがって、VOA645、644、643の減衰量を個別に制御することにより、帯域41、42、43別に損失（出力光パワー）を調整することが可能となる。

30

なお、VOA644及びVOA645の出力光（SHB帯域41及び中間帯域42の光）は、WDMカプラ646にて合波された後、WDMカプラ647にて、さらにVOA643の出力光（SR5帯域43の光）と合波されて出力される。

【0172】

本構成の場合は、上述した第3変形例の構成に比して、帯域分離の際に前記分離（損失）特性によって犠牲になる波長（中間帯域42の両サイド2波長分ずつの合計4波長）（ガードバンド）が生じるものの、波長分離特性として高性能なバンドスプリッタ（WDMカプラ）を用いる必要がないので、より安価に利得等化デバイス60を実現することができる。

40

【0173】

（B8）その他

なお、上述した実施形態では、いずれも、信号波長帯域40をSHB帯域41、利得偏差帯域42およびSR5帯域43の3つの帯域に分割して、その帯域41、42、43単体に利得補償を行なっているが、例えば、SHB帯域41とそれ以外の帯域（利得偏差帯域42を含む）、あるいは、SR5帯域43とそれ以外の帯域（利得偏差帯域42を含む）に2分割して、その分割帯域単位で利得補償を行なうようにしてもよい。

50

## 【0174】

(C) 付記

(付記1)

光増幅器の入出力光パワーと目標利得とに基づいて該光増幅器の利得を一定制御する利得一定制御部と、

該光増幅器への入力光の信号波長帯域を、少なくとも、信号波長数減少時において、該光増幅器の出力光パワーが減少傾向にある帯域と、当該帯域以外の信号波長帯域であって主に該利得一定制御部による利得制御の波長偏差に起因して該光増幅器の出力光パワーが変化する利得偏差帯域を含む帯域とに分割し、それぞれの分割帯域別に該光増幅器への入力光パワーをモニタする帯域別入力光モニタ部と、

10

該帯域別入力光モニタ部によるモニタ結果に基づいて上記各分割帯域の信号波長数をそれぞれ求める帯域別信号波長数演算部と、

信号波長数変動時において該帯域別信号波長数演算部による演算結果に基づいて該利得一定制御部で用いる前記目標利得を補正する目標利得補正部とをそなえたことを特徴とする、光増幅器の制御装置。

## 【0175】

(付記2)

該帯域別入力光モニタ部が、

上記出力光パワーが減少傾向にある帯域としてスペクトラルホールバーニング(SHB)効果が支配的なSHB帯域と、該利得偏差帯域と、上記出力光パワーが減少傾向にある別の帯域として該光増幅器の出力伝送路で生じる誘導ラマン散乱(SRS)効果が支配的なSRS帯域とに3分割して、それぞれの入力光パワーをモニタすべく構成されたことを特徴とする、付記1記載の光増幅器の制御装置。

20

## 【0176】

(付記3)

該信号波長帯域がCバンドであり、該SHB帯域が1530~1540nm、該SRS帯域が1555~1565nm、該利得偏差帯域がこれらのSHB帯域及びSRS帯域に挟まれた帯域であることを特徴とする、付記2記載の光増幅器の制御装置。

(付記4)

該帯域別信号波長数演算部が、

上記各分割帯域別の入力光パワーモニタ値をそれぞれ信号波長1波長あたりの設計信号光パワーで除算し、その値が2のn乗に最も近い値を上記各分割帯域の信号波長数として決定すべく構成されたことを特徴とする、付記1~3のいずれか1項に記載の光増幅器の制御装置。

30

## 【0177】

(付記5)

上記信号波長数の決定に用いる閾値が上記各分割帯域の出力光パワー変動の特徴に基づいて設定されることを特徴とする、付記4記載の光増幅器の制御装置。

(付記6)

上記出力光パワーが減少傾向にある帯域についての上記閾値が、上記の利得偏差帯域を含む帯域についての閾値よりも小さく設定されることを特徴とする、付記5記載の光増幅器の制御装置。

40

## 【0178】

(付記7)

該目標利得補正部が、

該帯域別信号波長数演算部による演算結果から上記出力光パワーが減少傾向にある帯域の信号波長数が所定数以下に減少したことを認識すると、前記目標利得を増加すべく構成されたことを特徴とする、付記1~6のいずれか1項に記載の光増幅器の制御装置。

## 【0179】

(付記8)

50

該目標利得補正部が、

該帯域別信号波長数演算部による演算結果から上記出力光パワーが減少傾向にある帯域の信号波長数が所定数以上残留している状態で、該利得偏差帯域の信号波長数が所定数以下に減少したことを認識すると、前記目標利得を減少すべく構成されたことを特徴とする、付記 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の光増幅器の制御装置。

【0180】

(付記 9)

該目標利得補正部が、

信号波長数変動発生時から一定時間経過するまで、該帯域別信号波長数演算部による演算結果に基づいて前記目標利得を更新し、前記一定時間経過後に、前記目標利得を規定の利得値に徐々に近づけるように変更すべく構成されたことを特徴とする、付記 1 ~ 8 のいずれか 1 項に記載の光増幅器の制御装置。

10

【0181】

(付記 10)

光増幅器の入出力光パワーと目標利得とに基づいて該光増幅器の利得を一定制御する利得一定制御機能を有する光増幅器の制御方法であって、

該光増幅器への入力光の信号波長帯域を、少なくとも、信号波長数減少時において、該光増幅器の出力光パワーが減少傾向にある帯域と、当該帯域以外の信号波長帯域であって主に上記利得制御の波長偏差に起因して該光増幅器の出力光パワーが変化する利得偏差帯域を含む帯域とに分割し、それぞれの分割帯域別に該光増幅器への入力光パワーをモニタ

20

し、そのモニタ結果に基づいて上記各分割帯域の信号波長数をそれぞれ求め、

信号波長数変動時において上記各分割帯域の信号波長数に基づいて上記利得一定制御に用いる前記目標利得を補正することを特徴とする、光増幅器の制御方法。

【0182】

(付記 11)

上記出力光パワーが減少傾向にある帯域としてスペクトラルホールバーニング (SHB) 効果が支配的な SHB 帯域と、該利得偏差帯域と、上記出力光パワーが減少傾向にある別の帯域として該光増幅器の出力伝送路で生じる誘導ラマン散乱 (SRS) 効果が支配的な SRS 帯域とに 3 分割して、それぞれの入力光パワーをモニタすることを特徴とする、付記 10 記載の光増幅器の制御方法。

30

【0183】

(付記 12)

該信号波長帯域が C バンドであり、該 SHB 帯域が 1530 ~ 1540 nm、該 SRS 帯域が 1555 ~ 1565 nm、該利得偏差帯域がこれらの SHB 帯域及び SRS 帯域に挟まれた帯域であることを特徴とする、付記 11 記載の光増幅器の制御装置。

(付記 13)

上記各分割帯域別の入力光パワーモニタ値をそれぞれ信号波長 1 波長あたりの設計信号光パワーで除算し、その値が 2 の n 乗に最も近い値を上記各分割帯域の信号波長数として決定することを特徴とする、付記 10 ~ 12 のいずれか 1 項に記載の光増幅器の制御方法

40

【0184】

(付記 14)

上記信号波長数の決定に用いる閾値が上記各分割帯域の出力光パワー変動の特徴に基づいて設定されることを特徴とする、付記 13 記載の光増幅器の制御方法。

(付記 15)

上記出力光パワーが減少傾向にある帯域についての上記閾値が、上記の利得偏差帯域を含む帯域についての閾値よりも小さく設定されることを特徴とする、付記 14 記載の光増幅器の制御方法。

【0185】

50

(付記 16)

上記出力光パワーが減少傾向にある帯域の信号波長数が所定数以下に減少すると、前記目標利得を増加することを特徴とする、付記 10 ~ 15 のいずれか 1 項に記載の光増幅器の制御方法。

(付記 17)

上記出力光パワーが減少傾向にある帯域の信号波長数が所定数以上残留している状態で、該利得偏差帯域の信号波長数が所定数以下に減少すると、前記目標利得を減少することを特徴とする、付記 10 ~ 15 のいずれか 1 項に記載の光増幅器の制御方法。

【0186】

(付記 18)

信号波長数変動発生時から一定時間経過するまで、上記各分割帯域の信号波長数に基づいて前記目標利得を更新し、前記一定時間経過後に、前記目標利得を規定の利得値に徐々に近づけるように変更することを特徴とする、付記 10 ~ 17 のいずれか 1 項に記載の光増幅器の制御方法。

【0187】

(付記 19)

光増幅器の入出力光パワーと目標利得とに基づいて該光増幅器の利得を一定制御する利得一定制御部と、

該光増幅器への入力光の信号波長帯域を、少なくとも、信号波長数減少時において、該光増幅器のチャンネルあたりの出力光パワーが減少傾向にある、または信号波長数増加時において、光増幅器のチャンネルあたりの出力光パワーが増加傾向にある帯域と、当該帯域以外の信号波長帯域であって主に該利得一定制御部による利得制御の波長偏差に起因して該光増幅器のチャンネルあたりの出力光パワーが変化する利得偏差帯域を含む帯域とに分割し、それぞれの分割帯域別に該光増幅器への入力光パワーをモニタする帯域別入力光モニタ部と、

該帯域別入力光モニタ部によるモニタ結果に基づいて上記各分割帯域の信号波長数をそれぞれ求める帯域別信号波長数演算部と、

信号波長数変動時において該帯域別信号波長数演算部による演算結果に基づいて該利得一定制御部で用いる前記目標利得を補正する目標利得補正部とをそなえたことを特徴とする、光伝送装置。

【0188】

(付記 20)

該帯域別入力光モニタ部が、

上記チャンネルあたりの出力光パワーが信号波長数減少時には減少傾向、信号波長数増加時には増加傾向にある帯域としてスペクトラルホールバーニング (SHB) 効果が支配的な SHB 帯域と、該利得偏差帯域と、上記チャンネルあたりの出力光パワーが信号波長数減少時には減少傾向、信号波長数増加時には増加傾向にある別の帯域として該光増幅器の出力伝送路で生じる誘導ラマン散乱 (SRS) 効果が支配的な SRS 帯域とに 3 分割して、それぞれの入力光パワーをモニタすべく構成されたことを特徴とする、付記 19 記載の光伝送装置。

【0189】

(付記 21)

該 SHB 帯域が 1530 ~ 1540 nm、該 SRS 帯域が 1555 ~ 1565 nm、該利得偏差帯域がこれらの SHB 帯域及び SRS 帯域に挟まれた帯域であることを特徴とする、付記 20 記載の光伝送装置。

(付記 22)

該帯域別信号波長数演算部が、

上記各分割帯域別の入力光パワーモニタ値をそれぞれ信号波長 1 波長あたりの設計信号光パワーで除算し、その値が 2 の n 乗に最も近い値を上記各分割帯域の信号波長数として決定すべく構成されたことを特徴とする、付記 19 ~ 21 のいずれか 1 項に記載の光伝送

10

20

30

40

50

装置。

【0190】

(付記23)

上記信号波長数の決定に用いる閾値が上記各分割帯域のチャンネルあたりの出力光パワー変動の特徴に基づいて設定されることを特徴とする、付記22記載の光伝送装置。

(付記24)

上記チャンネルあたりの出力光パワーが減少または増加傾向にある帯域についての上記閾値が、上記の利得偏差帯域を含む帯域についての閾値よりも小さく設定されることを特徴とする、付記23記載の光伝送装置。

【0191】

(付記25)

該目標利得補正部が、

該帯域別信号波長数演算部による演算結果から上記チャンネルあたりの出力光パワーが減少または増加傾向にある帯域の信号波長数が所定数以下に減少したことを認識すると、前記目標利得を増加すべく構成されたことを特徴とする、付記19～24のいずれか1項に記載の光伝送装置。

【0192】

(付記26)

該目標利得補正部が、

該帯域別信号波長数演算部による演算結果から上記チャンネルあたりの出力光パワーが減少または増加傾向にある帯域の信号波長数が所定数以上残留している状態で、該利得偏差帯域の信号波長数が所定数以下に減少したことを認識すると、前記目標利得を減少すべく構成されたことを特徴とする、付記19～25のいずれか1項に記載の光伝送装置。

【0193】

(付記27)

該目標利得補正部が、

信号波長数変動発生時から一定時間経過するまで、該帯域別信号波長数演算部による演算結果に基づいて前記目標利得を更新し、前記一定時間経過後に、前記目標利得を規定の利得値に徐々に近づけるように変更すべく構成されたことを特徴とする、付記19～26のいずれか1項に記載の光伝送装置。

【0194】

(付記28)

入出力光パワーと目標利得とに基づいて利得を一定制御する利得一定制御機能を有する光増幅器であって、

該光増幅器への入力光の信号波長帯域を、少なくとも、信号波長数減少時において、該光増幅器のチャンネルあたりの出力光パワーが減少傾向にある、または信号波長数増加時において、光増幅器のチャンネルあたりの出力光パワーが増加傾向にある帯域と、当該帯域以外の信号波長帯域であって主に上記利得制御の波長偏差に起因して該光増幅器の出力光パワーが変化する利得偏差帯域を含む帯域とに分割し、それぞれの分割帯域別に該光増幅器への入力光パワーをモニタし、

そのモニタ結果に基づいて上記各分割帯域の信号波長数をそれぞれ求め、

信号波長数変動時において上記各分割帯域の信号波長数に基づいて上記利得一定制御に用いる前記目標利得を補正することを特徴とする、光増幅器。

【0195】

(付記29)

上記チャンネルあたりの出力光パワーが信号波長数減少時には、信号波長数増加時には増加傾向減少傾向にある帯域としてスペクトラルホールバーニング(SHB)効果が支配的なSHB帯域と、該利得偏差帯域と、上記出力光パワーが減少傾向にある別の帯域として該光増幅器の出力伝送路で生じる誘導ラマン散乱(SRS)効果が支配的なSRS帯域とに3分割して、それぞれの入力光パワーをモニタすることを特徴とする、付記28記載の

10

20

30

40

50

光増幅器。

【0196】

(付記30)

該SHB帯域が1530～1540nm、該SRS帯域が1555～1565nm、該利得偏差帯域がこれらのSHB帯域及びSRS帯域に挟まれた帯域であることを特徴とする、付記29記載の光増幅器。

(付記31)

上記各分割帯域別の入力光パワーモニタ値をそれぞれ信号波長1波長あたりの設計信号光パワーで除算し、その値が2のn乗に最も近い値を上記各分割帯域の信号波長数として決定することを特徴とする、付記28～30のいずれか1項に記載の光増幅器。

10

【0197】

(付記32)

上記信号波長数の決定に用いる閾値が上記各分割帯域のチャンネルあたりの出力光パワー変動の特徴に基づいて設定されることを特徴とする、付記31記載の光増幅器。

(付記33)

上記チャンネルあたりの出力光パワーが減少または増加傾向にある帯域についての上記閾値が、上記の利得偏差帯域を含む帯域についての閾値よりも小さく設定されることを特徴とする、付記32記載の光増幅器。

【0198】

(付記34)

上記チャンネルあたりの出力光パワーが減少または増加傾向にある帯域の信号波長数が所定数以下に減少すると、前記目標利得を増加することを特徴とする、付記28～33のいずれか1項に記載の光増幅器。

20

(付記35)

上記チャンネルあたりの出力光パワーが減少または増加傾向にある帯域の信号波長数が所定数以上残留している状態で、該利得偏差帯域の信号波長数が所定数以下に減少すると、前記目標利得を減少することを特徴とする、付記28～33のいずれか1項に記載の光増幅器。

【0199】

(付記36)

信号波長数変動発生時から一定時間経過するまで、上記各分割帯域の信号波長数に基づいて前記目標利得を更新し、前記一定時間経過後に、前記目標利得を規定の利得値に徐々に近づけるように変更することを特徴とする、付記28～35のいずれか1項に記載の光増幅器。

30

【0200】

(付記37)

入力波長多重光の信号波長帯域を、少なくとも、信号波長数減少時において、光増幅器のチャンネルあたりの出力光パワーが減少傾向にある、または信号波長増加時において、光増幅器のチャンネルあたりの出力光パワーが増加傾向にある帯域と、当該帯域以外の信号波長帯域であって主に光増幅器での利得一定制御の波長偏差に起因して該光増幅器のチャンネルあたりの出力光パワーが変化する利得偏差帯域を含む帯域とに分割する帯域分割手段と

40

、  
該帯域分割手段によって分割された分割帯域単位で出力光パワーを調整する調整手段とをそなえたことを特徴とする、帯域単位利得等化器。

【0201】

(付記38)

該帯域分割手段が、

上記チャンネルあたりの出力光パワーが信号波長数減少時には減少傾向、信号波長数増加時には増加傾向にある帯域としてスペクトラルホールバーニング(SHB)効果が支配的なSHB帯域と、該利得偏差帯域と、上記チャンネルあたりの出力光パワーが信号波長数減

50

少時には減少傾向、信号波長数増加時には増加傾向にある別の帯域として該光増幅器の出力伝送路で生じる誘導ラマン散乱（SR S）効果が支配的なSR S帯域とに3分割すべく構成されたことを特徴とする、付記37記載の帯域単位利得等化器。

【0202】

（付記39）

該調整手段が、

上記SHB帯域用の可変光減衰器と、上記利得偏差帯域用の可変光減衰器と、上記SR S帯域用の可変光減衰器とをそなえて構成されるとともに、

該帯域分割手段が、

上記利得偏差帯域の光を反射する利得偏差帯域反射デバイスと、

該入力波長多重光を該利得偏差帯域反射デバイスへ導くとともに、該利得偏差帯域反射デバイスからの反射光を上記利得偏差帯域用の可変光減衰器へ導く第1の光サーキュレータと、

該利得偏差帯域反射デバイスを透過してくる光を上記のSHB帯域及びSR S帯域の光に分割して上記SHB帯域及びSR S帯域用の各可変光減衰器へ導く帯域分離デバイスと、

上記SHB帯域及びSR S帯域用の各可変光減衰器の出力光を合波する帯域合波デバイスと、

上記利得偏差帯域用の可変光減衰器の出力側に設けられ、該帯域合波デバイスの出力光を上記利得偏差帯域用の可変光減衰器側へ導くとともに、当該可変光減衰器側から入力される光を出力ポートへ導く第2の光サーキュレータとをそなえるとともに、

上記利得偏差帯域用の可変光減衰器と上記第2の光サーキュレータとの間に、上記利得偏差帯域用の可変光減衰器側へ導かれてきた光のうち上記SHB帯域の光を反射するSHB帯域反射デバイスと、上記利得偏差帯域用の可変光減衰器側へ導かれてきた光のうち上記SR S帯域の光を反射するSR S帯域反射デバイスとが設けられて構成されたことを特徴とする、付記38記載の帯域単位利得等化器。

【0203】

（付記40）

上記の各可変光減衰器が、それぞれ、マイクロ秒オーダの応答速度を有する高速可変光減衰器であることを特徴とする、付記39記載の帯域単位利得等化器。

（付記41）

該帯域分割手段が、

上記のSHB帯域と利得偏差帯域との境界近傍の波長において透過帯域の立ち上がりエッジ部分を有し、当該立ち上がりエッジ部分から長波長側の波長の光を透過する特性を有する第1のエッジフィルタと、

上記の利得偏差帯域とSR S帯域との境界近傍の波長において透過帯域の立ち下がりエッジ部分を有し、当該立ち下りエッジ部分から短波長側の波長の光を透過する特性を有する第2のエッジフィルタとをそなえて構成されるとともに、

該調整手段が、

該第2のエッジフィルタの出力光パワーを調整する可変光減衰器と、

上記の各エッジフィルタの上記各エッジ部分を個別に波長シフトさせて上記SHB帯域及びSR R帯域の透過光量を独立して制御する透過波長制御部とをそなえて構成されたことを特徴とする、付記38記載の帯域単位利得等化器。

【0204】

（付記42）

該帯域分割手段が、

上記入力波長多重光のうち上記SHB帯域の光の透過光量を調整しうる第1の透過型ファイバグレーティングと、

当該第1の透過型ファイバグレーティングの出力光のうち上記SR S帯域の光の透過光量を調整しうる第2の透過型ファイバグレーティングとをそなえて構成されるとともに、

該調整手段が、

該第2の透過型ファイバグレーティングの出力光パワーを調整する可変光減衰器と、

上記の各透過型ファイバグレーティングに対して個別に温度又は圧力変化を加えてそれぞれの透過光量を独立して制御する透過量制御部とをそなえて構成されたことを特徴とする、付記38記載の帯域単位利得等化器。

【0205】

(付記43)

付記37記載の帯域単位利得等化器と、

該帯域単位利得等化器の入力光又は出力光のパワーを上記分割帯域別にモニタして、そのモニタ結果に基づいて上記各分割帯域の出力光パワーがそれぞれ所定の目標値となるように該調整手段による上記分割帯域単位の出力光パワー調整を制御する制御手段とをそなえたことを特徴とする、帯域単位利得等化器を用いた波長多重伝送装置。

10

【0206】

(付記44)

該制御手段が、

該帯域単位利得等化器の入力光又は出力光のパワーを上記分割帯域別にモニタする帯域別モニタ部と、

上記目標値を予め記憶しておく記憶部と、

該帯域別モニタ部によるモニタ結果と該記憶部における上記目標値との差分を上記分割帯域別に検出する差分検出部と、

20

該差分検出部で検出された上記分割帯域別の差分がそれぞれ最小となるように該調整手段を制御する利得等化制御部とをそなえたことを特徴とする、付記43記載の帯域単位利得等化器を用いた波長多重伝送装置。

【0207】

(付記45)

該波長多重伝送装置が、前記入力波長多重光の少なくとも一部の波長の光について分岐又は挿入を行なう分岐挿入部を有する波長分岐挿入装置として構成されるとともに、

該帯域単位利得等化器が、該分岐挿入部の前段又は後段に設けられたことを特徴とする、付記43又は44に記載の帯域単位利得等化器を用いた波長多重伝送装置。

【0208】

(付記46)

付記43記載の波長多重伝送装置をそなえたことを特徴とする、帯域単位利得等化器を用いた波長多重伝送システム。

30

(付記47)

入力波長多重光を増幅する増幅媒体と、

該増幅媒体の入出力光パワーと目標利得とに基づいて利得一定制御を行なう利得一定制御部と、

該増幅媒体の出力光の信号波長帯域を、少なくとも、信号波長数減少時において、チャンネルあたりの出力光パワーが減少傾向にある、または信号波長増加時において、光増幅器のチャンネルあたりの出力光パワーが増加傾向にある帯域と、当該帯域以外の信号波長帯域であって主に該利得一定制御の波長偏差に起因して該光増幅器のチャンネルあたりの出力光パワーが変化する利得偏差帯域を含む帯域とに分割して、その分割帯域単位で出力光パワーを調整する帯域単位利得等化器と、

40

該増幅媒体の出力光パワーを上記分割帯域別にモニタして、そのモニタ結果に基づいて上記各分割帯域の出力光パワーがそれぞれ所定の目標値となるように該帯域単位利得等化器の上記出力光パワー調整を上記分割帯域別に制御する制御手段とをそなえたことを特徴とする、帯域単位利得等化器を用いた光増幅器。

【0209】

(付記48)

該制御手段が、

50

該増幅媒体の出力光パワーを上記分割帯域別にモニタする帯域別モニタ部と、  
上記目標値を予め記憶しておく記憶部と、

該帯域別モニタ部によるモニタ結果と該記憶部における上記目標値との差分を上記分割帯域別に検出する差分検出部と、

該差分検出部で検出された上記分割帯域別の差分がそれぞれ最小となるように該帯域単位利得等化器を制御する利得等化制御部とをそなえたことを特徴とする、付記 47 記載の帯域単位利得等化器を用いた光増幅器。

【0210】

(付記 49)

付記 47 記載の光増幅器をそなえたことを特徴とする、帯域単位利得等化器を用いた波長多重伝送システム。 10

【図面の簡単な説明】

【0211】

【図 1】本発明の第 1 実施形態に係る WDM 光伝送システムの一部に着目した構成を示すブロック図である。

【図 2】図 1 に示す光増幅器（ポストアンプ）の構成を示すブロック図である。

【図 3】本実施形態に係る信号波長帯域の分割例を示す図である。

【図 4】SHB 効果の強い帯域を説明するための図である。

【図 5】SRS 効果の強い帯域を説明するための図である。

【図 6】(A) ~ (C) はそれぞれ図 2 に示す帯域別信号波長数演算部の動作を説明すべく分割帯域の入力光モニタ値から求まる信号波長数の関係を示す図である。 20

【図 7】図 2 に示す目標利得演算部の動作を説明すべく信号波長帯域の入力信号光パワーと信号波長帯域の平均入力信号光パワー及び規定の入力信号光パワーの一例を示す図である。

【図 8】図 2 に示す光増幅器の利得制御方法を説明するためのフローチャートである。

【図 9】図 2 に示す光増幅器の利得制御方法を説明すべく目標利得設定の制御イメージを示す図である。

【図 10】図 2 に示す光増幅器の利得制御方法による効果を従来技術と比較して説明すべく通過 EDA 数に対する信号レベル変化量の一例を示す図である。

【図 11】図 2 に示す光増幅器の利得制御方法による効果を従来技術と比較して説明すべく光 SN 比の一例を示す図である。 30

【図 12】本実施形態に係る利得制御方法の変形例で用いる目標利得設定テーブルの一例を示す図である。

【図 13】本実施形態に係る利得制御方法の変形例を説明するためのフローチャートである。

【図 14】図 2 に示す入力モニタ手段の変形例を示すブロック図である。

【図 15】図 2 に示す入力モニタ手段の変形例を示すブロック図である。

【図 16】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 17】従来の AGC アンプの構成例を示すブロック図である。

【図 18】(A) 及び (B) は図 16 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。 40

【図 19】(A) 及び (B) は図 16 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 20】SHB 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 21】(A) は波長に対する SHB に起因する利得変化量の一例、(B) は波長に対する SRS 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 22】ラマン増幅帯域の一例を示す図である。

【図 23】信号波長間ラマン効果を説明するための図である。

【図 24】従来技術の課題を説明するための図である。

【図 25】信号受信端を説明するためのブロック図である。 50

【図 26】本発明の第 2 実施形態に係る利得等化デバイス（帯域単位利得等化器）の構成を示すブロック図である。

【図 27】図 26 に示す利得等化デバイスの動作を説明すべく光路を併せて示す図である。

【図 28】図 26 に示す利得等化デバイスを適用した OADM ノードの構成を示すブロック図である。

【図 29】図 26 に示す利得等化デバイスを適用した OADM ノードの他の構成を示すブロック図である。

【図 30】図 28 又は図 29 に示す OADM ノードでの利得等化制御による SHB 帯域，利得偏差帯域，SRB 帯域の出力信号パワーの変化のイメージを示す図である。

【図 31】図 28 又は図 29 に示す OADM ノードでの利得等化制御を説明するためのフローチャートである。

【図 32】図 28 又は図 29 に示す OADM ノードでの定常状態と信号光状態に変化が発生した状態における信号波長帯域のパワー変化の様子を示す図である。

【図 33】図 28 又は図 29 に示す OADM ノードによる効果を従来構成と比較して説明するための図である。

【図 34】図 26 に示す利得等化デバイスを用いた WDM 伝送システムの調整手法を説明すべく WDM 伝送システムの構成を示すブロック図である。

【図 35】図 34 に示す WDM 伝送システムの調整手法による SHB 帯域，利得偏差帯域，SRB 帯域の出力信号パワーの変化のイメージを示す図である。

【図 36】図 26 に示す利得等化デバイスを用いた光増幅器の構成を示すブロック図である。

【図 37】図 36 に示す光増幅器での利得等化制御を説明するためのフローチャートである。

【図 38】図 36 に示す光増幅器での定常状態と信号光状態に変化が発生した状態における信号波長帯域のパワー変化の様子を示す図である。

【図 39】図 36 に示す光増幅器を用いた WDM 伝送システムの構成を示すブロック図である。

【図 40】図 26 に示す利得等化デバイスの第 1 変形例を示すブロック図である。

【図 41】図 40 に示す利得等化デバイスにおける第 1 のエッジフィルタの透過特性を示す図である。

【図 42】図 40 に示す利得等化デバイスにおける第 2 のエッジフィルタの透過特性を示す図である。

【図 43】図 40 に示す利得等化デバイスの透過特性を示す図である。

【図 44】図 26 に示す利得等化デバイスの第 2 変形例を示すブロック図である。

【図 45】図 43 に示す利得等化デバイスにおける第 1 のグレーティングの透過特性を示す図である。

【図 46】図 43 に示す利得等化デバイスにおける第 2 のグレーティングの透過特性を示す図である。

【図 47】図 43 に示す利得等化デバイスの透過特性を示す図である。

【図 48】図 26 に示す利得等化デバイスの第 3 変形例を示すブロック図である。

【図 49】図 48 に示す利得等化デバイスの動作を説明すべく各部の信号波長配置を示す図である。

【図 50】図 26 に示す利得等化デバイスの第 4 変形例を示すブロック図である。

【図 51】図 50 に示す利得等化デバイスの動作を説明すべく各部の信号波長配置を示す図である。

【符号の説明】

【0212】

1 光増幅器（ポストアンプ（EDFA））

1A 利得等化デバイスを装備した光増幅器（EDFA）

10

20

30

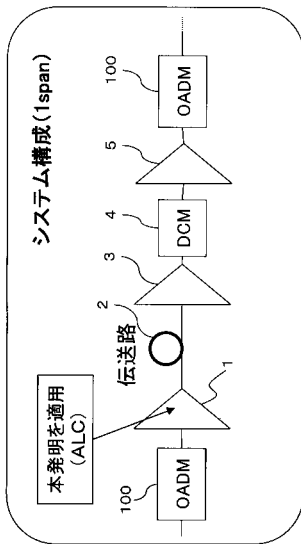
40

50

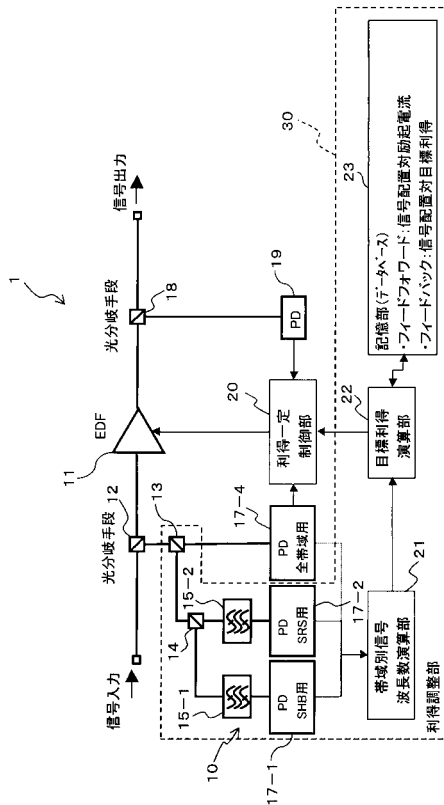
1 a , 1 b	光増幅器 ( E D F A )	
2	伝送路	
3	光増幅器 ( 第 1 のプリアンプ )	
4	分散補償器 ( D C M )	
5	光増幅器 ( 第 2 のプリアンプ )	
1 0	帯域別入力モニタ手段	
1 1 , 1 1 A , 1 1 B	E D F	
1 2	光カプラ ( 入力側光分岐手段 )	
1 3 , 1 4	光カプラ ( 3 d B カプラ )	
1 5 - 1 , 1 5 - 2 , 1 5 - 3	バンドパスフィルタ	10
1 6 - 1 , 1 6 - 2	エッジフィルタ	
1 7 - 1 , 1 7 - 2 , 1 7 - 3 , 1 7 - 4 , 1 9 , 1 2 2 , 1 2 3 , 1 2 4	フォトダ イオード ( P D : 受光素子 )	
1 8	光カプラ ( 出力側光分岐手段 )	
2 0	利得一定制御部	
2 1	帯域別信号波長数演算部	
2 2	目標利得演算部	
2 3	記憶部 ( データベース )	
3 0	利得調整部	
4 0	信号波長帯域	20
4 1	S H B 帯域	
4 2	利得偏差帯域	
4 3	S R S 帯域	
5 0 , 1 1 1 , 1 1 3 , 1 1 6 , 1 1 8 , 1 2 0 , 1 2 1	W D M カプラ	
6 0	利得等化デバイス ( 帯域単位利得等化器 )	
6 0 1	サーキュレータ ( 第 1 の光サーキュレータ )	
6 0 2	サーキュレータ ( 第 2 の光サーキュレータ )	
6 0 3	反射型デバイス ( 利得偏差帯域反射デバイス )	
6 0 4	W D M カプラ ( 帯域分離デバイス )	
6 0 5 , 6 0 6 , 6 0 7 , 6 1 3 , 6 1 8 , 6 2 5 , 6 2 7 , 6 2 8 , 6 2 9 , 6 4 3		30
6 4 4 , 6 4 5	可変光減衰器 ( V O A )	
6 0 8	反射型デバイス ( S H B 帯域反射デバイス )	
6 0 9	反射型デバイス ( S R S 帯域反射デバイス )	
6 1 0	W D M カプラ ( 帯域合波デバイス )	
6 2 1 , 6 2 2 , 6 2 3 , 6 2 4 , 6 4 1 , 6 4 2	W D M カプラ ( 帯域分離デバイス )	
6 3 0 , 6 3 1 , 6 3 2 , 6 3 3 , 6 4 6 , 6 4 7	W D M カプラ ( 帯域合波デバイス )	
7 0	制御部	
7 1	帯域毎モニタ部	40
7 2	損失量演算部 ( 差分検出部 )	
7 3	記憶部	
7 4	利得等化制御部	
8 1 , 8 2 , 8 3	光路	
1 0 0	O A D M ノード	
1 0 1	光受信器	
1 0 2	光送信器	
1 1 0	光分岐挿入部	
1 1 2 , 1 1 7 , 1 1 9	光アイソレータ	
1 1 4	ゲインイコライザ	50

- 1 1 5 可変光減衰器 (VOA)
- 1 2 5 , 1 2 6 励起レーザダイオード (LD)
- 1 2 7 利得一定制御 (AGC) 部
- 2 3 1 目標利得設定テーブル
- 6 1 1 , 6 1 2 エッジフィルタ
- 6 1 4 透過波長制御部
- 6 1 5 , 6 1 6 グレーティング
- 6 1 5 a , 6 1 6 a 透過特性制御手段
- 6 2 0 立ち上がりエッジ (スロープ) 部分
- 6 3 0 立ち下がりエッジ (スロープ) 部分

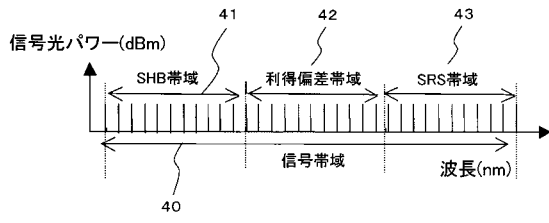
【 図 1 】



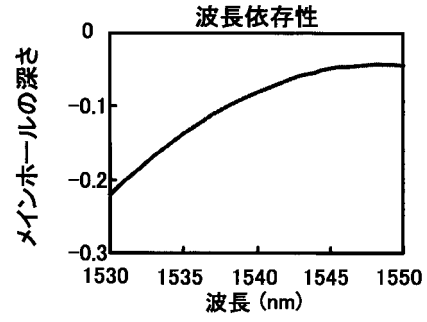
【 図 2 】



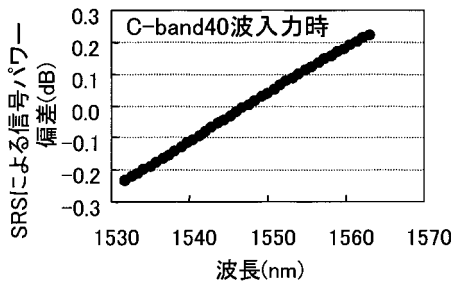
【 図 3 】



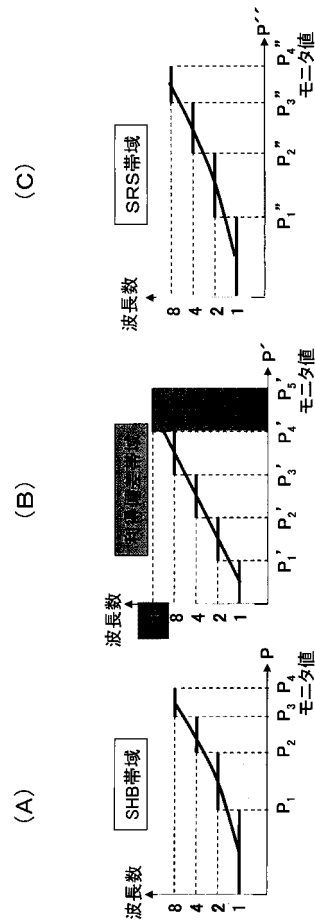
【 図 4 】



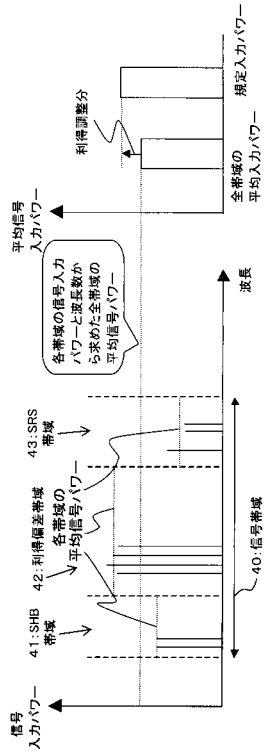
【 図 5 】



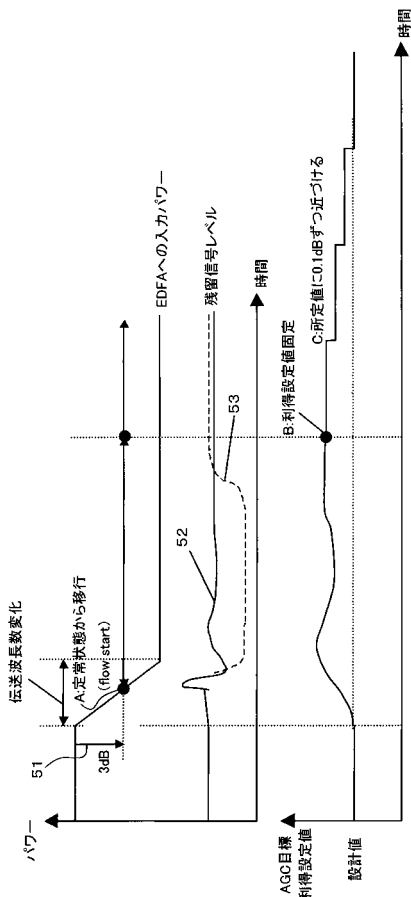
【 図 6 】



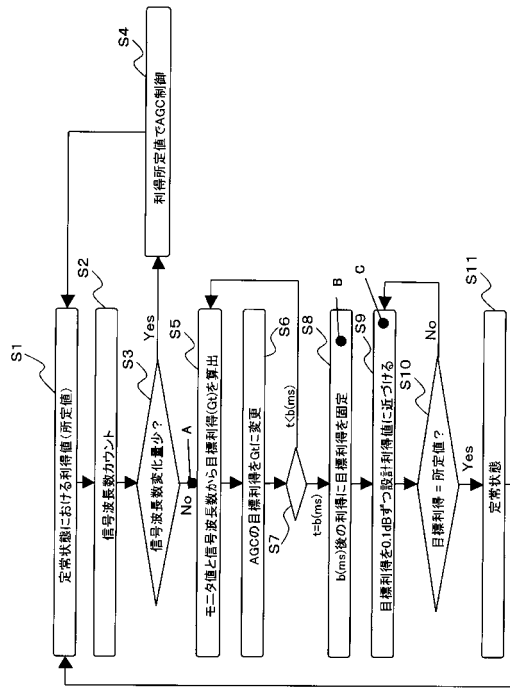
【図7】



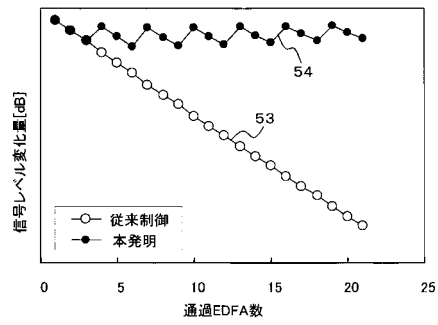
【図9】



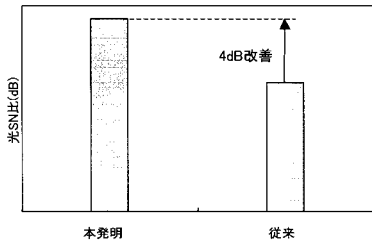
【図8】



【図10】



【図 1 1】



【図 1 2】

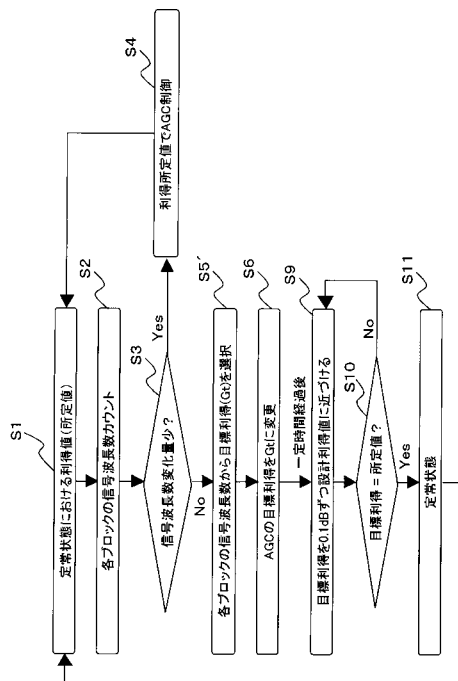
SHB帯域	利得偏差帯域		SRS帯域		EDFA利得調整
	前	後	前	後	
●	●	●	●	○	—
●	●	●	○	●	—
●	●	○	○	○	減
●	●	○	○	○	減
●	○	●	●	●	—
●	○	○	○	○	増
●	○	○	○	○	増
●	○	○	○	○	増
●	○	○	○	○	増
●	○	○	○	○	増
●	○	○	○	○	増
●	○	○	○	○	増
○	○	●	●	○	—
○	○	○	○	○	—
○	○	○	○	○	—
○	○	○	○	○	—
○	○	○	○	○	—

231

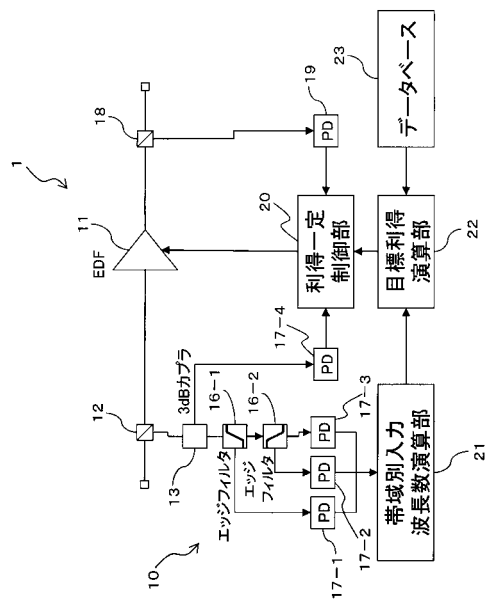
A →

B →

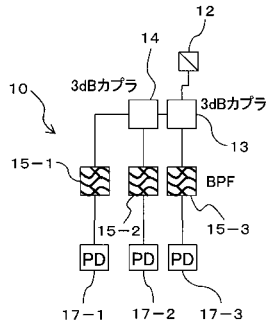
【図 1 3】



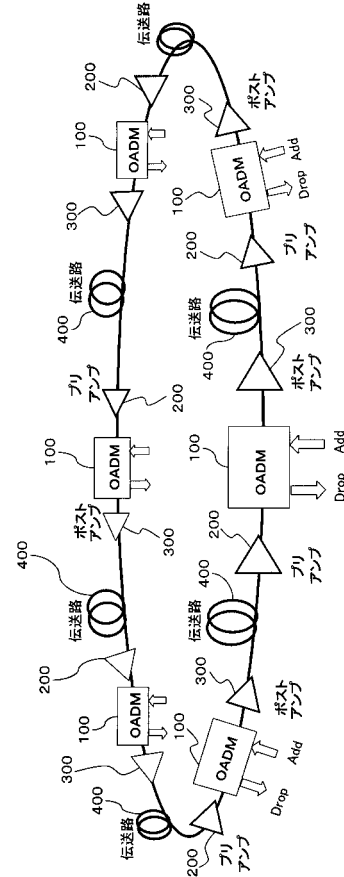
【図 1 4】



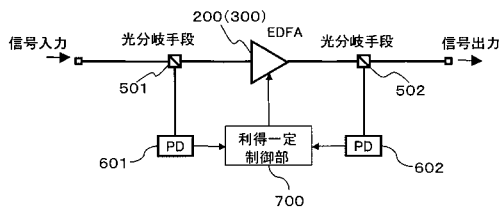
【 図 1 5 】



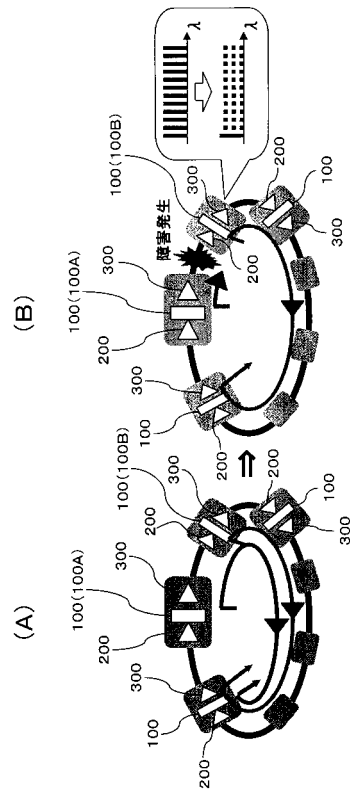
【 図 1 6 】



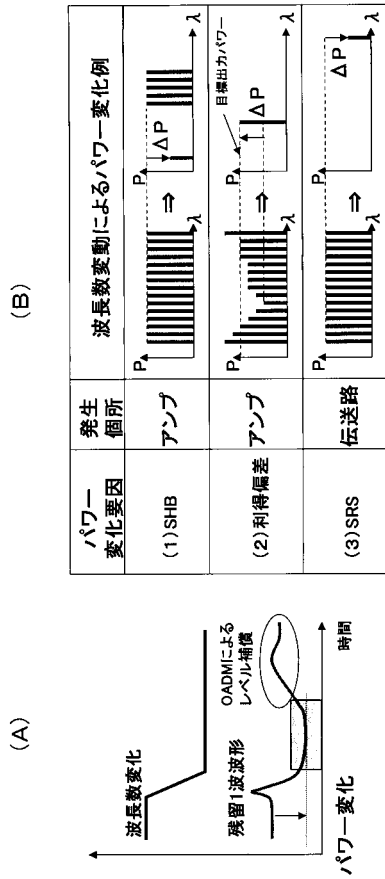
【 図 1 7 】



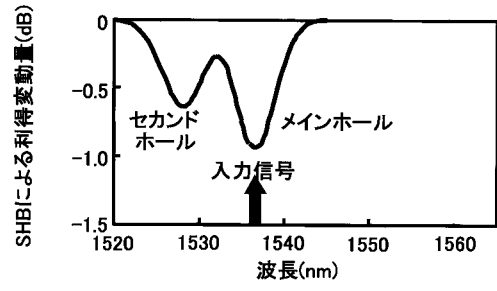
【 図 1 8 】



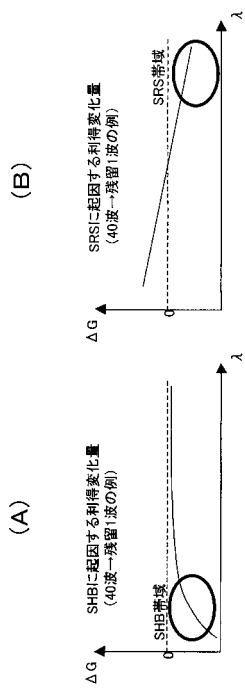
【 図 1 9 】



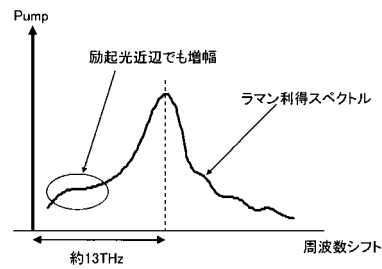
【 図 2 0 】



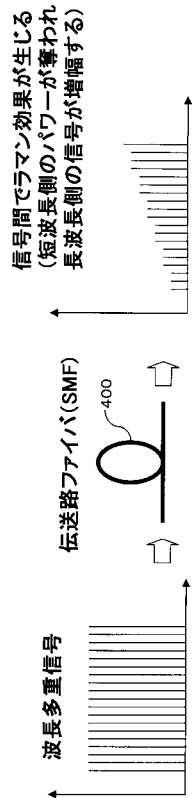
【 図 2 1 】



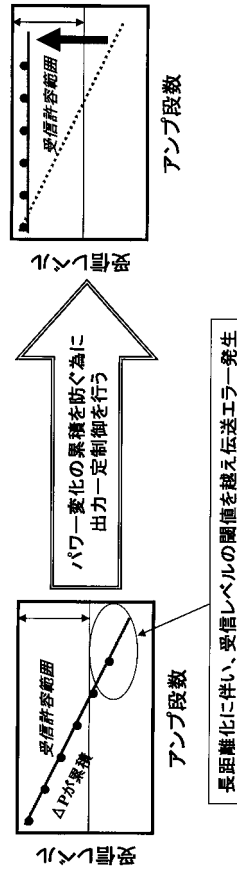
【 図 2 2 】



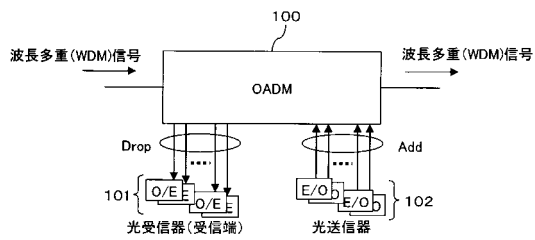
【図 2 3】



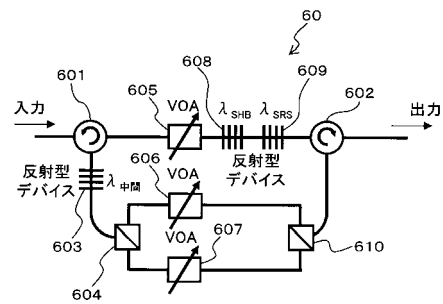
【図 2 4】



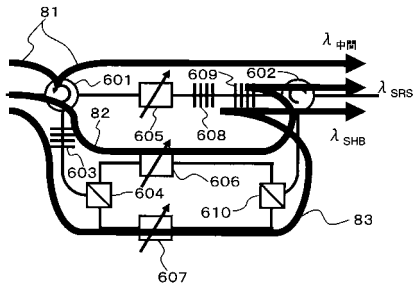
【図 2 5】



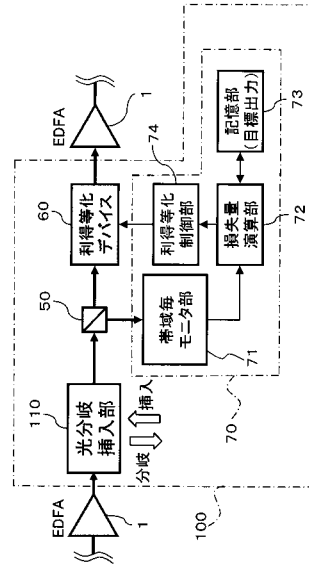
【図 2 6】



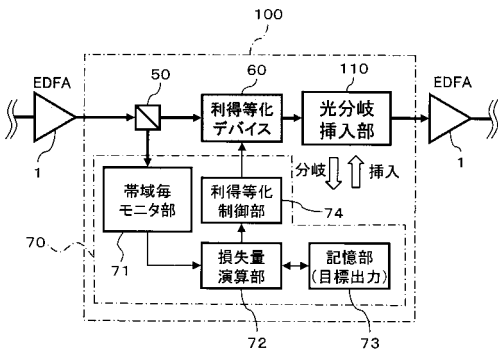
【 図 2 7 】



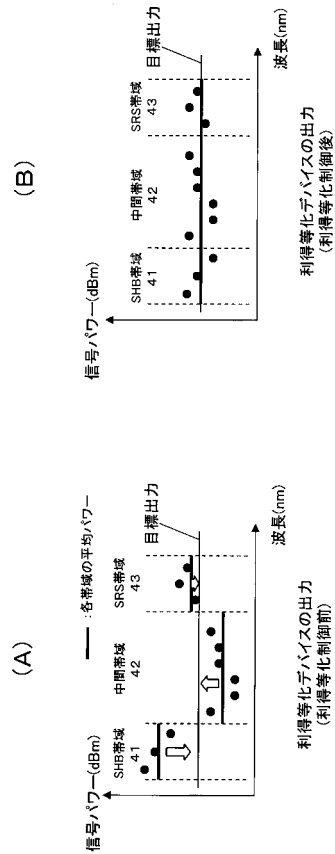
【 図 2 8 】



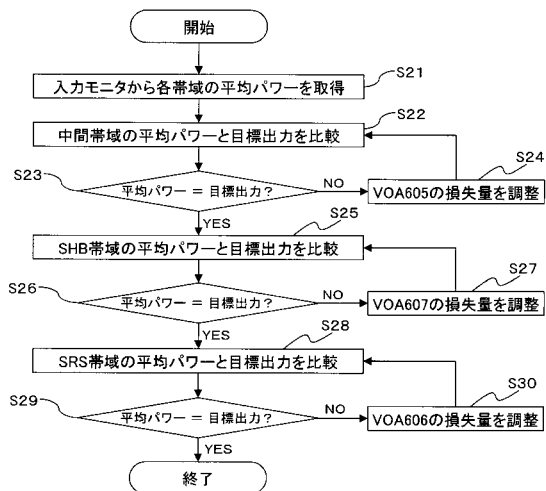
【 図 2 9 】



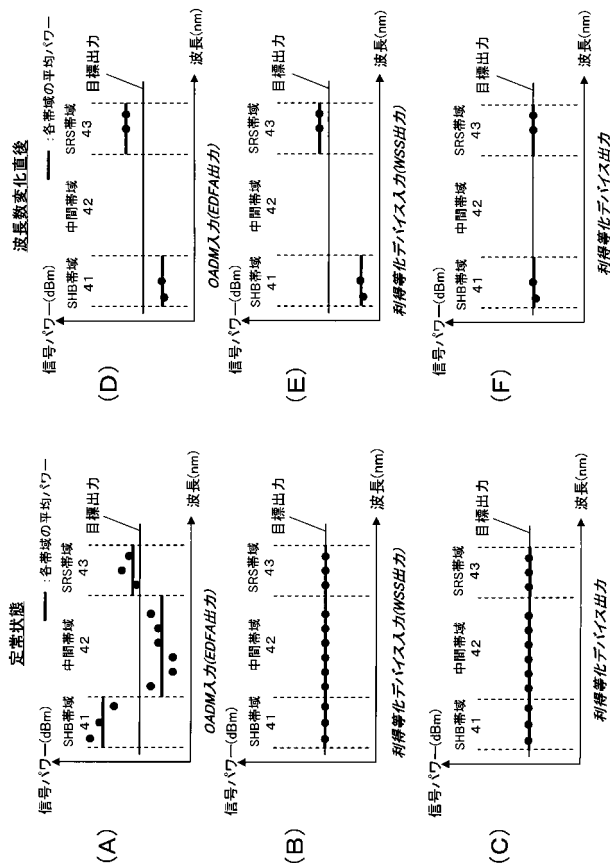
【 図 3 0 】



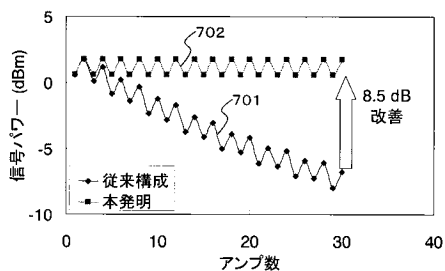
【 図 3 1 】



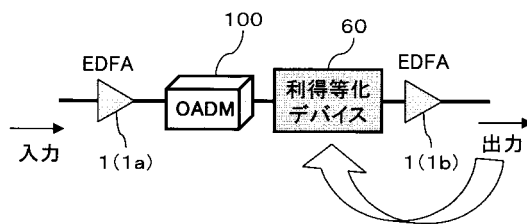
【 図 3 2 】



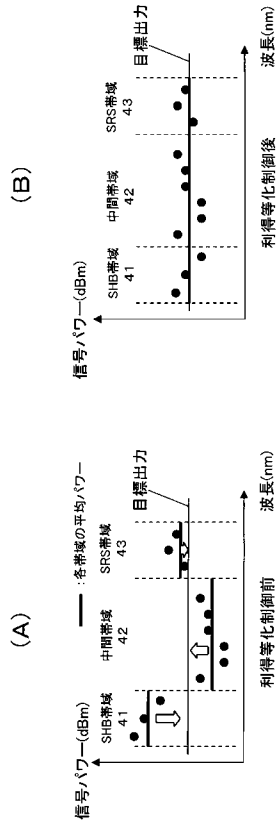
【 図 3 3 】



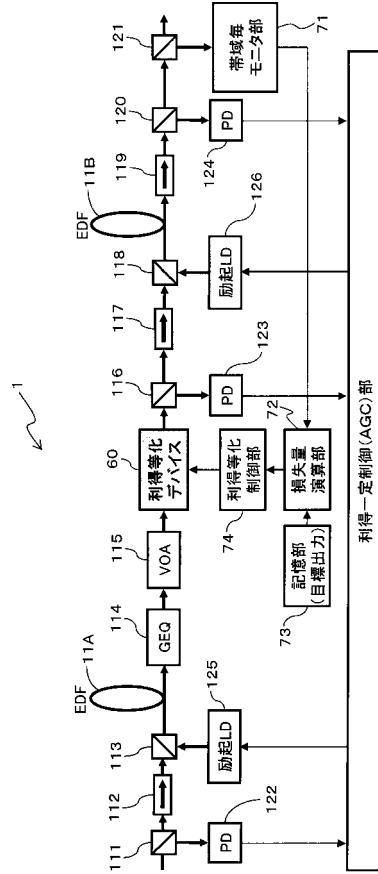
【 図 3 4 】



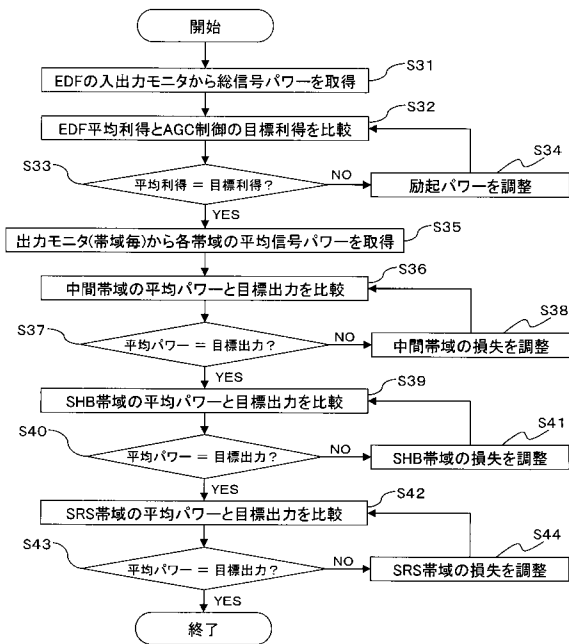
【 図 3 5 】



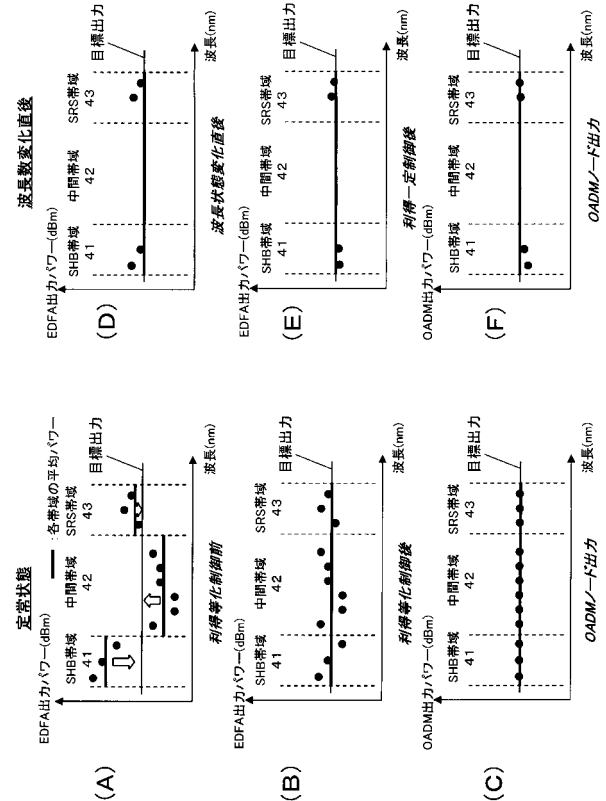
【 図 3 6 】



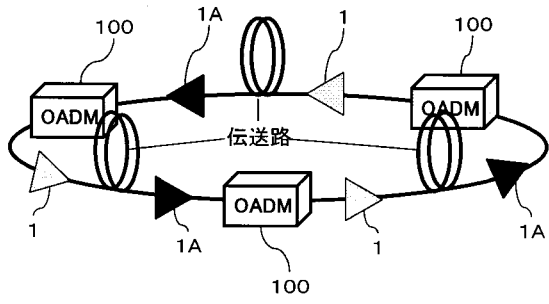
【 図 3 7 】



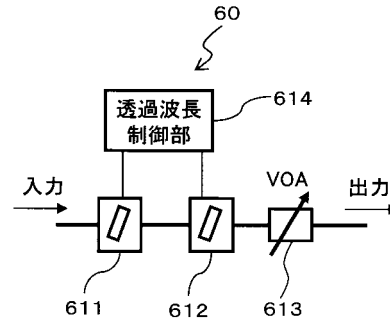
【 図 3 8 】



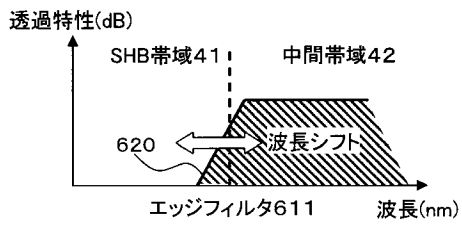
【図39】



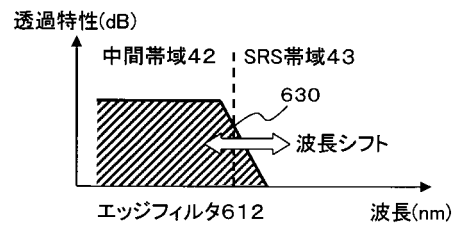
【図40】



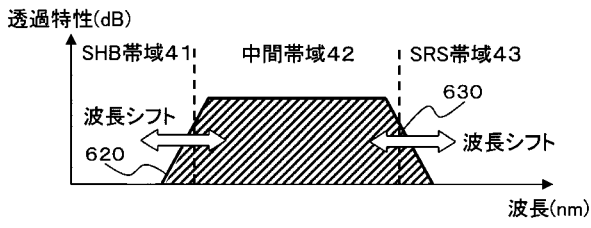
【図41】



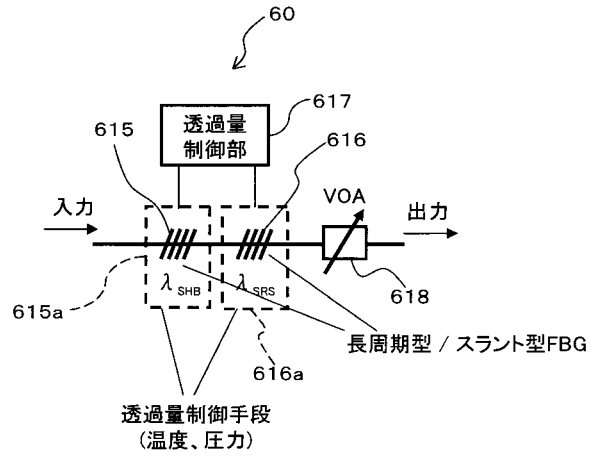
【図42】



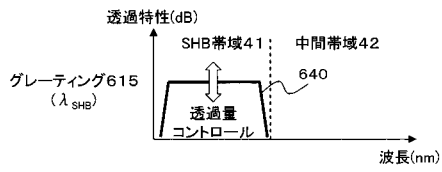
【 図 4 3 】



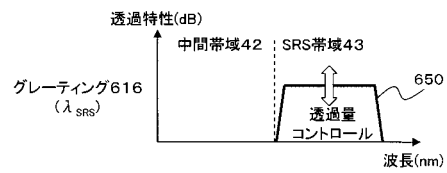
【 図 4 4 】



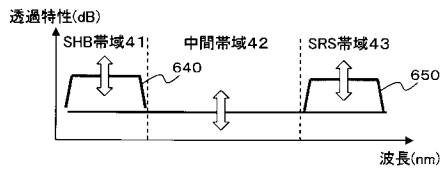
【 図 4 5 】



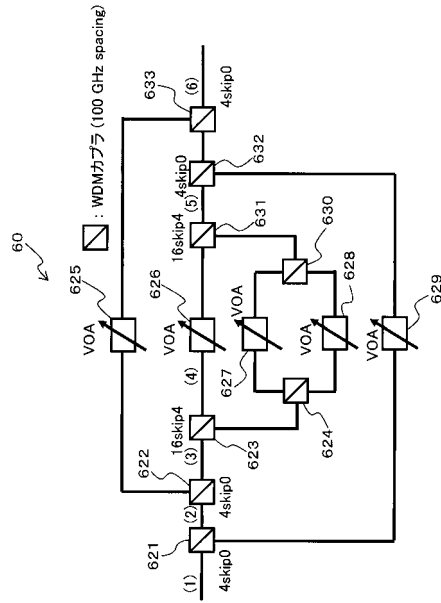
【 図 4 6 】



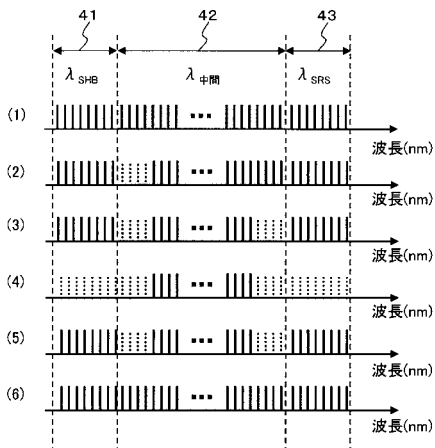
【 図 4 7 】



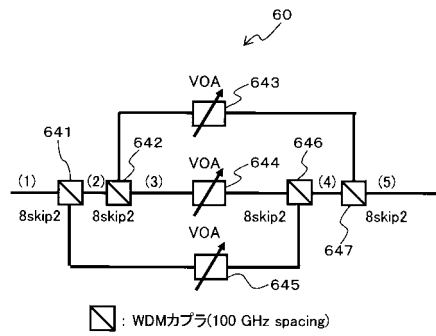
【 図 4 8 】



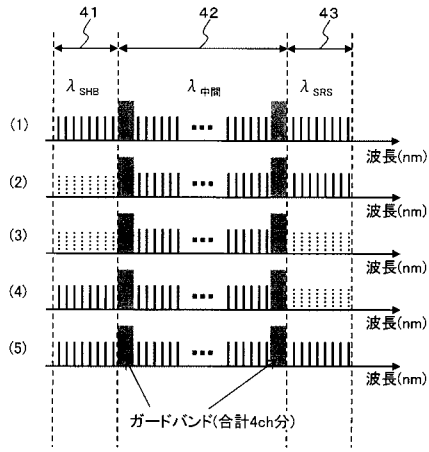
【 図 4 9 】



【 図 5 0 】



【 図 5 1 】



## フロントページの続き

(51) Int.Cl.		F I			テーマコード(参考)
<b>H 0 4 B</b>	<b>10/17</b>	<b>(2006.01)</b>	<b>G 0 2 F</b>	<b>1/35</b>	<b>5 0 1</b>
<b>H 0 4 J</b>	<b>14/00</b>	<b>(2006.01)</b>			
<b>H 0 4 J</b>	<b>14/02</b>	<b>(2006.01)</b>			
<b>G 0 2 F</b>	<b>1/35</b>	<b>(2006.01)</b>			

(72)発明者 室 真一郎

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

Fターム(参考) 2K002 AA02 AB30 BA01 DA10 EA30 EB15 HA23  
5F172 BB04 BB23 BB35 BB44 BB45 BB70 BB94 BB99  
5K102 AA01 AA15 AD01 KA06 KA12 KA42 MA03 MB06 MB09 MC12  
MC13 MC14 MC15 MD01 MD02 MD03 MH04 MH13 MH14 MH22  
PC12 PC14 PC15 PD11 PH13 PH14 PH41 PH42 PH45 PH46  
PH47 PH48 PH49 RB12 RD28